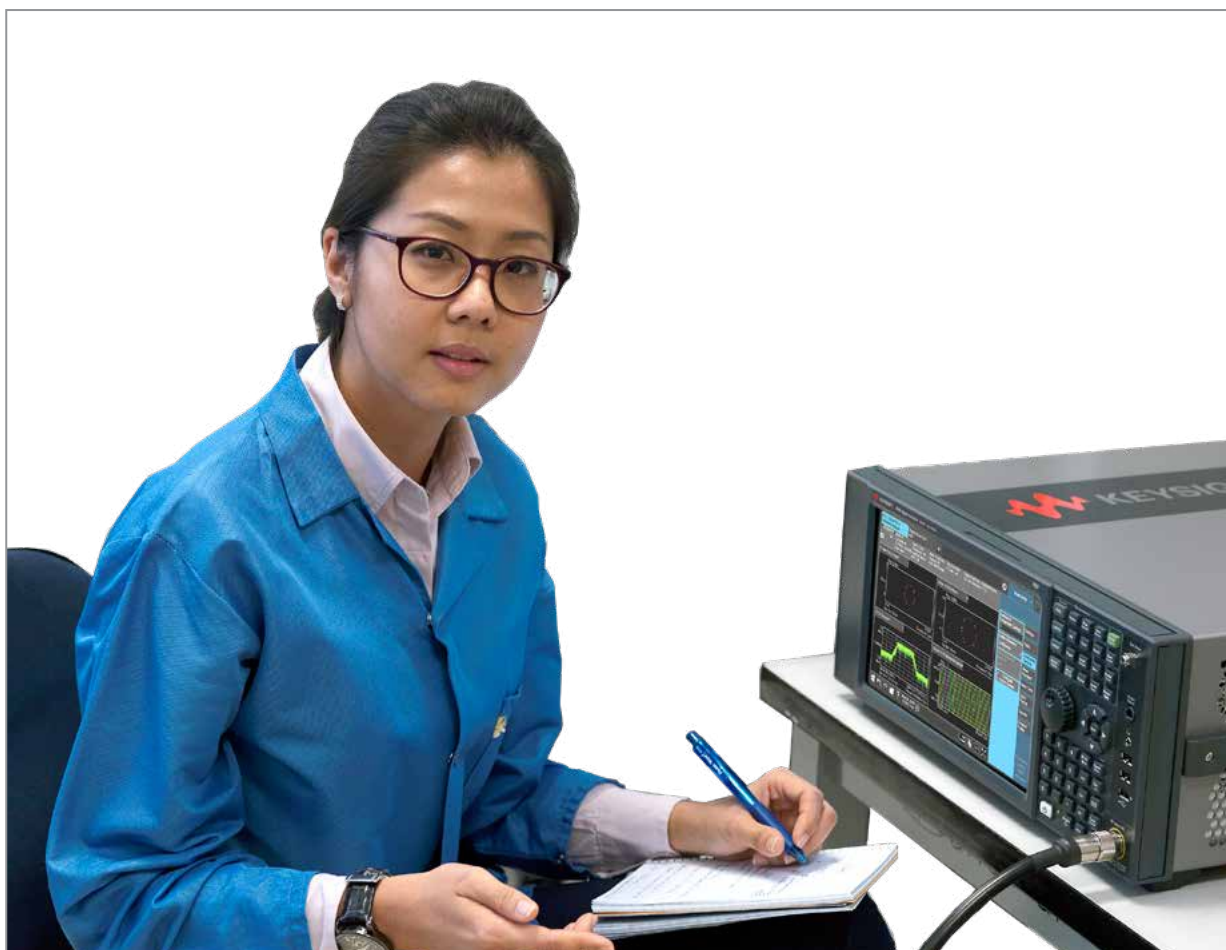


Keysight Technologies

Основные принципы измерений и анализа сигналов

Рекомендации по применению



Введение

Для радиоинженера анализаторы спектра или сигналов являются важнейшими средствами измерений, используемыми на всех этапах жизненного цикла продукции. Их ключевые характеристики, такие как производительность, точность и быстродействие, на этапе НИОКР помогают инженерам улучшить свои разработки, а на этапе производства повысить эффективность испытаний и качество продукции. В данном документе описывается ряд методов, освоив которые, вы сможете проводить анализ сигналов на высоком профессиональном уровне. Наша цель – помочь вам оптимизировать при выполнении измерений уровень собственных шумов, полосу разрешения, динамический диапазон, чувствительность и прочие факторы, влияющие на их качество, с минимальными потерями в скорости и производительности.

В основном по тексту используется термин «анализатор сигналов», под которым мы понимаем измерительный прибор, имеющий архитектуру анализатора спектра и полностью цифровой тракт промежуточной частоты (ПЧ), позволяющий обрабатывать сигналы как комплексные (векторные) величины и выполнять различные преобразования для всестороннего анализа их характеристик в различных областях, например, исследование параметров цифровой модуляции и захват сигнала на определенном временном промежутке. Более подробную информацию об анализаторах спектра и сигналов, а также об особенностях их устройства и принципах работы с ними вы найдете в Рекомендациях по применению 150 компании Keysight «*Основы анализа спектра*».

Повышение точности измерений

Для оптимизации показателей точности при измерениях важно понимать, какую точность может обеспечить сам анализатор спектра, а также учитывать источники погрешности, связанные с подключением к испытуемому устройству (ИУ). Применение некоторых практических приемов и грамотное использование полезных функций анализатора спектра могут значительно уменьшить суммарную погрешность измерений и сократить время их проведения.

Технологии цифровой обработки сигнала ПЧ дают высокий базовый уровень точности, особенно в совокупности с внутренними калибровками и коррекцией линейности. Например, автоматическая коррекция и цифровые фильтры с высокой повторяемостью состояний позволяют свободно изменять настройки в процессе выполнения измерений, оказывая лишь незначительное влияние на их повторяемость. Обычно это такие настройки, как ширина полосы разрешения, диапазон измеряемых уровней, опорный уровень, центральная частота и полоса обзора.

Когда ИУ подключено к откалиброванному анализатору, его сигнал, который требуется проанализировать, может быть искажен или изменен в тракте передачи сигнала (рисунок 1). Наилучшей точности можно добиться, применяя коррекцию или компенсацию этих эффектов. Сделать это довольно просто и эффективно, используя встроенную функцию амплитудной коррекции анализатора, а также источник сигналов и измеритель мощности.

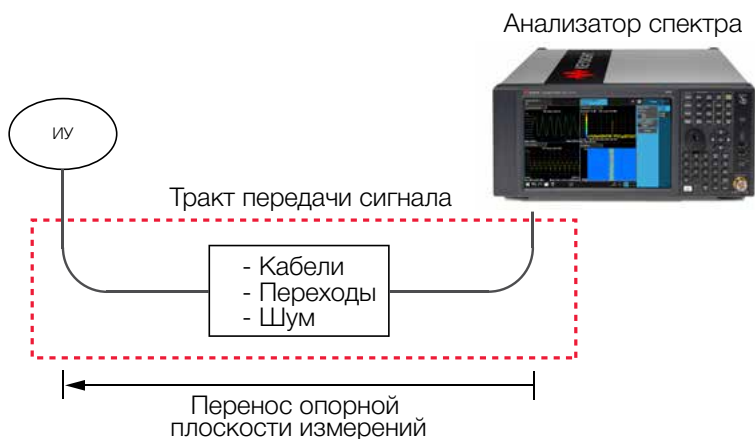


Рисунок 1. Качество соединения анализатора с ИУ оказывает значительное влияние на точность и повторяемость измерений. С ростом частоты это влияние становится все более заметным.

На рисунке 2 показана АЧХ тракта передачи сигналов, который ослабляет сигналы ИУ. Устранение нежелательного влияния следует начинать с измерения АЧХ тракта передачи сигналов на требуемом участке диапазона частот. Функция амплитудной коррекции анализатора спектра использует таблицу частот и амплитуд, выполняя их последовательный перебор при перестройке частоты по диапазону и формируя на основе этих данных поправочные коэффициенты для каждого значения частоты. Таким образом, при использовании этой функции на экран выводятся значения скорректированных результатов измерений амплитуды. На рисунке 3 показаны результаты измерений с применением коррекции нежелательных величин ослабления и усиления тракта передачи сигналов. Такая коррекция позволяет добиться точности, ограниченной лишь собственными показателями анализатора, указанными в техническом описании.



Рисунок 2. Данный график представляет собой АЧХ тракта передачи сигналов от ИУ к анализатору спектра.

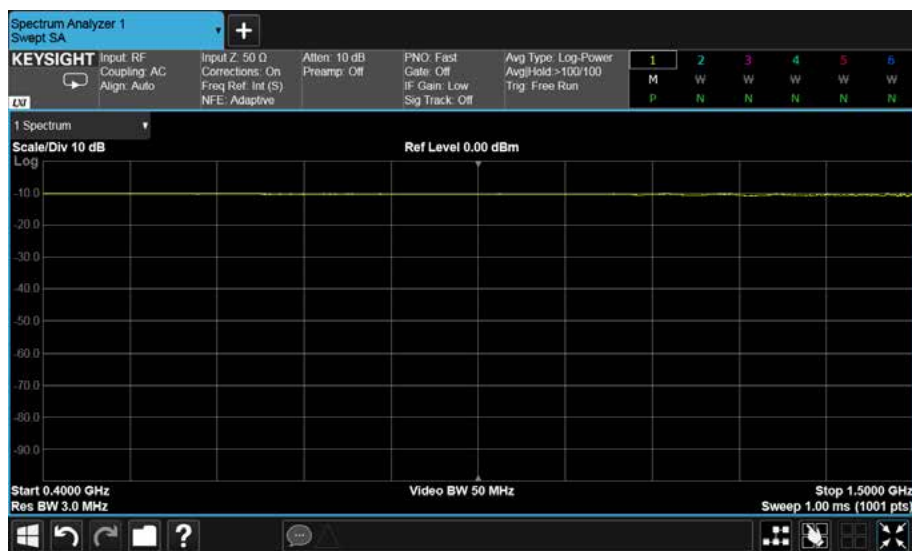


Рисунок 3. Применение функции амплитудной коррекции анализатора позволяет выровнять АЧХ, повышая тем самым точность измерений амплитуды.

Процедура коррекции позволяет перенести плоскость измерений от соединителя на передней панели анализатора к входному соединителю ИУ. Многие анализаторы сигналов позволяют сохранять параметры коррекции для различных конфигураций вспомогательного оборудования или настроек самого анализатора.

Кроме того, вы можете сохранять таблицы поправочных коэффициентов для различных сочетаний кабелей и переходов. Всегда стоит уделять пристальное внимание элементам тракта передачи сигналов между анализатором и ИУ, в том числе их длине, типу, а также качеству кабелей и соединителей. Обеспечить минимальные потери, хорошее согласование по величине импеданса и повторяемость соединения можно только при соблюдении определенных правил обращения с соединителями, включая использование динамометрических ключей. Особенно это актуально при работе на СВЧ и частотах миллиметрового диапазона длин волн.

При решении сложных измерительных задач может потребоваться переместить эффективную плоскость измерительного порта анализатора как можно ближе к ИУ, чтобы увеличить точность и запас по характеристикам самого анализатора. Например, при измерении сигналов малого уровня внешний предусилитель может быть подключен непосредственно к ИУ, увеличивая таким образом уровень сигналов за счет уменьшения ослабления и уровня вносимых шумов. Современные интеллектуальные предусилители автоматически задают настройки анализатора и загружают в него свою АЧХ для применения высокоточной коррекции.

Таким же образом интеллектуальные смесители могут повысить качество выполняемых СВЧ-измерений. Вы можете подключить их непосредственно к входу ИУ, что обычно достигается за счет прямого соединения волноводных фланцев. Такой смеситель автоматически определяется и загружает в анализатор частотную зависимость величины потерь на преобразование в табличном виде.

На что нужно обратить внимание при выборе полосы разрешения

Полоса разрешения – это один из основных параметров, который задается при настройке анализатора спектра перед проведением измерений. Особенно важную роль его выбор играет, когда основной целью анализа является разделение ключевых составляющих спектра сигнала или при необходимости их более четкого выделения на фоне собственных шумов анализатора или ИУ.

При выполнении сложных измерений анализаторы спектра должны обеспечивать требуемую точность, а также адекватное сочетание скорости измерений и ширины динамического диапазона. В большинстве случаев, увеличивая один показатель, мы снижаем другой. Одно из важных решений – это выбор узкой или широкой полосы разрешения.

Узкая полоса разрешения дает преимущества при измерениях сигналов малых уровней: уменьшает средний отображаемый уровень шума (DANL) анализатора спектра, расширяет динамический диапазон и повышает чувствительность. Как показано на рисунке 4, исследуемый сигнал, имеющий уровень -103 дБм, будет корректно измерен при выборе полосы разрешения не 100 кГц, а 10 кГц. Уменьшение полосы разрешения в 10 раз улучшает показатель среднего отображаемого уровня шума на 10 дБ.



Рисунок 4. Уменьшение полосы разрешения со 100 кГц до 10 кГц улучшает показатель среднего отображаемого уровня шума, облегчая обнаружение и измерения параметров сигнала.

Конечно же, выбор более узкой полосы разрешения – не всегда идеальное решение. При исследовании параметров модулированных сигналов важно задать полосу разрешения как можно шире, чтобы захватить боковые полосы сигнала. Поступая иначе, вы будете получать некорректные результаты измерений мощности, за исключением случаев, когда измеряется интегральная мощность в заданной полосе частот (т.е. когда для перекрытия всей полосы объединяются результаты измерений на нескольких частотных точках). Расчет интегральной мощности по результатам измерений на нескольких частотах с узкой полосой разрешения – наиболее распространенный в инженерной практике метод, применяемый при измерениях параметров широкополосных сигналов с цифровой модуляцией и высокой плотностью спектральных составляющих.

Важным следствием выбора более узкой полосы разрешения является снижение скорости измерений. Продолжительность цикла развертки, как правило, обратно пропорциональна квадрату полосы разрешения, так что чем шире полоса, тем меньше времени потребуется на выполнение одного цикла развертки в заданном диапазоне частот. На рисунках 5 и 6 для сравнения приведены расчеты длительности цикла развертки (правый нижний угол каждого окна) для ширины полосы разрешения 10 кГц и 3 кГц в полосе частот 200 МГц.

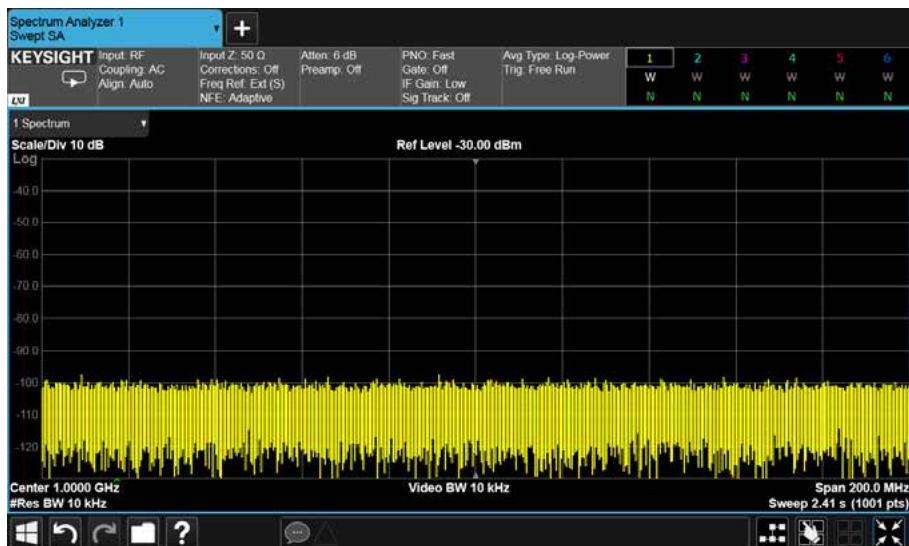


Рисунок 5. Один цикл измерений при полосе разрешения 10 кГц выполняется за 2,41 с.

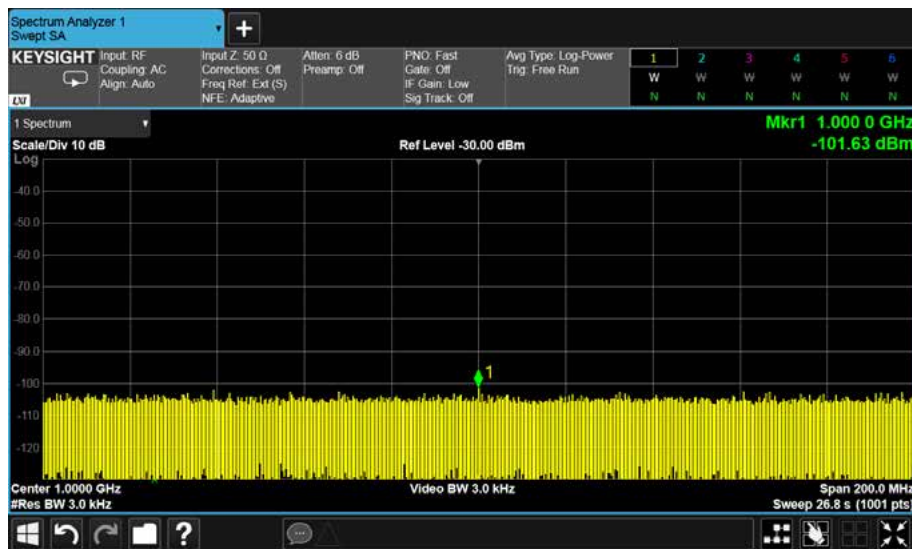


Рисунок 6. Уменьшение полосы разрешения до 3 кГц увеличивает время выполнения одного цикла развертки до 26,8 с, что примерно в 10 раз дольше.

Зная, в чем заключается компромисс при выборе узкой или широкой полосы разрешения, вы сможете принять взвешенное решение, какой из параметров измерений наиболее важен для вас. Избежать принятия нежелательного компромиссного решения не всегда возможно, и современные анализаторы сигналов могут помочь вам смягчить или даже устранить его последствия.

Современные анализаторы позволяют выполнять быстрые и точные измерения даже при узкой полосе разрешения за счет применения методов цифровой обработки сигналов, таких как быстрое преобразование Фурье (БПФ) и цифровая фильтрация с коррекцией влияния на скорость развертки. К примеру, функция быстрой развертки может даже с узкой полосой разрешения увеличить скорость в 50 раз. Анализаторы сигналов могут автоматически применять такого рода улучшения как часть процесса взаимосвязанного автоопределения настроек центральной частоты/полосы обзора/полосы разрешения, а оператору в дальнейшем предоставляется возможность оптимизировать эти настройки в ручном режиме для определения приоритета скорость/точность под конкретную задачу.

Увеличение чувствительности при измерениях низкоуровневых сигналов

На возможность измерений параметров низкоуровневых сигналов влияет уровень собственных шумов анализатора, который, в свою очередь, зависит от различных настроек. К примеру, на рисунке 7 показан сигнал с частотой 50 МГц, теряющийся на фоне собственных шумов анализатора.

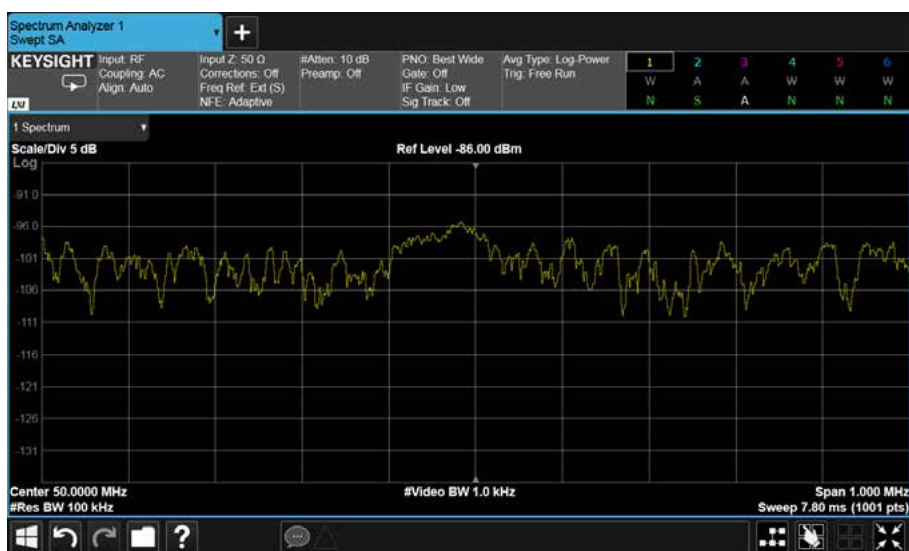


Рисунок 7. При заданных настройках измерений сигнал теряется на фоне собственных шумов анализатора.

Для измерения параметров такого низкоуровневого сигнала вы можете улучшить чувствительность анализатора сигналов путем выполнения ряда операций: уменьшения ослабления по входу, установки более узкой полосы разрешения и использования предусилителя. Аналогично описанному выше методу, такой подход также позволяет добиться более низкого среднего отображаемого уровня шума, выделить сигналы малого уровня на фоне шумов и повысить точность измерений их параметров.

Уменьшение входного ослабления увеличивает уровень сигналов, поступающих на входной смеситель анализатора. Поскольку собственные шумы анализатора появляются уже после входного аттенюатора, настройки его ослабления оказывают влияние только на отношении сигнал/шум при измерениях. Если параметры усиления анализатора изменяются согласованно с настройками входного аттенюатора для компенсации вносимого им ослабления, амплитуда сигнала на экране остается неизменной. Однако, с изменением величины усиления по ПЧ изменяется и средний отображаемый уровень шума как следствие изменения соотношения сигнал/шум, которое происходит при любой смене настроек аттенюатора. Таким образом, для улучшения показателя среднего отображаемого уровня шума (DANL) важно минимизировать величину ослабления входного аттенюатора.

После прохождения через смеситель и любой внутренний усилитель повторно усиленный сигнал попадает в тракт ПЧ и проходит через фильтр полосы разрешения (фильтр ПЧ). Чем меньше его полоса пропускания, тем меньше будет уровень мощности шума на входе детектора огибающей, что снижает средний отображаемый уровень шума при измерениях.

На рисунке 8 показано последовательное уменьшение среднего отображаемого уровня шума (обратите внимание на уменьшение опорного уровня). На верхней кривой показан сигнал с фиксированной частотой, поднятый выше уровня собственных шумов после минимизации полосы разрешения. Средняя кривая отображает улучшения, наступившие в результате минимизации величины входного ослабления. Нижняя кривая получена с использованием усреднения мощности в логарифмическом масштабе (с использованием отсчетов мощности по логарифмической шкале в дБ), которое позволило уменьшить уровень собственных шумов еще на 2,5 дБ, не повлияв на результат измерений сигнала с фиксированной частотой. В сочетании с функцией фиксации пиковых значений (настройка пикового детектора) такой подход позволяет измерить параметры паразитных составляющих спектра вблизи уровня собственных шумов (распространенная измерительная задача, решаемая при анализе параметров спектра сигналов).



Рисунок 8. В ходе данных измерений средний отображаемый уровень шума постепенно снижается: сначала за счет уменьшения полосы разрешения (желтая кривая), затем в результате уменьшения ослабления входного аттенюатора (голубая кривая) и включения функции усреднения мощности по логарифмической шкале (розовая кривая).

Для достижения максимальной чувствительности требуется использовать мал шумящий предварительный усилитель с высоким коэффициентом усиления (КУ). Если КУ усилителя достаточно высок (например, в случае, когда отображаемый шум увеличивается не менее чем на 10 дБ), тогда коэффициент шума (КШ) усилителя будет больше суммарного значения КШ предусилителя и анализатора.

Эффективным способом уменьшения уровня шума при измерениях параметров спектра сигналов является вычитание мощности шума, создаваемого самим анализатором, из полученных результатов. Это можно проделать путем оценки уровня собственных шумов при каждом измерении, но существует и более практичный подход, реализованный в анализаторах сигналов серии X компании Keysight и названный методом компенсации собственных шумов (noise floor extension, NFE). С помощью функции NFE анализатор точно моделирует и оценивает мощность шума на каждой частотной точке полосы обзора, а затем автоматически вычитает полученные значения из результатов измерений. Она позволяет снизить уровень собственных шумов на 10 дБ или даже больше, не увеличивая продолжительности цикла развертки. Данный метод может применяться как дополнение к мерам, описанным выше.

Как упоминалось ранее, одновременное использование функции усреднения мощности в логарифмическом масштабе и пикового детектора обеспечивает выигрыш по соотношению сигнал/шум на 2,5 дБ при измерениях параметров паразитных составляющих спектра, близких к уровню собственных шумов анализатора. В качестве альтернативы можно использовать функцию анализа графических данных «усреднение», позволяющую выполнять усреднение по уровню мощности, если приоритетом является максимальное уменьшение разброса измеряемой величины вблизи уровня собственных шумов (т.е. сглаживание кривой графической зависимости). Сочетание функции усреднения и медленной развертки позволяет наиболее эффективно снизить разброс измеряемой величины вследствие влияния шумовой составляющей (сгладить шумовой порог).

При анализе изменяющихся во времени, но периодически повторяющихся сигналов стоит рассмотреть применение метода, который получил название синхронного, или временного, усреднения. Данная функция доступна для векторных анализаторов сигналов и позволяет выполнять усреднение выборок входного сигнала во временной области до расчета частотного спектра. Для синхронизации выборок повторяющегося сигнала во временной области используются функции запуска. В результате достигается значительное уменьшение уровня собственных шумов при измерениях во временной и частотной областях, а также в области модуляции.

Оптимизация динамического диапазона при измерениях нелинейных искажений

В ходе выполнения спектрального анализа очень важна способность измерительного прибора разделять основной тон, имеющий более высокий уровень, и продукты его нелинейных искажений гораздо меньшего уровня. Максимальную разницу между уровнями сигнала и продуктов его нелинейных искажений, сигнала и шума или сигнала и фазового шума, которую может измерить анализатор, называют его динамическим диапазоном.

При одновременных измерениях параметров сигнала и продуктов его нелинейных искажений динамический диапазон определяется их уровнями на входном смесителе. Уровень смесителя, используемый для оптимизации динамического диапазона, может быть определен по трем показателям: уровню гармонических искажений второго порядка, интермодуляционных искажений третьего порядка и среднему отображаемому уровню шума. Объединив зависимости трех этих показателей на одном графике, можно построить зависимость уровня на входе смесителя от возникающих внутри него нелинейных искажений и шума.

На рисунке 9 показана точка на кривой зависимости уровня гармонических искажений второго порядка (SHD) со значением -75 дБн при уровне на входе смесителя -40 дБм, точка -85 дБн на зависимости уровня интермодуляционных искажений третьего порядка (TOI) при -30 дБм на входе смесителя, а также уровень собственных шумов -110 дБм при полосе пропускания фильтра разрешения (ПЧ) 10 кГц. Зависимость уровня гармонических искажений второго порядка имеет единичный наклон, поскольку их уровень возрастает на 2 дБ каждый раз при увеличении уровня сигнала основного тона (несущей) на входе смесителя на 1 дБ. Однако, поскольку уровень искажений определяется как разность между сигналом основного тона и продуктом нелинейных искажений, зависимость изменяется только на 1 дБ. Аналогично зависимость уровня интермодуляционных искажений третьего порядка имеет наклон 2 , т.е. каждый раз, когда сигнал на входе смесителя изменяется на 1 дБ, уровень продуктов интермодуляционных искажений третьего порядка изменяется на 3 дБ, что соответствует разности 2 дБ (относительно сигнала основного тона). Таким образом, достичь максимального динамического диапазона по искажениям второго и третьего порядков можно путем установки такого ослабления аттенюатора, при котором уровень сигнала на входе смесителя соответствует точке, где уровень нелинейных искажений второго и третьего порядка будет равен уровню собственных шумов (на эти уровни указывают подписи на графике. Обратите внимание, что точка минимума расположена на небольшой кривой, полученной в результате добавления нелинейных искажений и шумов в логарифмическом масштабе (дБ).

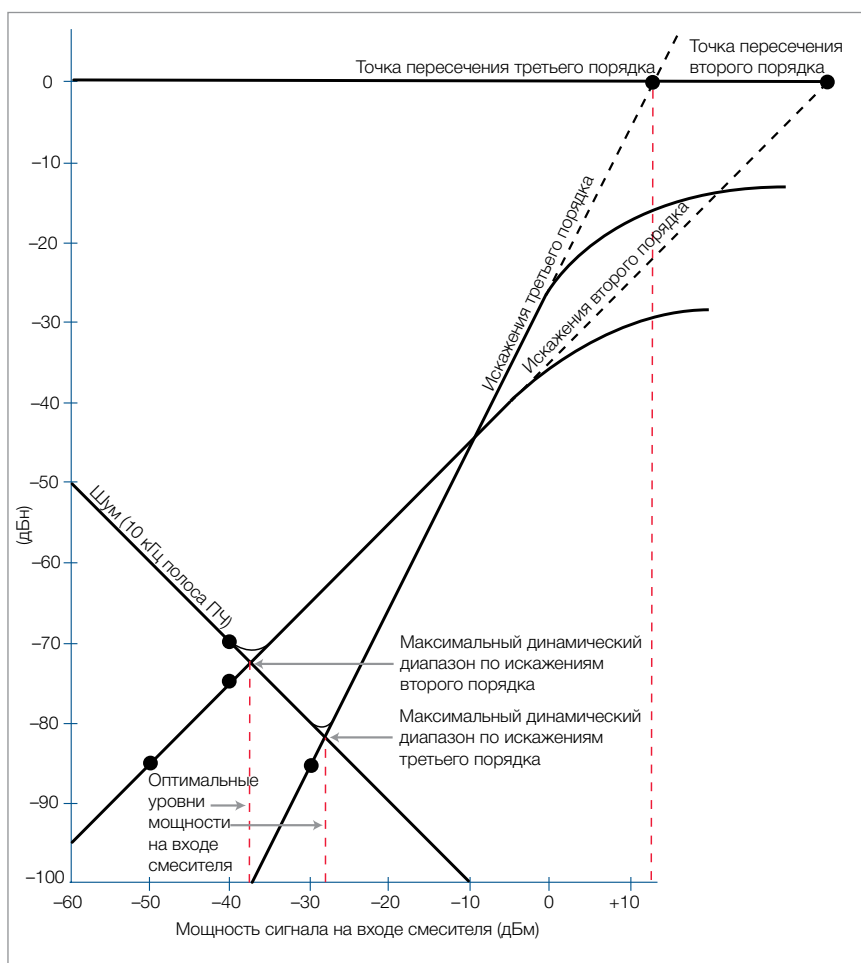


Рисунок 9. Показан динамический диапазон по искажениям второго и третьего порядков, определяемый как области минимальных искажений на пересечении со средним уровнем отображаемых шумов (DANL).

Для расширения динамического диапазона следует использовать более узкую полосу разрешения. Как показано на рисунке 10, при уменьшении полосы разрешения с 10 кГц до 1 кГц динамический диапазон был расширен. Следует отметить, что прирост динамического диапазона по искажениям второго порядка составил 5 дБ, а для искажений третьего порядка – более 6 дБ.

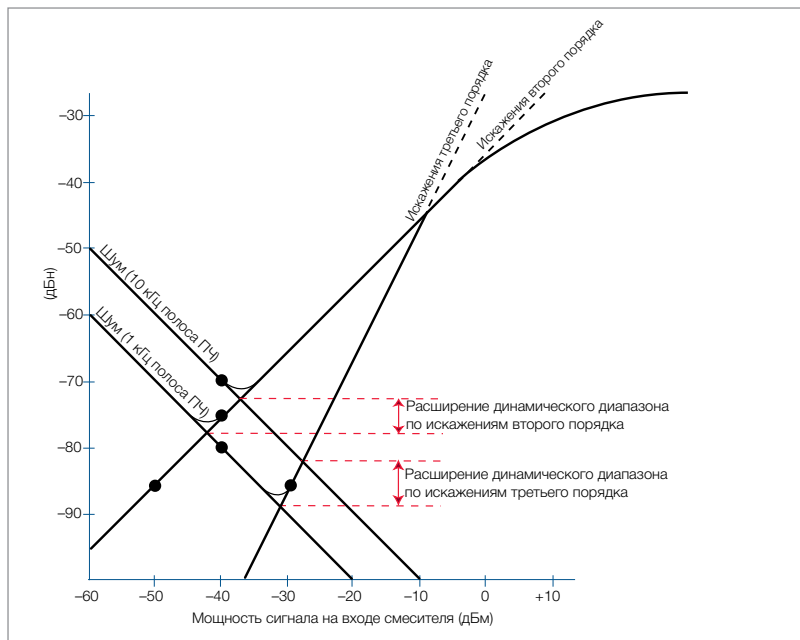


Рисунок 10. Уменьшение полосы разрешения снижает средний отображаемый уровень шума (линия начинается левее и ниже) и улучшает характеристики рабочих точек динамического диапазона по искажениям второго и третьего порядка.

Кроме того, фазовый шум анализатора также может повлиять на динамический диапазон по интермодуляционным искажениям. Причина: частотный диапазон между различными составляющими спектра (основными тонами исследуемого сигнала и продуктами нелинейных искажений) равен промежутку между основными тонами сигнала, вызывающего интермодуляционные искажения. Например, сигнал с частотным промежутком между основными тонами 10 кГц, измеряемый с полосой разрешения 1 кГц, даст кривую шума, показанную на рисунке 11. Если фазовый шум анализатора при отстройке 10 кГц составляет всего -80 дБн, для таких измерений динамический диапазон будет 80 дБ, а не 88 дБ, как следует из пересечения зависимостей среднего отображаемого уровня шума и уровня интермодуляционных искажений третьего порядка.

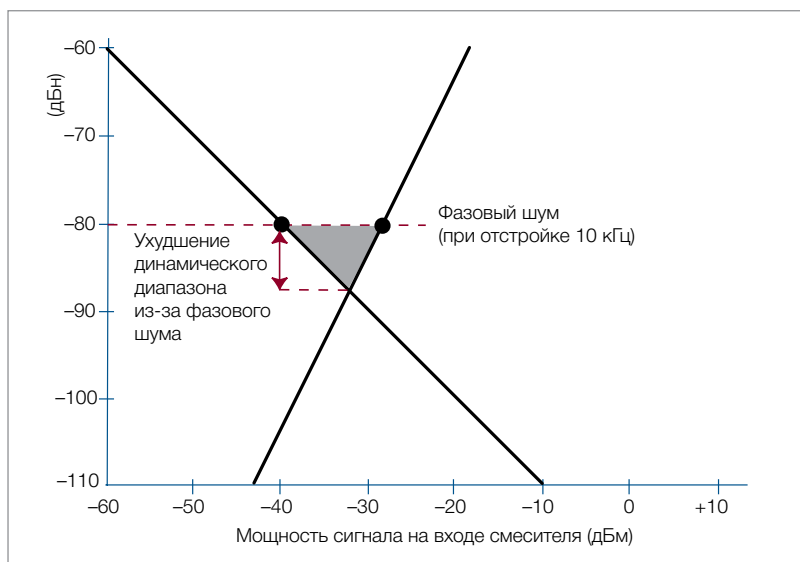


Рисунок 11. Для близко расположенных сигналов, таких как основные тоны тестового сигнала, подаваемого на вход анализатора при измерениях параметров нелинейных искажений, фазовый шум может ограничить динамический диапазон до меньшего значения, чем получено по результатам графических построений.

Точная фиксация и измерение параметров пакетных сигналов и переходных процессов

Используя анализатор сигналов, работающий в режиме перестройки частоты, довольно трудно точно измерить параметры пакетных или импульсных сигналов, особенно если они модулированы. Анализатор отображает совокупность информации, которую несет в себе импульс, а также спектральные составляющие, обусловленные формой импульса (т.е. его огибающей). Крутые скаты огибающей (малое время нарастания и спада) порождают нежелательные составляющие в спектре сигнала. Эти нежелательные составляющие могут маскировать интересующий нас сигнал и снижать точность измерений.

Для анализа подобных сигналов используют два метода: анализ спектра с фильтрацией во временной области и анализ с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ) и функций запуска. Оба этих метода могут быть реализованы с помощью векторных анализаторов сигналов, таких как анализаторы серии X компании Keysight.

При последовательном анализе спектра наиболее гибким является метод *анализа с временным стробированием или стробированием посредством гетеродина*. Для реализации этого метода анализатор настраивают таким образом, чтобы он выполнял сбор информации только по нужной части входного сигнала. Для синхронизации измерений может быть использован внешний источник сигнала запуска. Однако некоторые анализаторы могут сами формировать сигналы запуска. Важно заметить, что данный тип анализа с селекцией по времени может быть проведен только в отношении периодически повторяющихся сигналов. Путем последовательного накопления результатов отдельных измерений анализатор воссоздает полную картину спектра измеряемого сигнала, обеспечивая стабильный и точный конечный результат.

Как правило, такие манипуляции позволяют измерить параметры спектра на интервале времени непосредственного присутствия на входе импульса или пакетного сигнала и отбросить спектральные составляющие, вызванные эффектами включения/выключения сигнала. Это допускает использование функций стробирования и измерения мощности, таких как измерение мощности в канале или мощности в соседнем канале (ACP), а также спектральных масок излучений (SEM).

Другой метод основан на обработке сигналов с использованием БПФ и иногда называется БПФ со стробированием. Этот метод не требует, чтобы сигнал был повторяющимся. Однако, если сигнал все же будет повторяющимся, то можно добиться выигрыша по соотношению сигнал/шум, используя метод временного усреднения (как описано выше).

Анализ на основе БПФ со стробированием позволяет добиться высокой эффективности и гибкости, если он выполняется с применением анализатора сигналов и ПО векторного анализа сигналов VSA. Данное программное обеспечение предоставляет функции запуска, такие как точная настройка времени запуска и стробирования или БПФ на интервале времени записи сигнала для обнаружения всплесков исследуемого сигнала.

ПО VSA также позволяет в широких пределах настраивать количество точек БПФ и выбирать форму применяемой оконной функции (окна взвешивания). Выбор формы оконной функции сводится к компромиссу между точностью измерений амплитуды, разрешением по частоте и результирующим динамическим диапазоном измерений. Оптимальная с точки зрения указанных компромиссов форма оконной функции поможет извлечь максимальный объем информации из коротких пакетных сигналов.

Особенно эффективный метод анализа сигналов с селекцией по времени может быть применен к периодическим на определенном промежутке времени сигналам. Примером являются сигналы с OFDM- (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) модуляцией, обычно используемые в системах беспроводной передачи данных. Для них интервал времени записи или продолжительность интервала выборки могут быть заданы таким образом, чтобы выделить отдельный символ OFDM или целое число символов, а затем выбирается *равномерная* оконная функция. Данная оконная функция имеет плоскую вершину во временной области и зависит от соответствия между периодом исследуемого сигнала и продолжительностью интервала выборки или времени записи с использованием БПФ.

На рисунке 12 для сравнения приведены результаты измерений двух символов демонстрационной последовательности OFDM, полученные с использованием оконной функции с плоской вершиной (плоской в частотной области), обеспечивающей малую погрешность по амплитуде, и равномерной оконной функции. В данной ситуации равномерная оконная функция обеспечивает высокую точность и оптимальное разрешение по частоте.

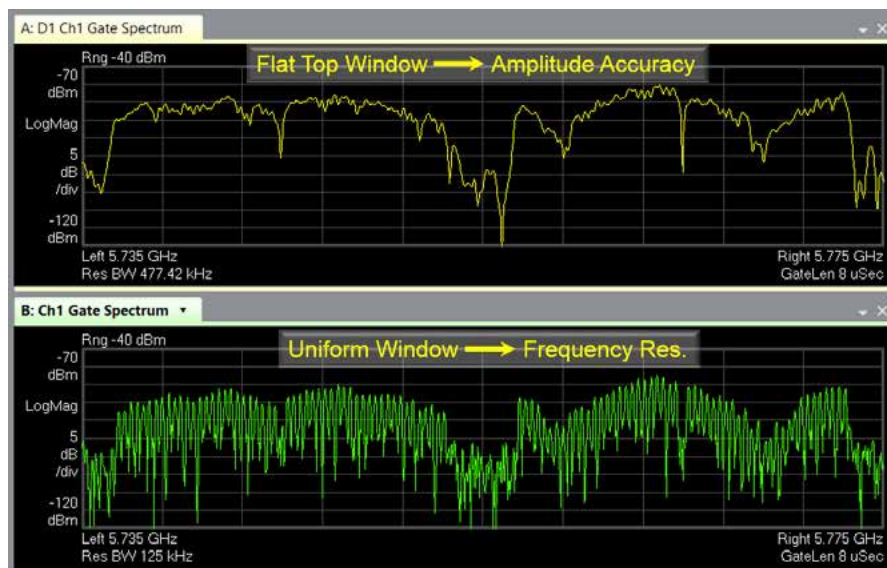


Рисунок 12. Обе кривые представляют захваченный из эфира сигнал беспроводной сети передачи данных с OFDM-модуляцией в диапазоне 5 ГГц. В каждом измерении произведена выборка части демонстрационной последовательности сигнала с OFDM-модуляцией. Из нижнего графика видно, что равномерное окно обеспечивает достаточное разрешение для выделения отдельных поднесущих OFDM-сигнала.

Повышение скорости, точности и достоверности с использованием измерительных приложений

Усложнение сигналов в системах беспроводной передачи данных, различных системах оборонного и аэрокосмического назначения делает ручную настройку оборудования для проведения измерений параметров спектра и модуляции сложной или непрактичной. К счастью, функции автоматизации процесса измерений современных анализаторов значительно облегчают настройку не только при выполнении сложных, но и повседневных измерений, таких как измерения параметров паразитных составляющих спектра, гармоник и фазового шума.

Наиболее удобный способ объединения вычислительных мощностей средств автоматизации и накопленного опыта в области выполнения измерений – создание специализированных измерительных приложений, работающих на анализаторах сигналов. Эти приложения можно разделить на две обширные категории: приложения общего назначения и приложения, ориентированные на определенные стандарты.

Измерительные приложения общего назначения предназначены для решения повседневных измерительных задач в областях, где средства автоматизации измерительного прибора могут обеспечивать выполнение ряда общих требований. Измерительные приложения данного типа будут полезны в процессе разработки и производства ВЧ и СВЧ приемо-передающих устройств и радиокомпонентов. Например, для анализаторов сигналов серии X компании Keysight пакет приложений PowerSuite входит в стандартную комплектацию прибора. Он обеспечивает выполнение всевозможных измерений мощности, включая мощность в канале, мощность в соседнем канале, ширину занимаемой полосы частот, комплементарной интегральной функции распределения (CCDF), уровня гармонических искажений, паразитных излучений, продуктов интермодуляционных искажений третьего порядка и спектральные маски излучений (SEM).

Другие приложения общего назначения обеспечивают измерения фазовых шумов, коэффициента шума, электромагнитной совместимости (ЭМС) и всестороннего анализа импульсных сигналов (рисунки 13 и 14 соответственно). Во всех случаях измерительные приложения значительно облегчают настройки для выполнения измерений (снижая вероятность ошибок оператора) и предоставляют настраиваемые окна статистики, где приведены обобщенные результаты множества измерений для упрощения их обработки, или индикаторы соответствия/несоответствия (рисунки 13 и 14).

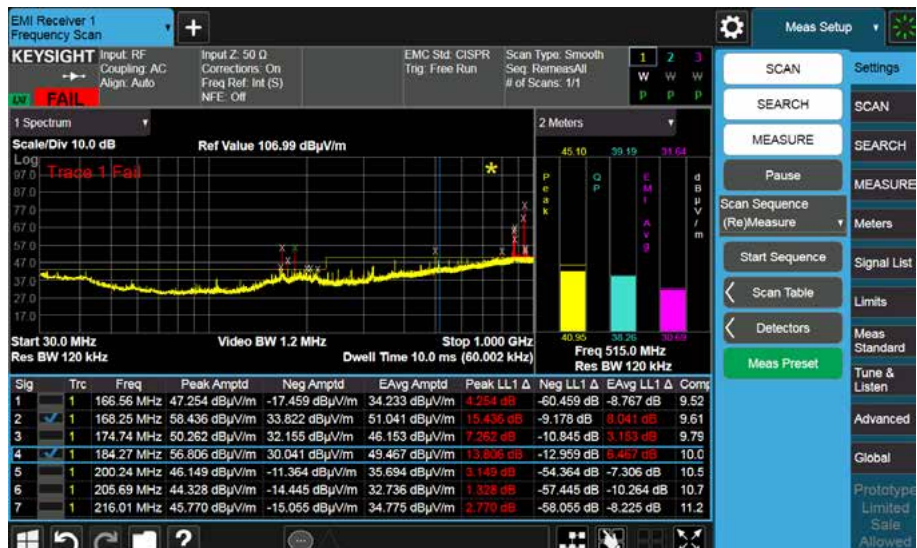


Рисунок 13. Измерительное приложение N6141C для испытаний на ЭМС выполняет настройки измерений в соответствии с требованиями стандартов CISPR 16-1-1 или MIL-STD для предварительной оценки соответствия уровней излучений.

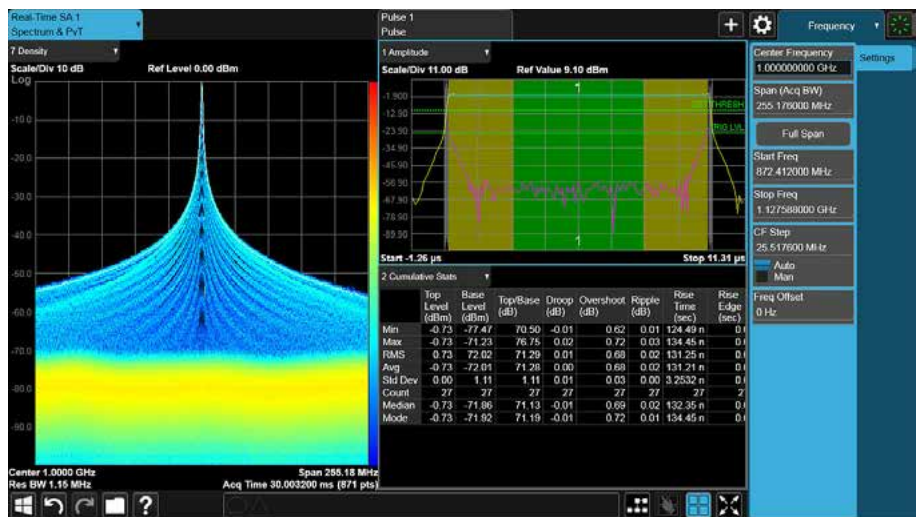


Рисунок 14. Приложение N9067C для измерений параметров импульсов собирает информацию о множестве импульсных сигналов и вычисляет такие параметры, как период, ширину, период повторения импульсов (PRI), время нарастания/спада фронта импульсов, уровень выброса на фронте импульса, среднюю и пиковую мощность.

Для анализаторов сигналов доступны десятки приложений, ориентированных на определенные стандарты, в основном это действующие и разрабатываемые стандарты связи, например, LTE / LTE-Advanced, GSM, W-CDMA, WLAN, Bluetooth и цифровое видео. Они превращают радиочастотный измерительный прибор общего назначения, анализатор сигналов, в инструмент для испытаний на соответствие стандартам, предоставляя возможность выполнять различные проверки и обеспечивая наглядное отображение результатов для анализа и устранения неполадок. В некоторых случаях подобные приложения – это единственный практический способ выполнения настроек для анализа сигналов сложных, крайне специфичных стандартов беспроводной передачи данных.

На рисунках 15 и 16 приведены примеры типовых измерений параметров сигналов стандарта LTE, выполняемых с помощью ПО N9080/9082C. На экране отражаются результаты измерений как в графическом, так и в табличном виде, а также может проводиться проверка по типу «годен/не годен».

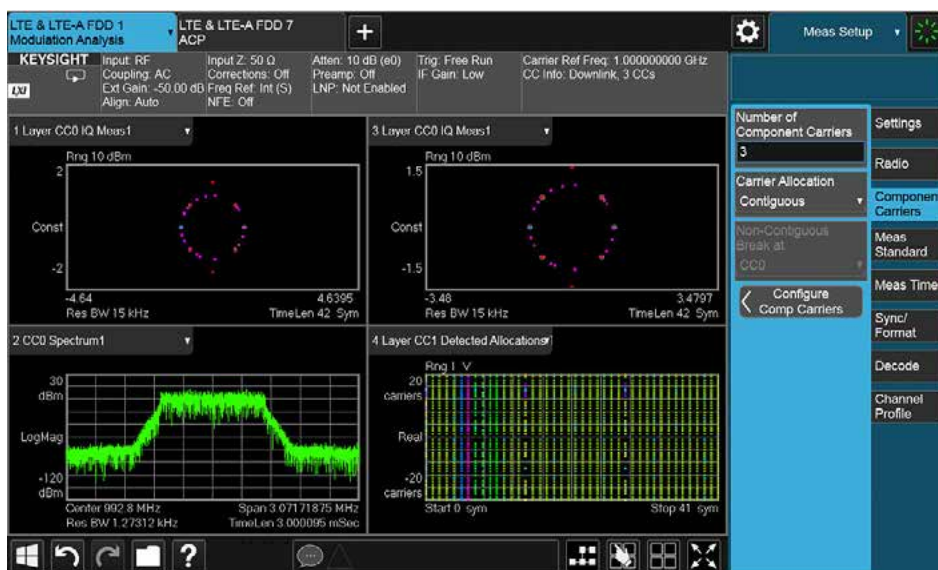


Рисунок 15. На экран выведены результаты демодуляции сигнала нисходящего канала LTE, включая диаграммы созвездий различных уровней сигналов (сверху) и распределение выявленных каналов связи (внизу справа).

Настройки для выполнения измерений мощности в канале при анализе сигналов, использующих современные схемы цифровой модуляции, могут быть сложны, а анализ результатов утомителен. Так, стандарт LTE-Advanced предполагает проведение измерений уровня мощности, просачивающейся из соседнего канала (ACLR или CACLR) для сигналов, сконфигурированных без перемежения каналов.

Выявление собственных продуктов нелинейных искажений

Если на вход анализатора сигналов поступают сигналы высокого уровня, они могут стать причиной возникновения в нем собственных продуктов нелинейных искажений. Эти паразитные сигналы могут накладываться на продукты нелинейных искажений в спектре входного сигнала и маскировать их. Используя два графика и аттенюатор ВЧ-входа анализатора, вы можете определить, имеет ли место влияние продуктов нелинейных искажений самого анализатора на результат измерений.

Проводить подобные измерения полезно, поскольку они позволяют оптимизировать критическое значение ослабления для конкретных условий измерений – сигнал, анализатор и тракт передачи. Такая индивидуальная оптимизация зачастую лучше, чем расчет на основе гарантированных производителем параметров.

Для начала процедуры оптимизации задайте такое ослабление входного аттенюатора, чтобы уровень входного сигнала за вычетом ослабления аттенюатора был примерно 0 дБм. Для выявления собственных продуктов нелинейных искажений анализатора настройтесь на вторую гармонику входного сигнала и установите ослабление входного аттенюатора на 0 дБ. Далее сохраните информацию на экране как кривую В, сделайте кривую А активной и включите дельта-маркер (Marker Δ). На экране анализатора будут отображаться сохраненная кривая В и измеряемые данные, кривая А, а дельта-маркер покажет разницу частот и амплитуд между двумя этими кривыми. Наконец, увеличьте ослабление входного аттенюатора примерно на 15 дБ и сравните кривые А и В.



Рисунок 16. Поскольку анализатор сигналов учитывает при отображении уровня сигнала на экране ослабление входного аттенюатора и опорный уровень, наблюдаемая разница уровней второй гармоники вызвана наличием продуктов нелинейных искажений самого анализатора.

Если графические зависимости отличаются, как показано на рисунке 16, то это означает, что во входном смесителе анализатора возникают продукты нелинейных искажений из-за высокого уровня входного сигнала. В таком случае потребуется большее ослабление, пока не будет достигнут результат, аналогичный приведенному на рисунке 17. Некоторые анализаторы позволяют экспериментировать с ослаблением, изменяя его с шагом в 1 дБ.



Рисунок 17. Признаком того, что собственные продукты нелинейных искажений анализатора не влияют на результат измерений, является равенство наблюдаемых уровней второй гармоники.

Обнаружение трудноуловимых сигналов с использованием анализа спектра в реальном времени

Большинство сигналов, используемых в сфере технологий беспроводной передачи данных или авиационной, космической и оборонной промышленности, являются импульсными или пакетными. В некоторых случаях сигналы проявляют сложное поведение вследствие переходных процессов, которое требуется описать. Порой нежелательные сигналы или поведение маскируются, и их трудно выявить и зафиксировать. Понимание природы этих сигналов или поведения может играть важную роль для выявления и устранения неполадок или оптимизации конструкции устройства.

В зависимости от архитектуры цифро-аналоговых преобразователей и применяемых алгоритмов цифровой обработки сигналов в анализаторах эти задачи решают двумя способами: посредством анализа спектра в реальном времени и записи сигнала с последующим воспроизведением в векторных анализаторах сигналов. Ранее описанные подходы были реализованы в виде отдельных специализированных приборов. На сегодняшний день обе эти функции доступны в качестве опциональных возможностей для большинства анализаторов сигналов компании Keysight, например анализаторов серии X.

Для анализа спектра в реальном времени (RTSA) применяются специальные алгоритмы обработки сигналов в тракте ПЧ, позволяющие рассчитать спектр сигнала из непрерывного потока дискретизированных данных, поступающих на его вход. Расчеты параметров спектра сигналов проводятся со скоростью, достаточной для обработки всех выборок входного сигнала, что дает возможность анализировать их, не упуская даже мельчайших деталей. Ни один сигнал или быстро изменяющийся процесс не будет упущен.

В режиме RTSA результаты расчетов спектра сигналов сменяются на экране с очень высокой скоростью, до 1000 кадров в секунду, вследствие чего человеческий глаз неспособен увидеть или проанализировать каждый спектр в отдельности. По этой причине спектры сигналов обычно выводят на экран с использованием различных цветов, чтобы показать, насколько часто та или иная комбинация амплитуд и частот встречается среди результатов расчета. Цвета и оттенки при подобном выводе на экран графической информации о спектральной плотности можно настроить таким образом, чтобы показать или выделить наиболее часто, или наоборот, не часто встречающиеся события (рисунок 18).

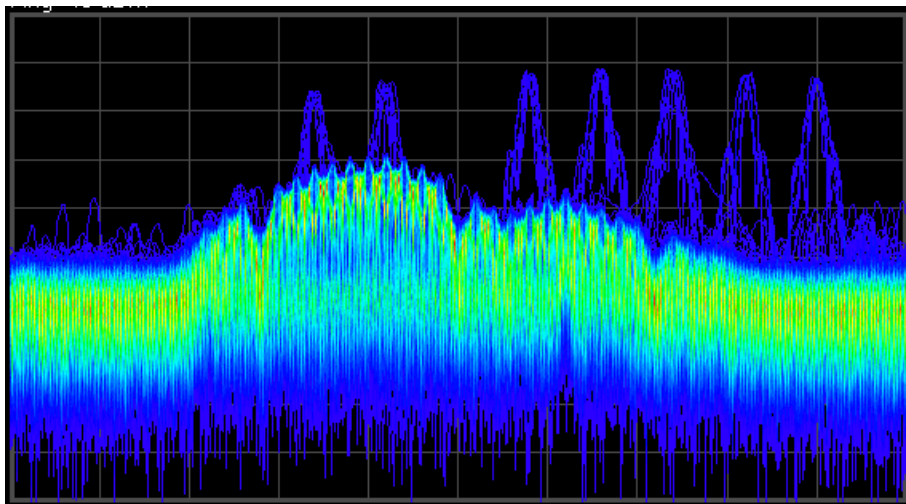


Рисунок 18. На данном снимке экрана приведены результаты измерений спектральной плотности эфирных сигналов в ISM-диапазоне 2,4 ГГц. Наблюдаются короткие скачки сигнала Bluetooth и длинные передачи WLAN. Значения частот и амплитуд, встречающиеся наиболее часто, показаны красным и желтым, а нечасто встречающиеся значения отображаются в синем цвете (например, скачки сигнала Bluetooth).

Представление графической информации на экране в виде спектральной плотности может быть полезно для обнаружения прерывистых сигналов или кратковременных процессов, а при последующих измерениях они могут быть использованы в качестве сигналов запуска при выделении специфических сигналов или поведения для дальнейшего анализа. Также могут использоваться частотные маски, сгенерированные вручную или автоматически, а выход какого-либо сигнала за пределы маски может считаться событием запуска (рисунок 19).

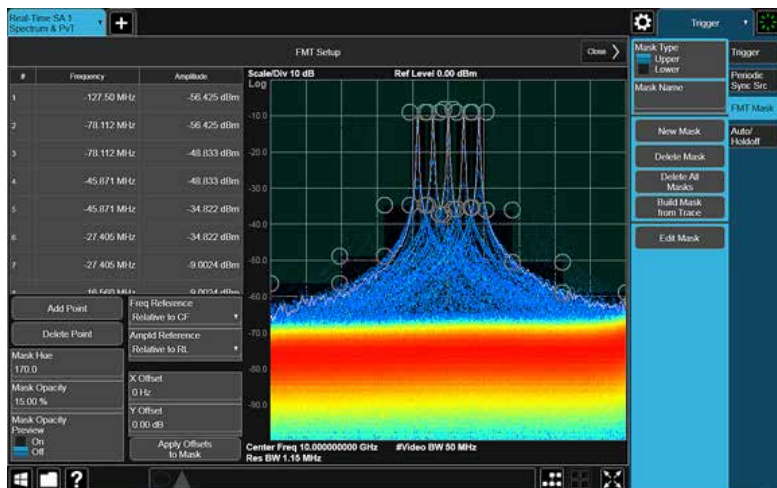


Рисунок 19. В режиме RTSA частотная маска, по которой выполняется запуск, показана в виде темно-зеленого поля позади спектра, а комбинации частота/уровень, определяющие ее форму, выделены кружками. Выход сигнала за пределы маски, даже кратковременный, является событием запуска.

Для обнаружения трудноуловимых сигналов или процессов наиболее действенным методом является совместное использование функций запуска по частотной маске и записи с последующим воспроизведением, доступных в векторном анализаторе сигналов. Измерения параметров спектра в реальном времени с использованием частотной маски дают только спектр мощности, в то время как захват сигнала в память с помощью векторного анализатора сигналов позволяет на определенном промежутке времени произвести *полноценную запись сигнала* как изменяющейся векторной величины. В ходе постобработки такой полноценной записи сигнала в векторной форме векторный анализатор сигналов может выполнять различные виды анализа, включая спектр, временную область и демодуляцию (рисунок 20).

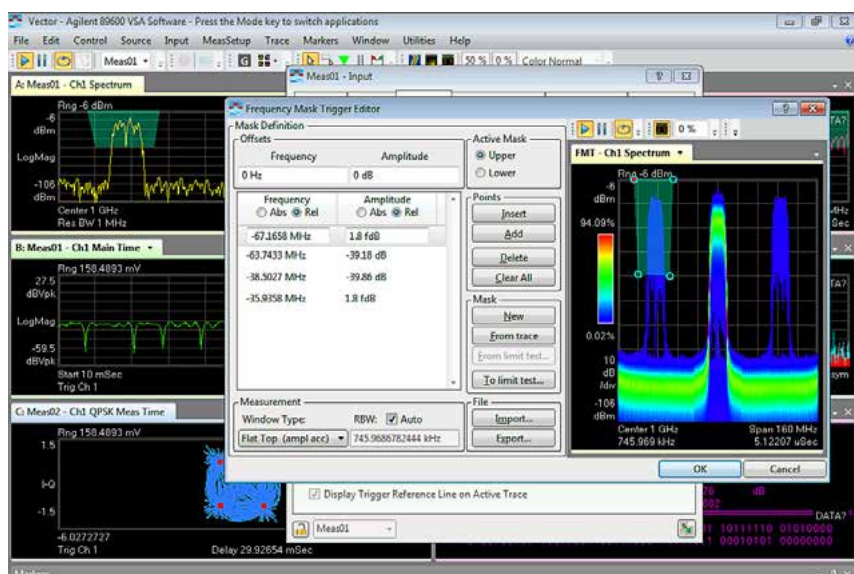


Рисунок 20. На данном снимке экрана анализатора сигналов проиллюстрирован принцип применения частотной маски для захвата и последующей демодуляции кратковременного сигнала.

Чтобы получить больше информации о поведении сигнала, захват по событию выхода за пределы частотной маски может начинаться до или после события в зависимости от настроек. Такие гибкие настройки временных параметров могут быть очень полезны при поиске и устранении неисправностей, когда требуется определить причину специфического поведения сигнала или когда событие и причина его наступления значительно разнесены по времени.

Заключение

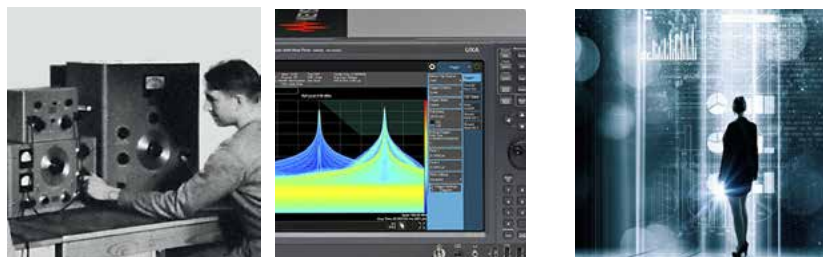
В основе разработки любых технических решений всегда лежат инновационные идеи и желание решить возникающие проблемы и задачи. Этот подход воплощен нами и в анализаторах сигналов серии X: они являются эталоном производительности по доступной цене. Широкий спектр моделей анализаторов – от СХА до UXA – предлагает все инструменты, необходимые для разработки, испытаний и ввода в эксплуатацию ваших передовых идей. Совершайте новые открытия с анализаторами серии X.

Более подробную информацию вы сможете найти в рекомендациях по применению «Основы анализа спектра» или на нашем сайте www.keysight.com/find/X-Series

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

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

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

(BP-9-7-17)



www.keysight.com/go/quality

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

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 уведомления 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 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

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

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/na