

Применение быстродействующих широкополосных приборов для наблюдения и анализа импульсных и непериодических сигналов

Ричард Овердорф, Keysight Technologies

Статья посвящена анализаторам сигналов, поддерживающим функцию свипирования, широкополосный RTSA и плотность распределения с цифровым послесвечением. Обладают ли такие анализаторы скоростью, гибкостью и характеристиками, необходимыми для работы со сложными современными системами и сигнальными средами?

Многие десятилетия для разработки и измерения характеристик РЛС и систем радиоэлектронной борьбы (РЭБ) использовались анализаторы спектра. Однако для современных динамичных и адаптивных систем традиционные свипирующие измерения становятся неэффективными.

Лучшей альтернативой сегодня является быстродействующий, гибкий, широкополосный анализатор сигналов, оснащённый функцией анализа спектра в режиме реального времени (RTSA) и программным обеспечением векторного анализа сигналов (VSA). Некоторые наиболее функциональные современные анализаторы сигналов поддерживают множество методов, оптимизирующих идентификацию и анализ импульсных и непериодических сигналов: быстрое свипирование, RTSA и плотность распределения с цифровым послесвечением. А те из них, которые совместимы с ПО VSA, позволяют выполнять расширенный анализ за счёт применения всеобъемлющего набора инструментов, который обеспечивает детальное исследование сигналов в различных целях.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ АНАЛИЗАТОРА СИГНАЛОВ

Анализаторы спектра последовательного действия не способны захватывать быстро меняющиеся сигналы. Например, традиционный свипирующий анализ может не справиться с измерением сигналов с импульсной модуляцией, с широкополосными частотными скачками или очень короткими сигналами.

Лучшим дополнением (или возможной альтернативой) является анализатор сигналов, способный измерять амплитуду и фазу. В соответствии с промышленными стандартами анализатор сигналов объединяет в себе функции анализатора спектра и векторного анализатора сигналов. Векторные измерения необходимы для решения таких задач, как измерение зависимости фазы от времени, демодуляция сложных сигналов или измерение мощности широкополосных сигналов.

Анализаторы сигналов, которые имеют очень широкую полосу анализа (например, 510 МГц), поддерживают RTSA и ступенчатое изменение плотности, позволяют измерять сигналы, которые появляются редко или имеют большие интервалы повторения.

ПРИМЕНЕНИЕ БЫСТРОГО СВИПИРОВАНИЯ

На рисунке 1 показана работа традиционного свипирующего анализатора спектра. Фильтр полосы разрешения (RBW) и траектория свипирования показаны зелёным цветом, и демонстрируют зависимость от времени. Серые пунктирные линии показывают время обратного хода. Когда зелёная линия пересекается с одним из сигналов (чёрный цвет), он отображается на кривой анализатора.

В режиме быстрого свипирования анализатор функционирует с максимальной скоростью, используя относительно узкую полосу разрешения. Некоторые анализаторы сигналов реализуют этот метод с помощью цифровых фильтров RBW и коррекции ошибок на основе цифровой обработки сигнала, что значительно повышает скорость без снижения точности амплитуды или частоты. Кроме того, устраняя погрешности свипирования, эти фильтры обеспечивают улучшенную воспроизводимость при более высоких скоростях свипирования.

Как показано на рисунке 2, ускорение свипирования (то есть уменьшение времени свипирования) даёт больше пересечений с разными сигналами. При использовании метода быстрого свипирования зелёная линия проходит слева направо за меньшее время (ось Y). И хотя это лучше по сравнению с традиционными методами, анализатор может не дать

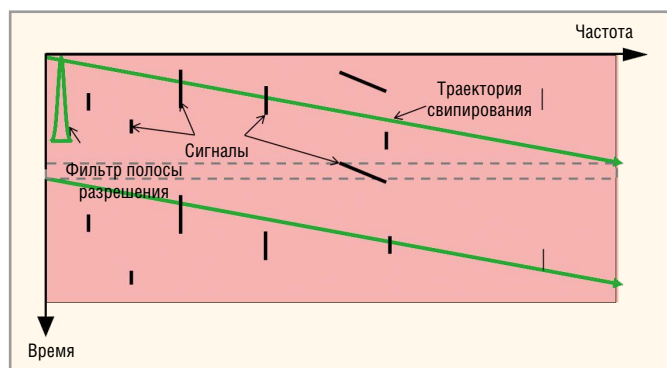


Рис. 1. Традиционное свипирование

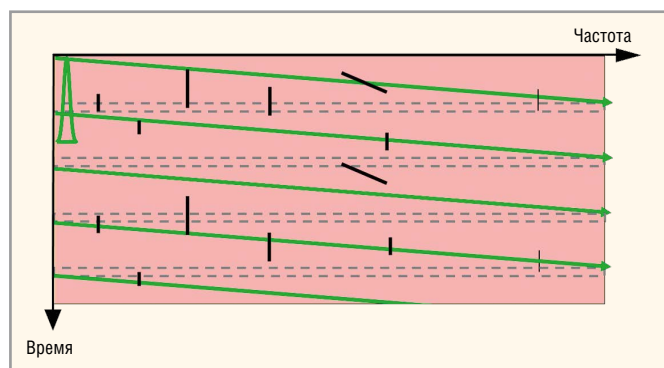


Рис. 2. Быстрое свипирование

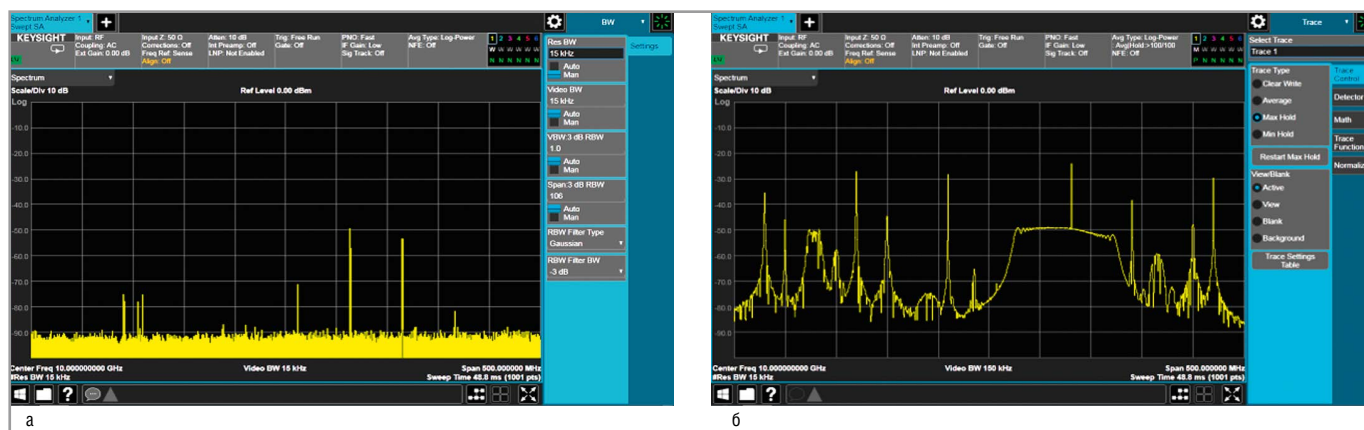


Рис. 3. Результаты измерения анализатором сигналов Keysight UXA серии X: а – одно измерение с быстрым свипированием; б – измерение в режиме удержания максимума

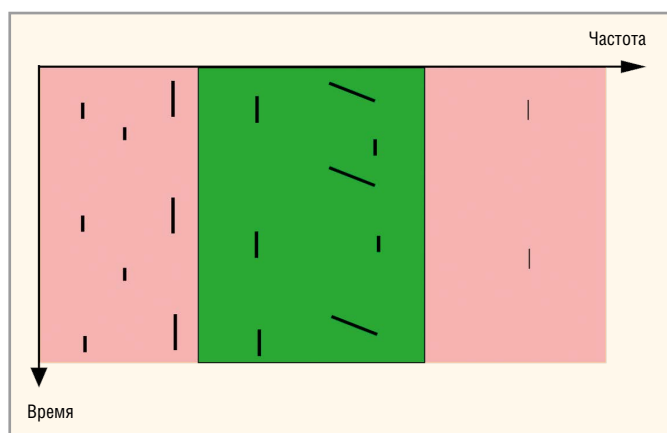


Рис. 4. Измерения при фиксированной частоте гетеродина

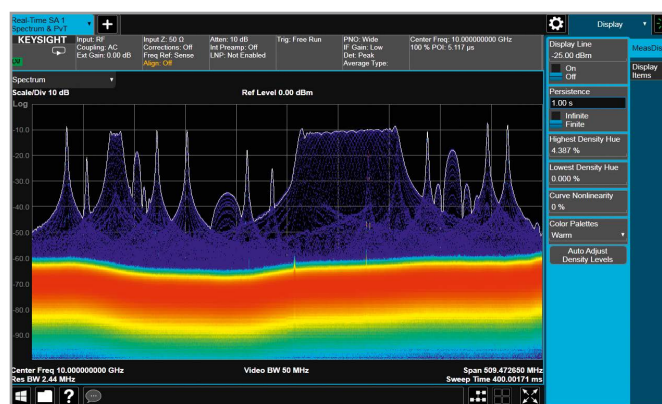


Рис. 5. Плотность распределения, полученная анализатором сигналов с опциональным режимом RTSA

полного представления о всех внутриполосных спектральных составляющих.

Реальные результаты измерения показаны на рисунках 3а и 3б. Они получены с помощью анализатора сигналов, имеющего функцию быстрого свипирования. Рисунок 3а показывает одно измерение с быстрым свипированием, выполненное анализатором сигналов Keysight UXA серии X. Обратите внимание, что анализатор захватил некоторые, но не все составляющие сигнала. На рисунке 3б показан режим удержания максимума, выполняется несколько свипирований, что делает огибающую сигнала более четкой.

ПЕРЕХОД К АНАЛИЗУ СПЕКТРА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Быстрое свипирование полезно при поиске сигналов, имеющих сравнительно короткий интервал повторения. В современных сигнальных сценариях чаще приходится искать редко появляющиеся сигналы, сигналы с большими интервалами повторения или сигналы, близкие по частоте, которые появляются почти одновременно.

RTSA использует непрерывную обработку для захвата и отображения всех

внутриполосных сигналов. В этом режиме гетеродин работает на фиксированной частоте, а анализатор оцифровывает входной спектр. Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) непрерывно обрабатывают захваченные данные, выполняя быстрые преобразования Фурье (БПФ) со скоростью не меньшей, чем скорость регистрации (см. рис. 4). При фиксированной частоте гетеродина весь контент сигнала захватывается независимо от частоты повторения. В данном случае полоса обзора уже, чем в случае свипирующих измерений.

На фоне постоянного совершенствования дигитайзеров и технологии цифровой обработки сигнала, этот метод прошёл путь от узких полос, неприемлемых для современных систем РЭБ, до непрерывных полос обзора от 160 МГц (2013 г.) до 510 МГц (2014 г.) в автономных анализаторах сигналов. Кроме того, возможность сохранения широкого динамического диапазона при широкой полосе помогает точно идентифицировать слабые сигналы на фоне сильных.

Помимо возможности наблюдать более широкий спектр без потери сигналов, измерения в режиме реального

времени могут обнаруживать сигналы очень малой длительности. Например, используя высокую частоту дискретизации, необходимую для обеспечения широкой полосы, анализатор может захватывать очень короткие сигналы. Если имеется запас по уровню хотя бы 60 дБ, то анализатор реального времени может обнаружить практически любой сигнал длительностью, равной обратной величине от эффективной частоты дискретизации анализатора ($1/f_s$). Например, анализатор с частотой дискретизации 300 МГц может захватить сигнал длительностью от 3,33 нс, но не со 100-процентной вероятностью.

Хотя анализатор может обнаруживать импульсы наносекундной длительности, нет никаких гарантий, что он всегда захватит импульс или отобразит его амплитуду с высокой точностью. Параметр, который называется вероятностью захвата, определяет минимальную длительность импульса, при которой анализатор всегда обнаруживает нестабильный или непериодический сигнал и делает это с номинальной погрешностью по амплитуде. Минимальная длительность для достижения 100-процентной вероятности захвата определяется

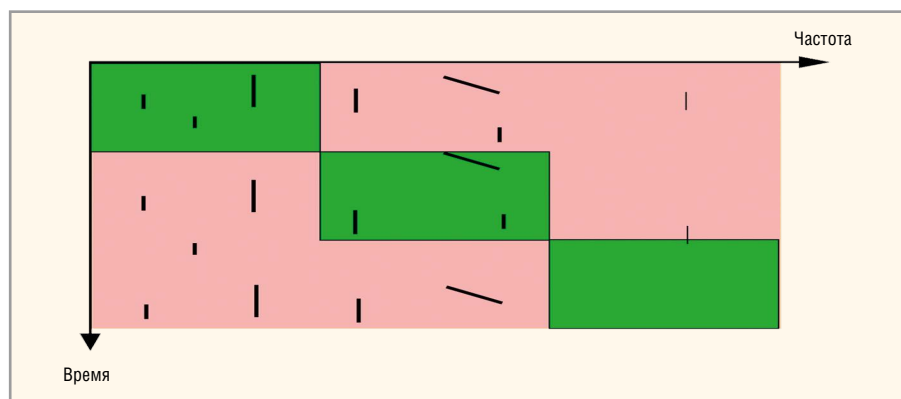


Рис. 6. Захвачен как минимум один фрагмент каждой последовательности импульсов, но не захвачено всё содержимое сигнала

несколькими факторами: частотой дискретизации, длиной записи (или размером БПФ), функцией взвешивания и её параметрами, обработкой наложения и уровнем шума. Поскольку многие из параметров контролируются пользователем, то выбранные значения будут влиять на минимально достижимое значение вероятности захвата.

Современные специализированные ИС и ПЛИС, осуществляющие постобработку, обладают достаточной скоростью не только для БПФ, но и для выполнения произвольной передискретизации, прореживания и коррекции. Это может быть очень полезно для сохранения динамического диапазона и точного измерения параметров сигнала.

Если обработка БПФ выполняется с очень большой скоростью, то для расширения возможностей интерпретации данных используются такие представления, как плотность распределения. Этот режим позволяет отобразить в одном окне частоту, амплитуду и длительность сигнала (см. рис. 5). На рисунке чётко отображаются одновременно появляющиеся сигналы, в том числе два импульса, занимающие один и тот же спектр в пределах диаграммы.

Дополнение RTSA плотностью распределения с цифровым послесвечением

Некоторые приборы используют гибридный подход, называемый плотностью распределения со «сшиванием» спектров в широкой полосе частот. В этом методе каждый блок реального времени захватывается и анализируется в течение некоторого периода времени, а затем гетеродин скачком перестраивается на следующий соседний частотный диапазон, и выполняется ещё один захват реального времени (см. рис. 6). В режиме плотности

распределения время захвата определяет, как долго анализатор обрабатывает каждый участок спектра (ось Y).

Одним из основных преимуществ такого подхода является максимальная полоса измерений, которая может достигать полного диапазона частот анализатора. Другое преимущество заключается в способности обнаружения коротких или непериодических сигналов, которые появляются в течение некоторого интервала времени. Сравните это с однодиапазонным измерением RTSA: безусловно, можно найти очень короткий сигнал, однако это нереально, если время измерения ограничено или сигнал не повторяется.

В качестве примера давайте представим, что полный сценарий тестирования передатчика занимает 10 секунд, и есть причины подозревать присутствие нежелательного выброса в пределах 1 ГГц вверх и вниз от измеряемой частоты. Установив период захвата реального времени на 10 секунд, мы обнаружим все выбросы, появляющиеся в течение измерительного интервала. Один из возможных методов заключается в такой настройке анализатора сигналов, чтобы он охватывал нужный нам диапазон 2 ГГц в режиме реального времени, перемещаясь шагами по восьми участкам спектра шириной 250 МГц.

Такой подход имеет два существенных недостатка. Во-первых, снижается гибкость установки параметров анализатора, таких как RBW, по сравнению с методом свипирования. Второй и, вероятно, более существенный недостаток заключается в том, что если стоит задача просмотра полосы обзора в несколько гигагерц, то на анализ результирующего спектра может уйти достаточно много времени. Это усугубляется в сценариях с очень большими периодами повторения сигналов.

Выявление представляющих интерес сигналов

Любой метод реального времени позволяет увидеть множество труднонаблюдаемых сигналов в интересующем частотном диапазоне. Однако в процессе анализа среды РЭБ с высокой плотностью сигналов может потребоваться выделить всего один интересующий сигнал – несущую, выброс или импульс.

Сигнальный процессор, обеспечивающий измерения в режиме реального времени, поддерживает и расширенные возможности запуска, которые позволяют обнаружить интересующие сигналы и потом начинать измерения. Параметры для настройки условий запуска включают частоту, амплитуду и длительность сигнала (то есть время нахождения сигнала в активном состоянии) или их комбинацию. Это может быть очень полезно для выявления паразитных выходных сигналов передатчика, которые практически невозможно обнаружить при измерениях во временной области.

Заключение

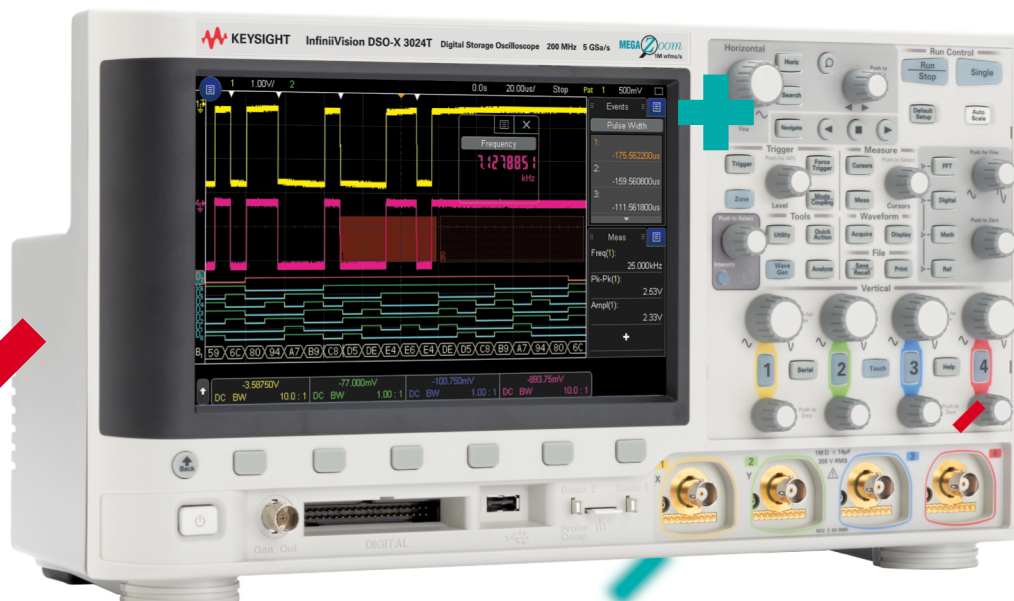
Анализатор сигналов, поддерживающий функцию свипирования, широкополосный RTSA и плотность распределения с цифровым послесвечением, обладает скоростью, гибкостью и характеристиками, необходимыми для работы со сложными современными системами и сигнальными средами. Для выявления нужных сигналов можно использовать расширенные возможности, запуская измерения при достижении заданной частоты, амплитуды или времени. В результате можно получить возможность видеть истинное поведение динамических сигналов и реальные характеристики самых сложных устройств.

Литература

1. Применение более широких и глубоких представлений труднозахватываемых сигналов для измерения характеристик сложных систем и сред (документ Keysight 5992-0102EN).
2. Измерение быстро меняющихся сигналов в динамичных сигнальных средах (документ Keysight 5991-2119EN).
3. Понимание и применение вероятности захвата в анализе спектра реального времени (документ Keysight 5991-4317EN).
4. Применение методов быстрого свипирования для ускорения поиска выбросов (документ Keysight 5991-3739EN).



ДИПОЛЬ



Новые осциллографы Keysight Technologies InfiniiVision 3000T серии X

Производительность старших серий осциллографов теперь доступна в сегменте среднего класса!

Революционная технология сенсорного запуска InfiniiScan Zone Trigger, емкостный сенсорный экран, специально разработанный пользовательский интерфейс, функциональность нескольких приборов в одном – и все это в сочетании с бескомпромиссной скоростью обновления более 1 млн. осциллограмм в секунду.

- Функциональность «6 приборов в 1»: осциллограф, частотомер, вольтметр, генератор, логический анализатор и анализатор протоколов
- Полоса пропускания до 1 ГГц
- Скорость обновления осциллограмм на экране – 1 млн. осцилл./с
- Аппаратное декодирование протоколов и тестирование по маске
- Расширенный математический анализ в базовой конфигурации, 38 автоматических измерений



Инновационные решения для электронной промышленности

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород
www.dipaul.ru / info@dipaul.ru