

# Применение новых методов генерации сигнала для расширенного моделирования среды РЭБ

Олег КАЛИНИН  
tmo\_russia@keysight.com

**В последние годы для создания быстроперестраиваемых широкополосных источников сигнала, необходимых для имитации угроз при отладке средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), применялись самые разнообразные технологии. Аналогичные методы использовались и при разработке гетеродинов и генераторов ВЧ-импульсов, которые могут быстро перестраиваться в широком диапазоне частот и амплитуд.**

Эти идеи и легли в основу нового быстроперестраиваемого генератора сигналов Keysight UXG (рис. 1). Архитектура UXG, использующая прямой цифровой синтез (DDS) и новую технологию коммутации, позволила создать генератор, идеально подходящий для задач, в которых требуется быстрая перестройка гетеродина или высокореалистичная имитация среды РЭБ. Технология DDS реализуется на основе разработанного компанией Keysight цифроаналогового преобразователя (ЦАП), значи-

тельно расширяющего динамический диапазон и снижающего фазовый шум.

## Гибкость, скорость и качество сигнала

Характеристики и функции UXG опираются на три инновационные технологии:

- Генерация сигналов с помощью DDS, позволяющая добиться исключительно высокого качества сигнала в полосе от 10 МГц до 20 или до 40 ГГц.

- Электронные коммутаторы, изменяющие выходные уровни всего за 600 нс в широком диапазоне амплитуд с точной синхронизацией по времени.
- Прямая поддержка слов описания импульсов (PDW) — родного языка инженеров РЭБ — позволяет эффективно создавать сложные и точные сигналы.

Показанная на рис. 2 структурная схема иллюстрирует основанную на DDS архитектуру генератора UXG. Сердцем DDS является быстродействующий ЦАП, работающий на высокой частоте и обладающий достаточно широкой полосой для минимизации числа каскадов повышающего преобразования частоты. Для умножения сигнала до максимальной частоты 40 ГГц используется массив удвоителей и фильтров.

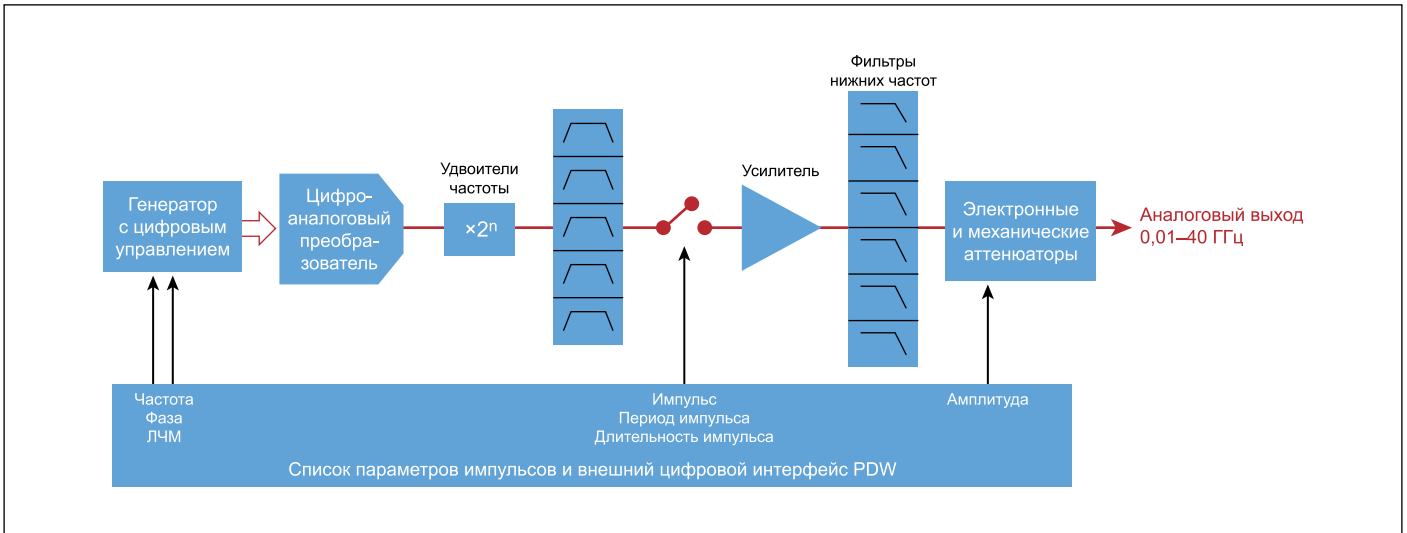
ЦАП охватывает октаву с центральной частотой 1 ГГц и значительно расширяет динамический диапазон и снижает фазовый шум. В результате мы получаем возможность создания очень чистых сигналов (рис. 3).

Эти характеристики сочетаются с лучшей в отрасли скоростью коммутации и очень малой задержкой команд изменения частоты. Например, частоту можно изменить всего за 100 нс. В зависимости от выбранного режима работы, задержка с момента поступления внешней команды до изменения частоты может быть всего 250 нс. Кроме того, UXG способен генерировать широкие импульсы с линейной частотной модуляцией с частотой 10–25% от несущей.

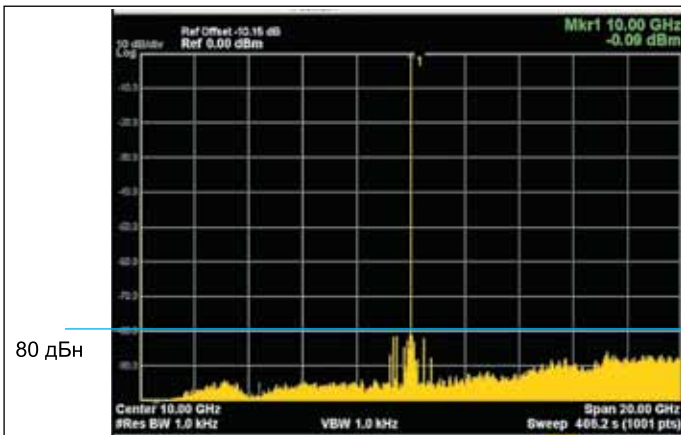
Всеобъемлющая имитация угроз в приложениях РЭБ требует быстрого изменения амплитуды, которое соответствовало бы скорости изменения частоты источника радиоизлучения. Для этого нужна согласованная коммутация электронных аттенуаторов, и в UXG данная задача решена с помощью



**Рис. 1.** Быстроперестраиваемый генератор сигналов Keysight UXG (сверху) является мощной основой для создания надежных гетеродинов и расширяемых имитаторов угроз



**Рис. 2.** Архитектура UXG позволяет точно моделировать сложные сигнальные сценарии за счет быстрой коммутации, воспроизводимости фазы и широких возможностей импульсной модуляции



**Рис. 3.** В этом измерении спектра с полосой обзора 20 ГГц немодулированный сигнал 10 ГГц быстроперестраиваемого генератора UXG демонстрирует широкий динамический диапазон, низкий уровень собственных шумов и минимальный уровень паразитных составляющих

### Как избежать сюрпризов на последних этапах разработки

В сфере РЭБ наблюдается постоянная гонка между разработкой и реализацией улучшенных систем, между средствами анализа и контрмерами, применяемыми для противодействия этим системам. Используемая в UXG архитектура ЦАП на основе DDS предлагает конкурентные преимущества для приложений РЭБ, будь то потребность в быстрой перестройке гетеродина или имитация среды РЭБ с помощью PDW:

- **Качество сигнала.** UXG генерирует сигналы с малым уровнем паразитных составляющих и фазового шума при большой отстройке от несущей. Такое качество характерно для приборов, использующих фазовую автоподстройку частоты (ФАПЧ), а не DDS.
- **Очень быстрая перестройка частоты, амплитуды и фазы.** Все три параметра выходного сигнала могут изменяться лишь за 100 нс.
- **Поддержка нескольких сигналов и сложных сценариев.** Последовательности выборок могут имитировать несколько излучателей при одном источнике сигнала.
- **Воспроизводимость фазы.** Расчеты для генерации сигнала включают накопители фазы, программируемые на любое нужное соотношение фаз.
- **Хорошая адаптация к совершенствующимся угрозам.** Скорость перестройки и гибкость UXG помогает точно имитировать эквивалентные характеристики современных угроз и адаптироваться к ним по мере их изменения.
- **Простой путь от заданных характеристик импульса до реального выходного сигнала.** UXG может напрямую воспроизводить сложные динамические и импульсные сигналы, создавая их на основе математического описания по заданным импульсным характеристикам.

Последний пункт очень важен: UXG непосредственно понимает язык PDW. Каждое слово описывает все параметры отдельного импульса: частоту, длительность, амплитуду, скорость изменения ЛЧМ и многое другое. Таблицы PDW можно передавать в память UXG и с высокой скоростью воспроизводить сложные последовательности. Отдельные импульсы могут иметь длительность всего 5 нс, время нарастания/спада 1 нс и подавление в паузе 80 дБ. Для синхронизации исполнения PDW с другими устройствами предусмотрены маркеры, причем последовательности PDW способны синхронизироваться и управляться подаваемыми на UXG внешними сигналами запуска.

Благодаря этим возможностям генератор UXG предназначен для всестороннего и реалистичного тестирования на ранних этапах раз-

интегральных коммутаторов на полевых СВЧ-нотранзисторах, разработанных и изготавливаемых компанией Keysight. Такие новые коммутаторы рассчитаны на частоты СВЧ и миллиметрового диапазона и обладают достаточным быстродействием для минимизации искажений формы импульса. В результате быстрая перестройка амплитуды в пределах 80 дБ может использоваться в диапазоне выходных уровней 0...-120 дБм, что позволяет работать с разнообразными сценариями отладки. Чтобы оптимизировать стоимость и функциональность прибора для различных приложений, быстродействующий электронный аттенуатор поставляется в качестве опции.

В некоторых сценариях для имитации угроз важно сохранить определенные фазовые и частотные соотношения импульсов, частотных скачков или последовательно чередующихся сигналов. UXG может генерировать сигналы с любыми алгоритмами изменения фазы или частоты, не ограничивая скорость перестройки частоты или амплитуды. Кроме того, он поддерживает любые заданные соотношения при изменении частоты, амплитуды и импульсных характеристик или при положительном либо отрицательном перепаде. Можно также объединить несколько UXG по тактовой частоте и запуску, что обеспечивает когерентность фазы нескольких источников, позволяя имитировать перестраиваемые направленные антенны или генерировать сценарии с заданным углом падения для оценки пеленгационных приемников.

работки и позволяет инженерам оптимизировать и проверять характеристики систем до проведения затратных, потенциально долгих и плохо воспроизводимых полевых испытаний. Кроме того, устройство существенно сокращает время от момента сбора данных о новом сигнале до создания реалистичных моделируемых угроз.

### Приближение к реальности

В условиях, когда возможно быстрое изменение оперативно-тактических данных, лучшее тестирование обеспечивает более глубокую уверенность в правильной работе системы РЭБ. Быстроперестраиваемый генератор сигналов Keysight UXG помогает

инженерам РЭБ создавать сложные сценарии, когда бы они ни понадобились.

Генератор UXG является мощным готовым решением для использования, например, в качестве надежного гетеродина или в составе масштабируемого имитатора угроз. Поскольку UXG поддерживает язык программирования систем РЭБ, он обеспечивает более быструю интеграцию вновь полученных разведанных в актуальные сигнальные сценарии. Благодаря непревзойденным характеристикам, таким как скорость коммутации и фазовый шум, UXG позволяет создавать все более сложные модели, точно соответствующие реальности. ■

Дополнительную информацию можно найти по ссылке: [www.keysight.com/find/UXG](http://www.keysight.com/find/UXG).