

# Создание сценариев с несколькими излучателями с помощью высокоинтегрированного быстроперестраиваемого генератора сигналов

Вальтер ШУЛЬТЕ (Walter SCHULTE)

**Эффективная разработка систем радиоэлектронной борьбы (РЭБ) требует создания испытательных сигналов, точно и полно представляющих среду РЭБ. В частности, важной частью реалистичного тестирования является имитация среды с несколькими излучателями.**

В настоящее время такие среды с несколькими излучателями имитируются с помощью больших и сложных специализированных систем, которые используются во время квалификационных испытаний и проверки. Данные системы не всегда доступны разработчикам средств РЭБ в виде готового контрольно-измерительного решения.

Приборы нового класса — быстроперестраиваемые генераторы сигналов — предлагают высокоинтегрированное одноприборное решение для подобных задач. И хотя эти приборы не обладают всеми возможностями полной специализированной системы, на ранних этапах разработки они могут создать достаточно достоверную модель среды с несколькими излучателями, когда требуется максимальная гибкость и продуктивность.

Быстроперестраиваемые генераторы сигналов используют прямой цифровой синтез (DDS), что обеспечивает когерентность на всех частотах и в любой момент времени. Кроме того, эти приборы могут непосредственно воспроизводить слова описания импульсов (PDW), а также синхронизироваться между собой для имитации угла прихода волны (AoA) за счет применения общей тактовой частоты DDS

6 ГГц, общего опорного источника ВЧ-сигнала и маркеров в конфигурации «ведущий/ведомый». Благодаря таким возможностям быстроперестраиваемые генераторы сигналов позволяют выполнять имитацию с высокой точностью.

## Точная имитация среды с несколькими излучателями

В современном спектре могут присутствовать десятки и сотни радиолокационных сигналов, которые передают миллионы радиолокационных импульсов в секунду. На рис. 1 дан общий обзор спектральной среды, насыщенной радиолокационными сигналами. Кроме того, полная ВЧ/СВЧ-среда включает постоянно растущее число сигналов коммерческой беспроводной связи.

Имитация такой среды является непростой задачей, особенно на этапе проектирования. При проектировании средств РЭБ плотность и частотный диапазон среды делает непрактичной имитацию нескольких излучателей с помощью одного источника сигнала (например работающего на основе фракционного синтеза) или даже с помощью малого числа таких источников, поскольку они не могут менять настройки достаточно быстро.

Для создания необходимой плотности сигналов нужна способность имитировать несколько излучателей посредством одного источника. А если нужно воспроизвести еще большую плотность сигналов или имитировать угол прихода волны (AoA), то решение должно использовать несколько синхронизированных источников, каждый из которых имитирует несколько излучателей.

Возможность имитации нескольких излучателей, работающих на нескольких частотах, определяется рядом ключевых факторов: частотой следования импульсов и их скважностью, числом излучателей и способностью источника быстро и когерентно изменять значения частоты, амплитуды и модуляции. Если выполняется имитация нескольких излучателей, то фактором, ограничивающим применение одного генератора сигналов, являются коллизии импульсов. Процент коллизий растет с увеличением числа излучателей и частоты следования импульсов.

Основной фактор, влияющий на способность источника имитировать несколько излучателей, — скорость его перестройки. Например, время установки частоты или амплитуды (смотря что больше) определяет время перехода от воспроизведения одного PDW к воспроизведе-

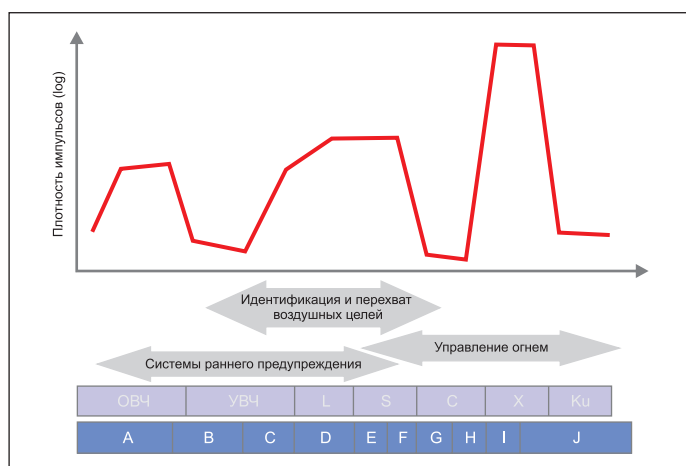


Рис. 1. Общее представление зависимости плотности сигналов военных РЭС от частотного диапазона в типовой рабочей среде

нию следующего. Общая плотность импульсов для одного источника ограничивается суммой времени перехода и длительности передаваемых импульсов (рис. 2). Этот «период блокировки» должен быть как можно короче, и, следовательно, время установки источника тоже должно быть как можно меньше.

Для того чтобы имитировать высокую плотность импульсов и при этом обеспечить возможность некоторого их перекрытия, может понадобиться применение нескольких источников. Добавление в схему тестирования нескольких источников позволяет просто и гладко масштабировать плотность импульсов и в конечном итоге достичь желаемого компромисса между реализмом и затратами. Однако это требует точной синхронизации всех подключенных источников.

### Применения высокоинтегрированного генератора сигналов

В прошлом имитации выполнялись обычно с применением отдельных компонентов для каждой функции имитатора: генерация сигнала, модуляция, формирование импульсов, ослабление, усиление и сдвиг фазы. Для получения выходных импульсов во все функциональные компоненты передавались одни и те же PDW.

При использовании такого подхода очень сложно обеспечить синхронизацию всех компонентов и управление ими. Для минимизации периодов блокировки и достижения полной оптимизации плотности импульсов необходима полная синхронизация в широком диапазоне времени установки и задержек.

Такие системы можно масштабировать для создания нескольких координированных каналов. Однако они требуют огромного количества оборудования, что приводит к увеличению физических размеров и стоимости. Альтернативным решением является высокоинтегрированный быстроперестраиваемый генератор сигналов на основе прямого цифрового синтеза (DDS).

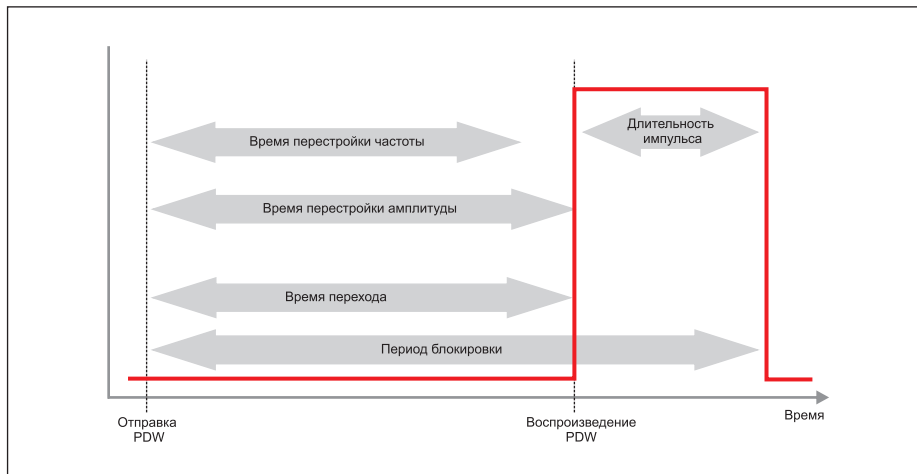


Рис. 2. Во время периода блокировки источник не способен имитировать другой излучатель: если он переключается, то не может воспроизводить импульс, а если он воспроизводит импульс, то не может переключаться

### Получение значительных преимуществ

В том виде, в котором он реализован в быстроперестраиваемом генераторе сигналов Keysight UXG (рис. 3), этот подход обладает четырьмя важными преимуществами. Во-первых, генератор может в цифровом виде управлять точной настройкой частоты и фазы в пределах одного периода тактовой частоты. Во-вторых, он может выполнять быструю скачкообразную перестройку частоты с непрерывной фазой и воспроизводимой амплитудой, которые необходимы для имитации доплеровских РЛС на разных частотах, при сохранении исходных фазовых соотношений. В-третьих, он обеспечивает цифровую точность и воспроизводимость за счет создания модуляции в частотной области. И в-четвертых, обеспечивает простую межприборную синхронизацию за счет применения общего источника опорной частоты ЦАП в конфигурации «ведущий/ведомый».

Два дополнительных преимущества непосредственно касаются разработчиков средств

РЭБ. Например, система DDS, использующая цифровой модулятор для амплитудной, частотной и фазовой модуляции, может создавать сигналы с цифровой модуляцией с помощью задающего генератора с цифровым управлением. Кроме того, с помощью такого задающего генератора можно непосредственно синтезировать импульсы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) и коды Баркера.

### Добавление инновационных подсистем

Последние инновации компании Keysight позволили создать ЦАП (а следовательно, и DDS), пригодный для тестирования средств РЭБ. ЦАП рассчитан на ВЧ-приложения, обладает большой разрядностью и обеспечивает высокую целостность сигнала, включая низкий уровень фазовых шумов и свободный от паразитных составляющих динамический диапазон (SFDR), равный -70 дБн.

Высокая частота дискретизации ЦАП обеспечивает поддержку широкополосного DDS, который сокращает число каскадов умножения, необходимых для синтеза



Рис. 3. Серийный быстроперестраиваемый генератор сигналов Keysight UXG является мощным компонентом, который можно использовать в качестве независимого гетеродина или масштабируемого имитатора излучателей

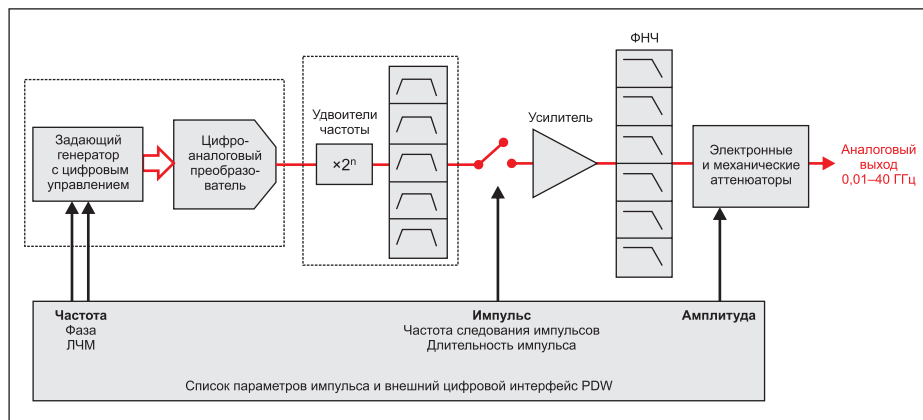


Рис. 4. Структурная схема быстроперестраиваемого генератора сигналов, охватывающего диапазон частот от 10 МГц до 40 ГГц

СВЧ-частот. Меньшее число каскадов умножения ограничивает уровень фазового шума и число паразитных составляющих, присутствующих на СВЧ-выходе.

Архитектура быстроперестраиваемого генератора сигналов на основе истинного DDS показана на рис. 4. В этой схеме применяются инновационные технологии ЦАП и коммутаторов на полевых транзисторах компании Keysight.

Генерация сигнала начинается с DDS, который создает минимальный уровень паразитных составляющих, поскольку этот уровень растет с каждым удвоением частоты. Для формирования сигналов частотой до 40 ГГц применяется необходимое количество удвоителей частоты. Каждый каскад умножения использует полосовые фильтры для подавления нежелательных сигналов, возникающих в умножителях. Кроме того, DDS позволяет модулировать импульсы.

В аттенуаторах предусмотрены коммутаторы на полевых транзисторах, обеспечивающие быстрое переключение для управления выходным уровнем. Очень быстрая установка уровня соответствует скорости перестройки частоты, что позволяет реализовать весьма точное управление мощностью без обратной связи и без потерь времени перестройки. Импульсный модулятор тоже

использует коммутатор на полевых транзисторах.

Благодаря этим особенностям быстроперестраиваемый генератор сигналов отвечает важным функциональным и параметрическим требованиям: быстрые переходы между несколькими излучателями, широкий динамический диапазон, соответствующий диапазону современных приемников РЭБ, имитация нескольких излучателей с точными уровнями мощности и быстрой перестройкой амплитуды и частоты, внутриимпульсная модуляция с помощью кодов Баркера или ЛЧМ.

### Точная имитация AoA

Создание излучателей с требуемой достоверностью и плотностью очень важно, но не меньшую роль играет воспроизведение геометрии и динамических особенностей реальных сценариев РЭБ. Например, это важно при имитации угла прихода волны (AoA) импульсов, принимаемых приемником РЭБ.

Системы РЭБ измеряют AoA и оценивают расстояние путем сравнения амплитуды, доплеровского смещения, разности фаз и разности времени прихода (TDoA). Точные измерения AoA позволяют правильно определять местоположение и, следовательно,

быстрее и лучше классифицировать излучатели в системе РЭБ.

Отчасти это важно потому, что новейшие системы постановки помех используют активные антенные решетки с электронным сканированием (AESA), способные точно формировать диаграмму направленности для подавления сигнала излучателя с минимальными потерями. Кроме того, приемники РЭБ с лучшим AoA обеспечивают более простое и быстрое чередование и сортировку. В результате измерение AoA становится все более актуальным требованием.

В прошлом AoA создавался набором источников сигналов, аналоговых фазовращателей, аттенуаторов и усилителей в сигнальном тракте, идущем к тестируемой системе. Эти аналоговые элементы занимали много места, имели ограниченное разрешение и дорого стоили.

Вместо этого можно синхронизировать несколько быстроперестраиваемых генераторов сигналов и создать когерентные, синхронизированные по времени выходные сигналы, позволяющие исключительно точно управлять фазой, амплитудой и временем прихода волновых фронтов на тестируемую систему.

### Заключение

Применение реалистичной имитации среды РЭБ на ранних этапах разработки позволяет улучшить характеристики системы, ускорить разработку и сократить расходы. Кроме того, решение на основе высокоинтегрированного быстроперестраиваемого генератора сигналов обеспечивает больший реализм тестирования во время перепрограммирования действующих систем РЭБ. Всестороннее тестирование поведения системы до ее развертывания играет весьма важную роль в обеспечении необходимых характеристик в ходе боевых действий.

Дополнительная информация по этому вопросу приведена в рекомендациях по применению «Генерация сигналов для радиоэлектронной борьбы: методы и технологии» ([www.keysight.com/find/UXG](http://www.keysight.com/find/UXG)). ■