

# Испытания систем радиолокации и РЭБ

---

Выбор подходящего  
генератора сигналов  
для имитации источников  
электромагнитных излучений

# Введение

Правильный выбор генератора сигналов для имитации источников электромагнитных излучений (ЭМИ) при проведении испытаний средств и комплексов радиоэлектронной борьбы (РЭБ) – непростая задача. Отчасти сложность выбора заключается в необходимости выполнения индивидуальных требований инженера-испытателя и учета особенностей решаемой задачи. Поэтому ни один генератор сигналов не будет идеальным решением на любой случай. Еще одним ключевым моментом, осложняющим выбор, является недостаток информации о подходящем оборудовании. Большинство инженеров попросту не имеют достаточного опыта, чтобы понимать, какие типы источников сигналов и когда нужно использовать. Эта проблема имеет место не только при решении прикладных задач в процессе создания средств и комплексов РЭБ, но не менее актуальна и применительно ко всем задачам, связанным с радиолокационными системами (например, системами посадки, метеорологическими РЛС и т.д.). Фактически любой инженер, сталкивающийся с необходимостью исследования характеристик систем радиолокации и РЭБ, в той или иной степени нуждается в генераторе сигналов для имитации различных типов источников ЭМИ. С помощью генераторов сигналов выполняются: имитация условий ведения РЭБ, запуск различных сценариев испытаний путем формирования последовательностей импульсных сигналов и общей сигнально-помеховой обстановки для определения реакции приемных систем, а также другие виды проверок.

Несмотря на все трудности на пути к правильному выбору источника сигналов результат стоит затраченных усилий, поскольку, сделав неверный выбор, вы столкнетесь с рядом негативных последствий. Инженер может ошибочно задать неверные характеристики или выбрать оборудование, вообще не обладающее нужными для выполнения работы функциями. Аналогичным образом инженер может непреднамеренно задать избыточные требования к оборудованию. Подобная ошибка повлечет чрезмерные траты, и в результате дорогостоящее полнофункциональное оборудование будет использоваться там, где для решения задачи хватило бы старого и менее дорогого. К счастью для любого инженера-испытателя систем радиолокации и РЭБ, сталкивающегося с этой дилеммой, теперь появились общие критерии, помогающие сделать выбор. Эти критерии не только помогут сузить круг вариантов выбора, но и гарантируют эффективное использование имеющихся активов. В зависимости от измерительных задач, решаемых при испытаниях комплексов РЭБ, одновременно могут использоваться различные типы генераторов сигналов.

## Типы генераторов сигналов

В настоящее время поставщики предлагают четыре различных типа генераторов сигналов для имитации источников ЭМИ. Это генераторы сигналов с быстрой перестройкой, векторные генераторы сигналов, генераторы сигналов произвольной формы (ГСПФ) и аналоговые генераторы сигналов.

Генераторы сигналов с быстрой перестройкой частоты строятся на основе прямого цифрового синтеза и представляют собой широкодиапазонные источники сигналов с возможностью перестройки частот несущих за доли микросекунд во всем рабочем диапазоне. Векторные генераторы сигналов представляют собой сочетание генератора сигналов произвольной формы и источника с I/Q-модулятором для переноса спектра сигнала на более высокие частоты. Этот тип генераторов – нечто среднее между сверхширокополосными ГСПФ и генераторами с быстрой перестройкой. Генераторы сигналов произвольной формы (ГСПФ) способны формировать сигналы с различным разрешением (степенью детализации формы сигнала) и частотой дискретизации. Наконец, аналоговые источники сигналов – это генераторы, не обладающие функциями I/Q-модуляции, но способные формировать непрерывные сигналы с различными типами аналоговой модуляции.

## Основные показатели качества

При оценке возможности применения этих четырех типов источников для решения поставленных задач следует учитывать ряд различных показателей качества и возможностей. В перечень основных характеристик всех источников сигналов входят восемь показателей:

- **Фазовый шум.** Уровень фазовых шумов является одним из наиболее важных показателей качества генераторов и является мерой спектральной чистоты сигналов, формируемых любым источником. Он вполне может быть ограничивающим фактором при решении критически важных задач в аэрокосмической и оборонной промышленности, таких как радиолокация и РЭБ. Из-за фазового шума относительно малые сигналы вблизи несущей могут маскироваться шумовыми боковыми полосами основного сигнала в условиях сигнально-помеховой обстановки с несколькими источниками ЭМИ, а работа систем на основе эффекта Доплера (рисунок 1) может затрудняться ложными эхо-сигналами.

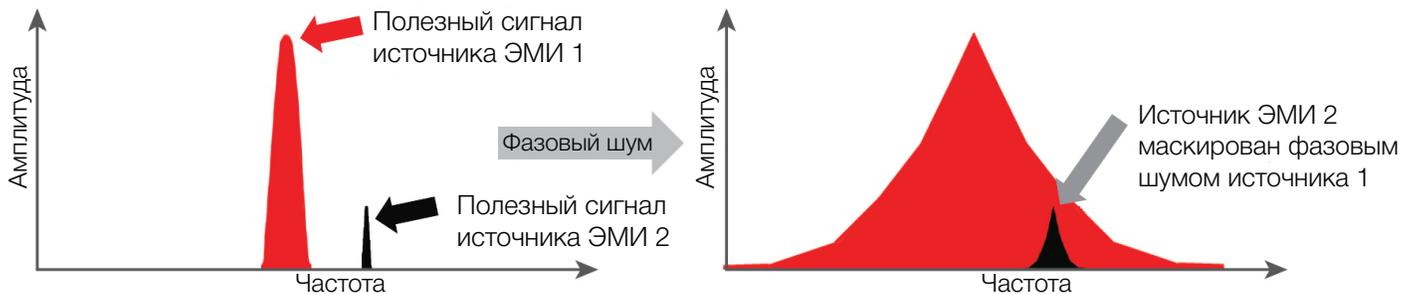


Рисунок 1. Наглядная иллюстрация того, как высокий уровень фазового шума может исказить форму спектра сигнала относительно большой амплитуды, вследствие чего расположенный близко по частоте сигнал меньшего уровня будет маскирован.

- **Динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих (SFDR).** SFDR – это отношение уровня мощности поданного на тестируемое устройство сигнала или сигнала несущей частоты на выходе генератора к мощности наибольшей паразитной составляющей в спектре этого сигнала (наибольшей гармоники). Высокий показатель SFDR имеет важное значение при имитации условий ведения РЭБ для создания реалистичной сигнально-помеховой обстановки, когда диапазон амплитуд сигналов-целей может быть очень широким, а ложные цели приводят к получению недостоверных результатов испытаний (рисунок 2). Этот показатель особенно важен при имитации условий ведения РЭБ, когда чувствительность приемников испытываемых комплексов крайне высока.

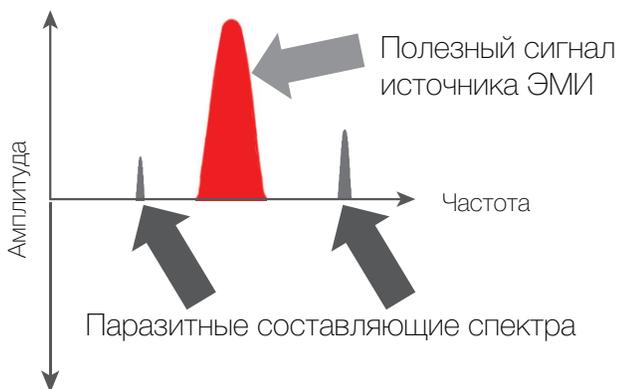


Рисунок 2. Паразитные составляющие спектра могут быть распознаны как ложные цели или радиолокационные эхо-сигналы, вследствие чего возможно получение недостоверных результатов испытаний.

- **Мощность.** Мощность – это основной энергетический показатель сигнала. Большой диапазон установки уровней мощности сигналов важен для реалистичного моделирования множества целей на различном удалении и с разными углами прихода отраженных сигналов. При использовании ГСПФ и векторных генераторов сигналов показатели мощности выходного сигнала непосредственно связаны с разрешением и качеством цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) в генераторе, где каждый дополнительный бит эффективного числа разрядов (ENOB) АЦП может добавить примерно 6 дБ к динамическому диапазону генератора.
- **Скорость переключения между импульсами.** Скорость переключения между импульсами характеризует возможность источника быстро переходить от формирования одного импульсного сигнала с заданной частотой, фазой и уровнем мощности, к формированию другого сигнала. Этот показатель важен при испытаниях систем РЭБ по многим причинам, в числе которых — реалистичность имитации источников ЭМИ с высокой скоростью переключения по указанным выше параметрам, ускорение процесса испытаний и увеличение плотности импульсных сигналов. Плотность характеризует количество импульсных сигналов, присутствующих в общей сигнально-помеховой обстановке в единицу времени, поэтому «быстрые» генераторы с высокой скоростью переключения между импульсами могут создавать сценарии испытаний с более высокой плотностью и меньшим наложением (рисунок 3).

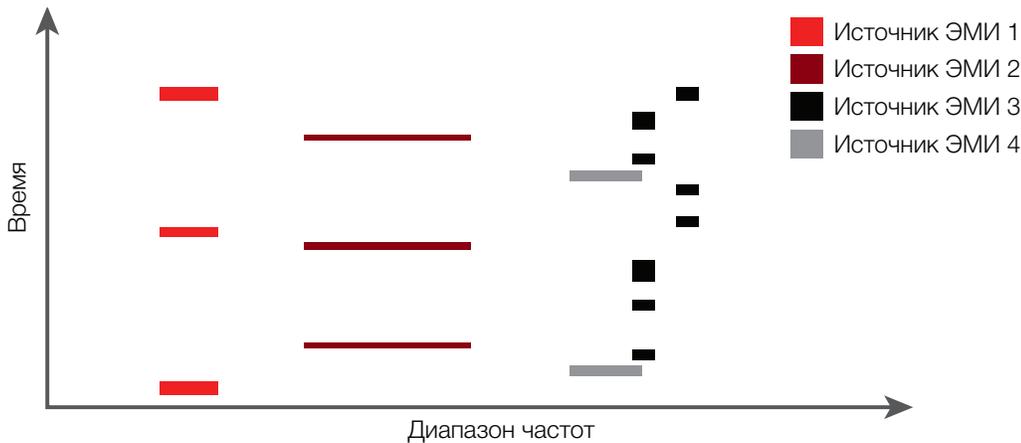


Рисунок 3. Плотность импульсов характеризует количество импульсных сигналов, присутствующих в общей сигнально-помеховой обстановке в единицу времени. Источник сигналов с большей скоростью переключения способен обеспечить большую плотность импульсных сигналов и имитировать большее количество источников ЭМИ.

- **Диапазон быстрой перестройки.** Диапазон быстрой перестройки – это диапазон частот, в котором источник сигналов может с высокой скоростью переключаться от имитации одного источника ЭМИ к другому. Этот параметр важно знать потому, что он определяет два важных показателя: диапазон значений плотности импульсных сигналов и возможности по когерентности между различными импульсами при их переключении. Диапазон быстрой перестройки варьируется в зависимости от архитектуры генератора сигналов. Он более подробно рассматривается в последующих разделах. Когерентность между импульсами при переключении важна для адекватной имитации изменений фазы источников ЭМИ в ходе выполнения сценария, поскольку системы РЭБ отслеживают эти изменения. Например, если генератор имитирует два источника ЭМИ на двух различных частотах, фаза сигналов этих источников на обеих частотах должна «запоминаться» при переключении между частотами и продолжать изменяться при возврате генератора на прежнюю частоту так, как будто переключения не было вовсе (рисунок 4).

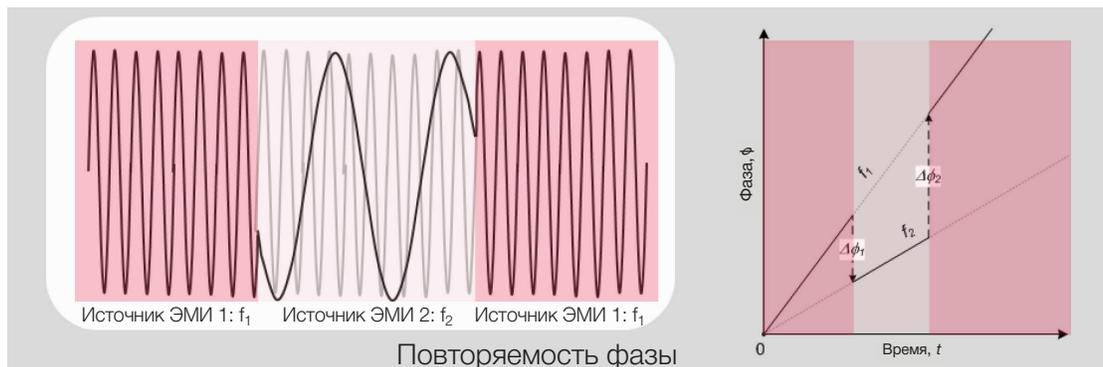


Рисунок 4. Для корректной имитации двух источников ЭМИ на двух различных частотах их фазовые соотношения должны поддерживаться с высокой точностью.

- Полоса частот модулирующего сигнала. Данный параметр характеризует диапазон частот модулирующих сигналов, которые способен формировать источник. Он влияет на время нарастания фронта импульсных сигналов, а также на параметры модуляции, такие как девиация ЛЧМ-сигнала (рисунок 5). Векторные генераторы сигналов и ГСПФ способны одновременно формировать сигналы нескольких источников ЭМИ в пределах полосы частот модулирующих сигналов. Их диапазоны быстрой перестройки, как правило, также ограничены шириной диапазона частот модулирующих сигналов в зависимости от набора частот формируемых сигналов. Полоса частот модулирующих сигналов источника зависит от частоты дискретизации его внутреннего ЦАП, а также от его аналоговых характеристик (например, от разноса частотных диапазонов).

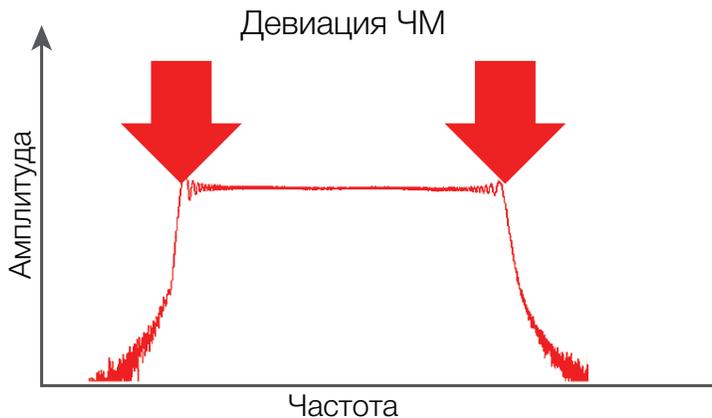


Рисунок 5. Чтобы правильно сформировать показанный ЛЧМ-сигнал, полоса частот модулирующих сигналов источника должна быть больше либо равна девиации частоты.

- Объем памяти и функции потокового воспроизведения. Продолжительность сценариев имитации условий ведения РЭБ может варьироваться от нескольких микросекунд до нескольких дней. В связи с этим генератор сигналов должен формировать сигналы указанной длительности. Методики воспроизведения сигналов различной длительности отличаются по архитектуре аппаратной части и стоимости реализации. При коротких интервалах времени воспроизведения для загрузки данных о квадратурных составляющих формируемых сигналов обычно достаточно внутренней памяти прибора или сжатых форматов данных, обработка которых будет производиться по наступлению конкретного события.

Прямая загрузка данных пригодна только при небольшой продолжительности сценариев. По мере увеличения частоты дискретизации и продолжительности сценариев, а также количества задействованной аппаратуры, потребуется использование дополнительных средств и схем хранения и обработки данных. Одним из способов расширения времени воспроизведения при ограниченном объеме памяти является формирование последовательностей и цифровое преобразование с повышением частоты, которые позволяют индексировать различные сегменты памяти и помещать их в цикл в соответствии с присвоенными индексами, либо изменять частоты несущих при наступлении определенных событий (таких, как получение программной команды или запуск с малой задержкой). В зависимости от условий сценариев, создание последовательностей воспроизведения сегментов памяти может значительно увеличить их продолжительность.

Еще один метод экономии памяти заключается в сжатии данных. Если прибор способен воспринимать абстрактные, общие для всех сигналов, параметры, такие как длительность импульса и тип модуляции, тогда для описания сигнала может потребоваться меньшее число бит данных. Средства, используемые для имитации сценариев ведения РЭБ, используют общий метод описания источников ЭМИ – дескрипторы импульсов (PDW). Различные системы и организации используют разные форматы дескрипторов импульсов, но при этом они имеют много общего. Формат дескрипторов импульсов позволяет адекватно описывать источники ЭМИ при имитации условий ведения РЭБ. Во многих случаях использование дескрипторов импульсов вместо прямого описания сигналов в виде квадратурных составляющих может сократить объем используемой памяти на несколько порядков, а также упростить программирование требуемой формы сигнала (рисунок 6).

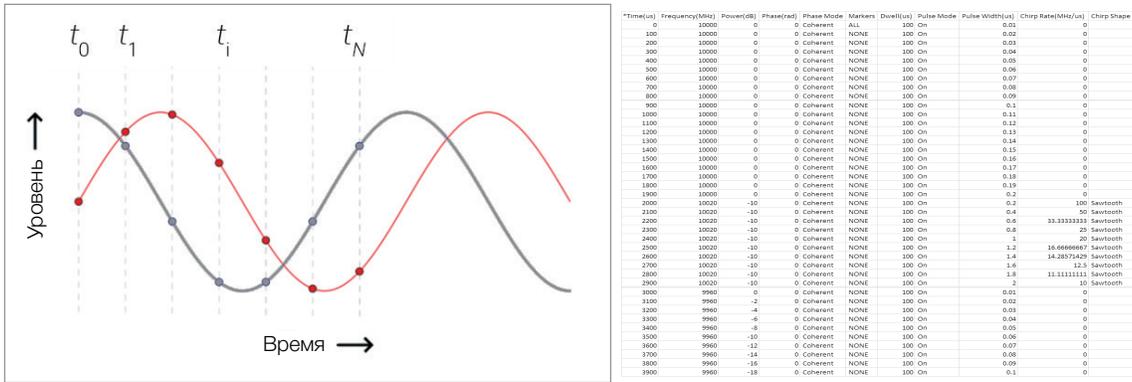


Рисунок 6. Методы сжатия данных (например, использование дескрипторов импульсов) способны значительно снизить требования к объему памяти и упростить формирование сигналов по сравнению с описанием сигналов в виде квадратурных составляющих (слева), формы сигналов могут описываться в табличной форме и быстро загружаться программным путем.

Для максимальной гибкости по временным характеристикам источник сигналов должен иметь возможность потокового воспроизведения сигналов с внешнего управляющего устройства, на котором запускается имитация, или устройства хранения данных, например, RAID-массива. В зависимости от схемы хранения данных пропускная способность может быть либо ограничивающим фактором, либо определяющим критерием стоимости источника сигналов с функцией потокового воспроизведения. Однако использование методов сжатия данных в памяти (таких, как дескрипторы импульсов) способно стать эффективным решением указанной проблемы, поскольку для формирования аналогичного сигнала потребуется меньше данных.

- **Возможности синхронизации.** Во многих случаях генераторы сигналов, используемые для имитации условий ведения РЭБ, должны быть когерентны по фазе, поскольку для формирования сигналов одного источника ЭМИ могут использоваться несколько генераторов, а для реализации некоторых методик испытаний приемников потребуется создать несколько составных фронтов волны с интервалом менее наносекунды. Возможность объединения нескольких генераторов сигналов в единую когерентную систему (с синхронизацией по фазе и времени) для формирования сигналов, помимо всего прочего, также следует рассматривать при выборе оборудования, поскольку именно она определяет способность системы к расширению. Для реализации такой системы важны не только возможности использования разными источниками общих сигналов синхронизации и гетеродина, но и наличие настраиваемых функций запуска, а также высокая точность и повторяемость параметров выходного сигнала.

## Критерии выбора типа генераторов сигналов

В целях облегчения выбора наиболее предпочтительного для решения поставленных задач генератора сигналов ниже приведены общие данные для сравнения функциональных возможностей и технических характеристик четырех основных типов источников сигналов, применяемых для имитации источников ЭМИ.

### Генераторы сигналов с быстрой перестройкой



Рисунок 7. Типовая структурная схема генератора с быстрой перестройкой.

**Варианты применения:** генераторы сигналов данного типа используются для имитации одного или нескольких источников ЭМИ в очень широком диапазоне частот и в качестве быстро перестраиваемых гетеродинов в различных подсистемах (рисунок 7). Благодаря архитектуре, в основе которой лежит принцип прямого цифрового синтеза, их можно жестко синхронизировать при работе в составе многоканальных измерительных систем.

**Преимущества:** генераторы сигналов с быстрой перестройкой обеспечивают высокую производительность при имитации множества различных типов сценариев ведения РЭБ. Благодаря архитектуре, основанной на принципе прямого цифрового синтеза, они способны обеспечивать фазовую когерентность и/или непрерывность во всем диапазоне, а синхронизация нескольких генераторов может быть выполнена с легкостью и высоким разрешением. Кроме того, генераторы сигналов с быстрой перестройкой могут использовать различные форматы дескрипторов импульсов для описания выходных сигналов, позволяя выполнять потоковое воспроизведение сигналов при времени обновления менее микросекунды. Как результат, они способны имитировать множество источников ЭМИ во всем диапазоне рабочих частот, при этом работать совместно с несколькими генераторами и воспроизводить потенциально бесконечно длинные последовательности данных.

**Недостатки:** одним из недостатков генераторов сигналов с быстрой перестройкой является последовательное воспроизведение дескрипторов импульсов по принципу «первый на входе – первый на выходе» (FIFO), следствием чего является невозможность одновременного воспроизведения двух и более дескрипторов импульсов. Этот недостаток не играет большой роли, если коэффициент заполнения имитируемых источников ЭМИ не очень велик. Для одновременного воспроизведения нескольких дескрипторов импульсов инженер-испытатель может использовать соответствующее количество дополнительных генераторов сигналов с быстрой перестройкой, синхронизированных между собой (рисунок 8). Однако при создании законченного эмулятора такое решение может быть менее рентабельным.

#### Основные показатели:

- Диапазон частот: от 10 МГц до 40 ГГц
- Полоса частот модулирующего сигнала: 3 ГГц
- Когерентность/непрерывность во всем диапазоне частот (от 10 МГц до 40 ГГц)
- Количество каналов: от 1 до 6 когерентных
- Скорость обновления дескрипторов импульсов: от 180 нс до 500 мкс
- Схема данных: на основе дескрипторов импульсов (с высокой степенью сжатия)
- Пропускная способность при обработке дескрипторов импульсов, по техническому описанию:
- Минимальная длительность = 4 нс
- Скорость обновления = 180 нс
- Макс. скорость =  $1/(\text{минимальная длительность} + \text{скорость обновления}) = 1/(184 \text{ нс}) = 5,4348 \text{ миллионов дескрипторов импульсов в секунду}$
- Разрешение по времени: 10 пс
- Возможность потокового воспроизведения

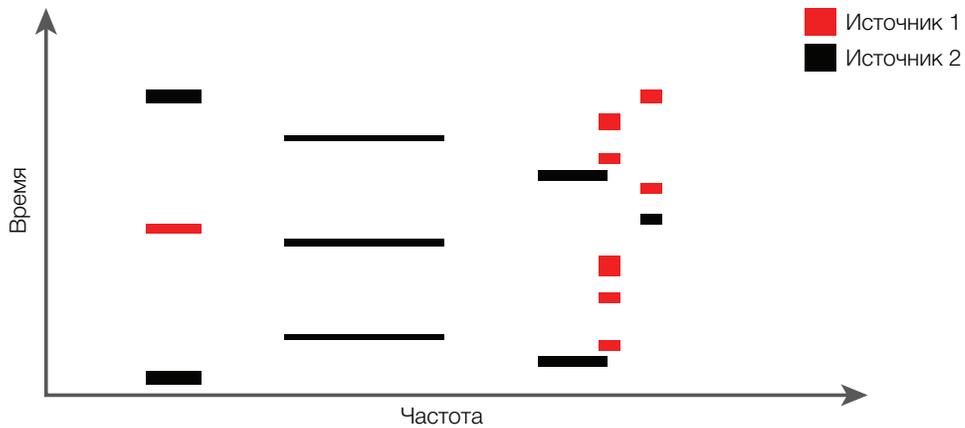


Рисунок 8. Пример сценария с заданной плотностью импульсных сигналов, реализованного с использованием генераторов сигналов с быстрой перестройкой. Для предотвращения пропуска импульсов дескрипторы импульсов распределены между двумя синхронизированными генераторами.

Примером генератора сигналов с быстрой перестройкой может послужить генератор N5193A/N5191A серии UXG компании Keysight (рисунок 9).

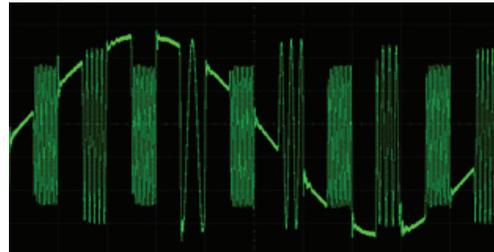


Рисунок 9. Высокопроизводительные генераторы сигналов с быстрой перестройкой N5193A/N5191A серии UXG разработаны специально для имитации сценариев ведения РЭБ с высокой скоростью воспроизведения потоковых данных и переключения между дескрипторами. Имеется возможность синхронизации по внешнему источнику при работе в составе системы.



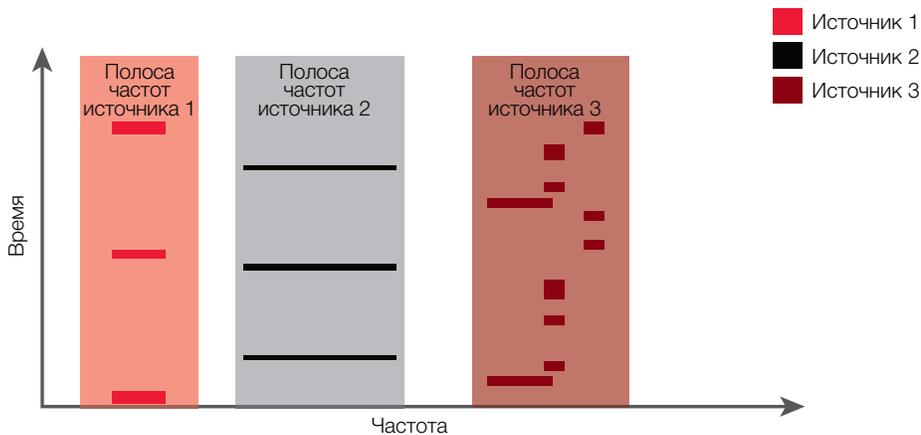


Рисунок 11. Пример сценария с заданной плотностью импульсных сигналов, реализованного с использованием широкодиапазонных векторных генераторов сигналов. В силу ограничений по ширине полосы частот модулирующего сигнала сценарий должен быть разнесен по трем участкам более широкого диапазона рабочих частот векторного генератора сигналов. Полоса модуляции первого источника ЭМИ допускает использование внутреннего модулятора генератора, в то время как полосы частот и скорость переключения между импульсами двух других источников ЭМИ требуют подачи на внутренний I/Q-модулятор векторного генератора сигнала с внешнего ГСПФ для их формирования.

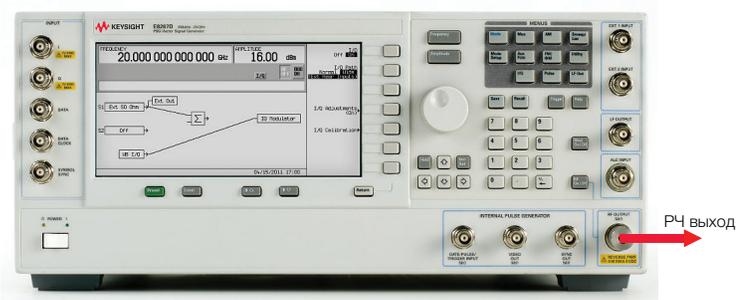
Некоторые примеры векторных генераторов сигналов приведены на рисунках 12-14.



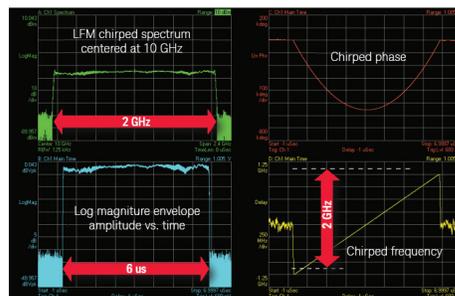
Рисунок 12. Векторный генератор сигналов серии MXG N5182B компании Keysight способен формировать сигналы на частотах до 6 ГГц с полосой частот модулирующего сигнала до 160 МГц. Он также имеет возможность совместной работы с несколькими генераторами серии MXG для одновременного создания нескольких когерентных сигналов для решения многоканальных прикладных задач.



Рисунок 13. Генераторы M9381A в формате PXIe способны формировать сигналы на частотах до 6 ГГц с полосой частот модулирующего сигнала до 160 МГц. Их модульный формат позволяет синхронизировать несколько генераторов M9381A, помещенных в компактный корпус.



|| | Сигнал на вход I/Q-модулятора источника || |



Полоса частот модулирующего сигнала:  
Задана 2 ГГц  
Диапазон частот:  
от 0 до 44 ГГц

Рисунок 14. При выдаче выходного сигнала с ГСПФ M8190A на вход I/Q-модулятора векторного генератора сигналов полученная система позволит формировать сигналы в диапазоне от 0 до 44 ГГц и полосой частот модулирующего сигнала до 2 ГГц. Кроме того, станут доступны функции многоканальной синхронизации и работы с памятью (организация последовательностей, потоковое воспроизведение и цифровое преобразование с повышением частоты).

## Сверхширокополосные ГСПФ

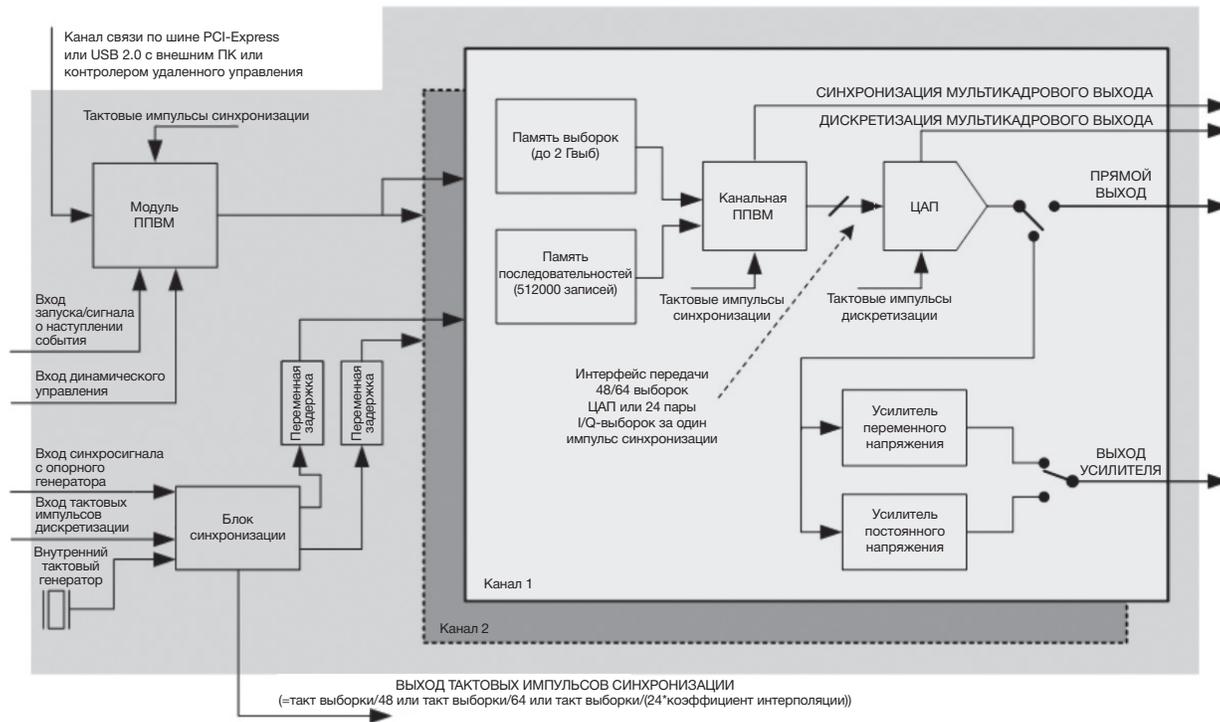


Рисунок 15. Современные генераторы сигналов произвольной формы – это гораздо больше, чем просто ЦАП. Они обладают такими новыми возможностями, как динамическое распределение последовательностей воспроизведения сегментов памяти, работа с общим внешним источником синхронизации и различные выходные тракты для оптимизации сигналов в зависимости от решаемой прикладной задачи. Выше показана структурная схема ГСПФ M8190A, имеющего высокое разрешение.

**Варианты применения:** ГСПФ подразделяются по частоте дискретизации и разрешению, при чем эти два параметра обычно обратно пропорциональны друг другу (рисунок 15). ГСПФ с высокой частотой дискретизации имеют низкое разрешение и наоборот. ГСПФ могут применяться для имитации сигналов РЛС с высокой плотностью и сигналов систем связи в пределах их полосы частот.

**Достоинства:** сверхширокополосные ГСПФ имеют очень широкую полосу частот формируемых сигналов, которая позволяет формировать одиночные или множественные сигналы источников ЭМИ на всем заданном частотном интервале. ГСПФ с высоким разрешением позволяют формировать сигналы в широком динамическом диапазоне в пределах узкой полосы частот. Среди ключевых особенностей — одновременное формирование нескольких импульсных сигналов и возможность изменения массива I/Q-данных для имитации влияния среды распространения сигналов. Если для проведения измерений требуется несколько когерентных каналов формирования сигналов их можно легко получить с использованием внешней синхронизации.

**Недостатки:** в отличие от прочих типов источников сигналов, сверхширокополосные ГСПФ имеют низкое разрешение и узкий динамический диапазон. Кроме того, в силу крайне высокой частоты дискретизации они воспроизводят очень короткие по времени массивы данных. ГСПФ с высоким разрешением имеют узкие полосы частот, но их сигналы могут быть перенесены на более высокие частоты с использованием дополнительного оборудования, как описано в разделе о векторных генераторах сигналов (рисунок 16).

### Основные показатели:

- Частота дискретизации: до 65 Гвыб/с
- Разрешение по времени: от 15,39 пс
- Аналоговая полоса частот: до 20 ГГц
- Глубина памяти: до 16 Гвыб с функциями создания последовательностей и потокового воспроизведения
- Разрешение: от 8 до 14 бит
- Количество каналов: до 12
- Максимальная выходная мощность: 10 дБм
- Когерентность во всем диапазоне частот (до 20 ГГц)
- Схема данных: квадратурные составляющие

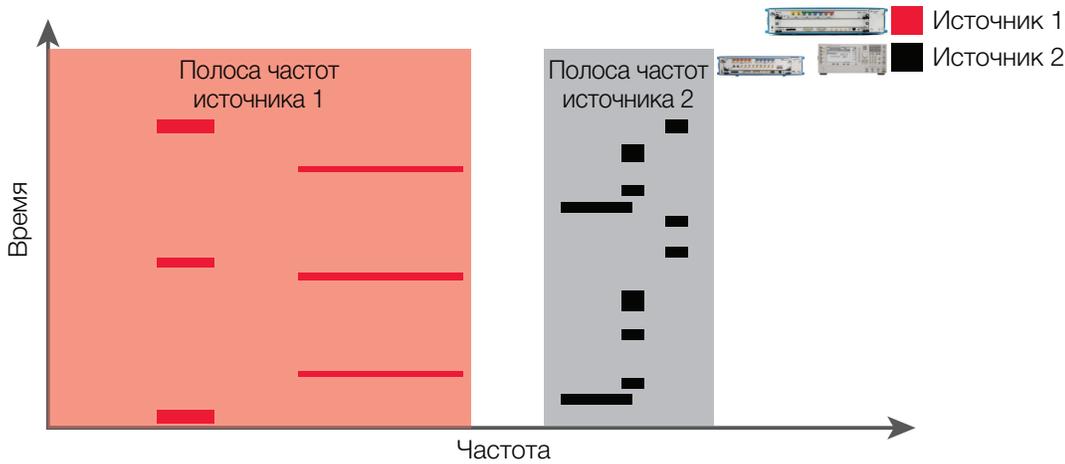


Рисунок 16. Пример сценария с заданной плотностью импульсных сигналов, реализованного с использованием генераторов сигналов произвольной формы. В силу ограничений по полосе формируемых сигналов сценарий должен быть разделен между двумя источниками. Сформированный вторым источником сигнал на модулирующей частоте был перенесен на более высокую частоту путем подачи его на вход I/Q-модулятора векторного генератора сигналов. Стоит отметить, что из-за высокой частоты дискретизации и более низкого относительного динамического диапазона сверхширокополосного ГСПФ, используемого в качестве источника №1, время воспроизведения резко сокращается, а качество сигнала может быть не таким хорошим, как при использовании других источников.

Некоторые примеры сверхширокополосных ГСПФ показаны на рисунках 17 и 18.



Рисунок 17. Генератор M8195A представляет собой 8-разрядный ГСПФ с частотой дискретизации до 65 ГГц и аналоговой полосой частот до 20 ГГц.



Рисунок 18. Генератор M8190A компании Keysight имеет частоту дискретизации 12 Гвыб/с и является ГСПФ с высоким разрешением (до 14 бит). Он может обеспечить до 12 синхронных каналов формирования сигналов и регулировку временных параметров с шагом менее 1 нс, что является важной возможностью при имитации многоканальных сценариев. Справа показана синхронизация четырех каналов генератора с одинаковыми уровнями на экране четырехканального осциллографа.

## Аналоговые источники сигналов

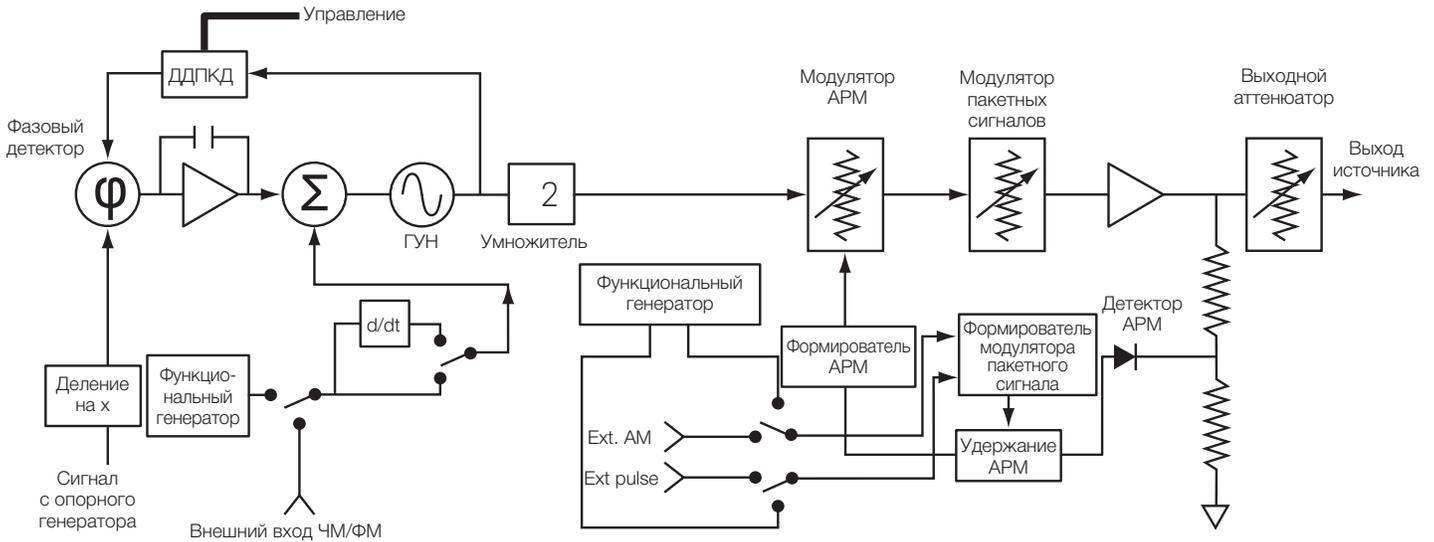


Рисунок 19. Типовая структурная схема аналогового генератора сигналов. Аналоговые генераторы сигналов не имеют I/Q-модуляторов, но чаще всего способны формировать сигналы с различными типами аналоговой модуляции, такими как АМ, ЧМ и ФМ, а также с импульсной модуляцией, благодаря чему они и получили свое название.

**Варианты применения:** аналоговые источники сигналов используются в качестве недорогих средств имитации и формирования импульсных сигналов с малым периодом повторения импульсов. Они обычно имеют функции аналоговой модуляции, благодаря чему могут использоваться для формирования модулированных сигналов, а также в качестве источников непрерывных помех при реализации различных сценариев.

**Достоинства:** основные преимущества при использовании аналоговых источников сигналов – это их низкая стоимость и простота. Несмотря на то, что они не способны формировать сигналы произвольной формы, они являются недорогим средством создания менее сложных сигналов при реализации различных сценариев (рисунок 20).

**Недостатки:** аналоговые генераторы не способны формировать векторные сигналы, в отличие от систем генерации производной формы, в связи с чем количество типов формируемых ими сигналов крайне ограничено.

### Основные показатели:

- Диапазон частот: от 100 кГц до 67 ГГц
- Диапазон установки мощности: до 30 дБм
- Типы модуляции: ЧМ, ФМ, АМ и ИМ
- Функции качания по частоте и уровню мощности

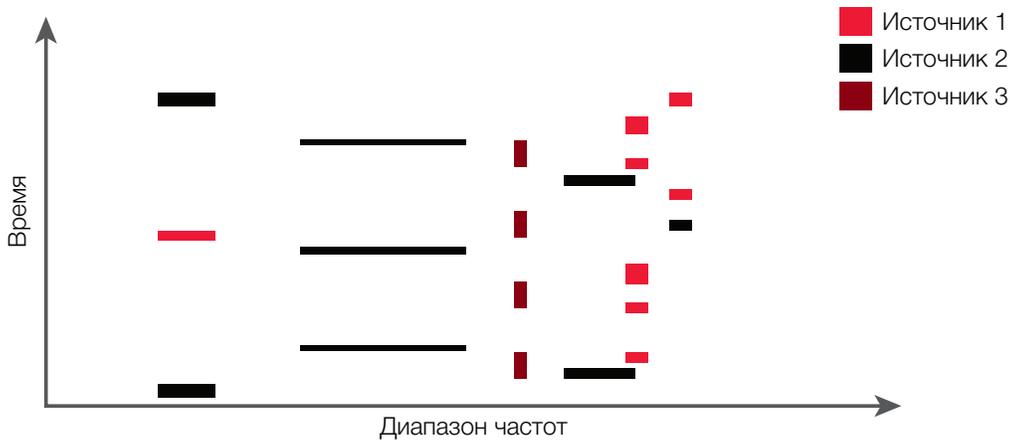


Рисунок 20. Повторно рассмотрим пример сценария, в котором за счет введения аналогового генератора сигналов, когда это возможно, удастся уменьшить общую стоимость системы. В данном случае показано, как дополнительный источник ЭМИ может быть сымитирован с помощью менее дорогого аналогового генератора (фиолетовый).

Пример аналоговых источников сигналов показан на рисунке 21.

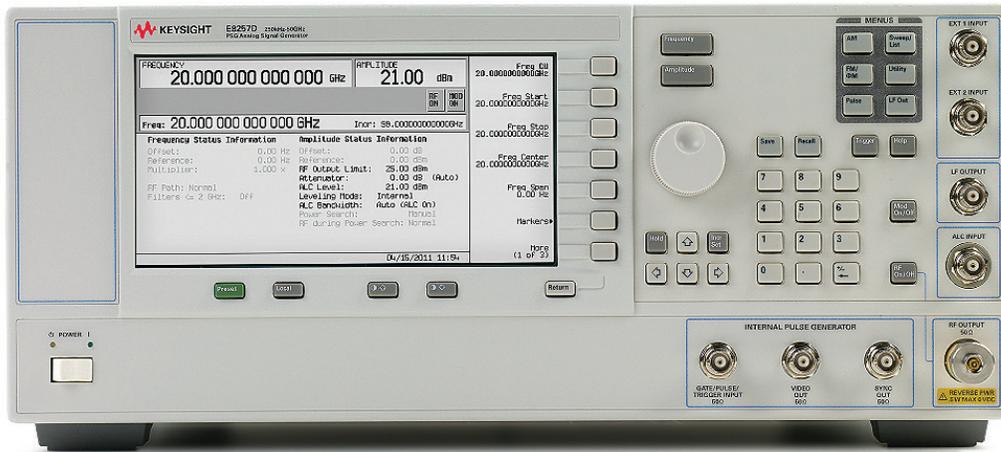


Рисунок 21. Аналоговый генератор сигналов E8257D имеет диапазон частот от 100 кГц до 67 ГГц, а также функцию аналоговой модуляции.

## Важные вопросы

В дополнение к основным показателям источников сигналов для имитации условий ведения РЭБ, рассмотренным выше, имеется ряд вопросов, которые следует принять в рассмотрение при выборе наиболее подходящего источника для реализации конкретного сценария. В перечень таких вопросов, а также связанных с ними функциональных возможностей оборудования, входят:

**Вопрос 1:** Каковы частоты источников ЭМИ, задействованных в моем сценарии?

**Затрагиваемые показатели:** диапазон быстрой перестройки, диапазон рабочих частот, скорость переключения между импульсами и возможность синхронизации по внешнему источнику

**Вопрос 2:** Какие типы модуляции и полосы модулирующих сигналов у имитируемых источников ЭМИ?

**Затрагиваемые показатели:** полоса частот модулирующего сигнала, диапазон быстрой перестройки и скорость переключения между импульсами

**Вопрос 3:** Какие требования к радиочастотным характеристикам в моем сценарии?

**Затрагиваемые показатели:** диапазон перестройки уровней мощности, диапазон рабочих частот, динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих спектра, уровень фазового шума и разрешение по амплитуде

**Вопрос 4:** Какова продолжительность выполняемого сценария?

**Затрагиваемые показатели:** глубина памяти, возможность организации последовательностей, функция потокового воспроизведения, сжатие I/Q-данных и частота дискретизации

**Вопрос 5:** Как много каналов задействовано в выполнении моего сценария?

**Затрагиваемые показатели:** возможности синхронизации, диапазон быстрой перестройки частоты и полоса частот модулирующего сигнала

**Вопрос 6:** Какова плотность импульсных сигналов в моем сценарии (импульсов в секунду)?

**Затрагиваемые показатели:** диапазон быстрой перестройки частоты, диапазон рабочих частот, скорость переключения импульсов, возможности синхронизации, глубина памяти, возможность организации последовательностей, потоковое воспроизведение, сжатие I/Q-данных, частота дискретизации, уровень фазового шума, динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих

В дополнение к этим вопросам при выборе подходящего источника для выполнения конкретного сценария помогут данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. В данной таблице представлены сводные данные генераторов сигналов различных типов, рассмотренных в качестве примеров выше.

	<b>M8195A</b> Генератор сигналов произвольной формы	<b>M8190+E8267D</b> Векторный генератор сигналов	<b>N5193A/N5191A</b> Генератор сигналов с быстрой перестройкой	<b>E8257D</b> Аналоговый генератор сигналов
Диапазон рабочих частот (ГГц)	0-20	0-44	0,01-40	0,0001-67
Диапазон частот модулирующего сигнала (ГГц)	20,0	2 <sup>1</sup>	3 <sup>2</sup>	—
Глубина памяти (Гвыб)	16	2+, потоковое воспроизведение	480 Гб для ~2 x 10 <sup>9</sup> PDW + полная полоса, потоковое воспроизведение	—
Разрешение (бит)	8	12/14 <sup>3</sup>	—	—
Частота дискретизации (Гвыб/с)	65	12	—	—
Схема данных	I/Q-данные	I/Q-данные	PDW	—
Число каналов	1-4 (2 I/Q пары) <sup>4</sup>	1-12 <sup>5</sup>	1-N <sup>5</sup>	N <sup>5</sup>
Максимальный уровень мощности (дБм)	10	23	10	30,0
Когерентность между каналами	да	да	да	да
Диапазон быстрой перестройки	20 ГГц	4 ГГц	40 ГГц	—
Время перестройки источника	15,4 пс	24 мс	180 нс/30 мс <sup>6</sup>	11 мс

1. Центральные частоты свыше 3,5 ГГц
2. Зависит от частотного диапазона и соответствующего фильтра
3. Зависит от частоты дискретизации
4. Четырехканальная плата, позволяющая формировать две пары сигналов с I/Q модуляцией
5. Количество каналов зависит от конфигурации стенда
6. Зависит от пересечения полос частот
7. Полоса частот, где сохраняется скорость обновления дескрипторов импульсов и когерентность
8. Аналоговый

## Заключение

При проведении испытаний систем радиолокации и РЭБ правильный выбор источника сигналов для имитации источников ЭМИ крайне важен. Неправильно подобрав источник сигналов, вы можете столкнуться с тем, что его характеристики или функциональные возможности избыточны или недостаточны для выполнения поставленных задач. С другой стороны, правильный выбор обеспечит достоверные результаты измерений и позволит оптимально использовать ресурс оборудования. Используя критерии выбора, описанные в данных рекомендациях по применению, инженеры-испытатели смогут подобрать нужный источник сигналов для создания требуемой конфигурации источников ЭМИ.

## Литература

*Решения для измерений параметров широкополосных радиолокационных и спутниковых систем, рекомендации по применению, номер документа 5990-6353RURU*

*Восемь советов для качественного улучшения процесса измерений с использованием аналоговых радиочастотных генераторов сигналов, рекомендации по применению, номер документа 5967-5661RURU*

*Восемь советов для качественного улучшения процесса измерений с использованием радиочастотных генераторов сигналов, рекомендации по применению, номер документа 5988-5677RURU*

*Формирование сигналов для имитации условий ведения РЭБ: технологии и методы, рекомендации по применению, номер документа 5992-0094RURU*

Подробную информацию вы найдете на нашем сайте:  
[www.keysight.com](http://www.keysight.com)

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](http://www.keysight.com/find/contactus)

