

Keysight Technologies

Испытание систем РЛС, радиоэлектронной
борьбы (РЭБ) и радиотехнической разведки
(РТР):

Общие проблемы испытаний

Рекомендации по применению

Введение

История современных радиолокационных систем уходит корнями к 1940 году, когда ВМФ США разработал то, что стало затем называться системами радиообнаружения и определения дальности (RADAR). В настоящее время область применения этой технологии простирается от повсеместно используемых устройств открывания дверей в супермаркетах, которые представляют собой простой селектор движущихся целей (MTI), до очень сложных корабельных радиолокационных систем (РЛС) с фазированной антенной решёткой для управления огнём.

В оборонной промышленности недавно появились две новые области – радиотехническая разведка (РТР) и радиоэлектронная борьба (РЭБ). Системы РТР используются для выделения информации из сигналов радиолокационных систем противника с целью определения методов борьбы с потенциальными угрозами, которые связаны с этими радиолокационными сигналами: корабельными, самолётными, ракетными и так далее.

При тестировании компонентов, узлов и систем РЛС, РЭБ и РТР зачастую возникает множество проблем. Ситуация усложняется тем, что все РЛС работают в условиях всё большего загрязнения радиочастотного спектра сигналами помех. Так, радиозфир в городских условиях может включать бесчисленное множество источников излучения в ВЧ- и СВЧ-диапазонах, которые являются потенциальными источниками помех. К ним можно отнести инфраструктуру систем беспроводной связи, беспроводные компьютерные сети и РЛС гражданского назначения.

В данных рекомендациях по применению внимание сосредоточено на испытательном оборудовании, которое поможет Вам решить проблемы, с которыми Вы, вероятно, встретитесь во время разработки системы. Из-за сложности рассматриваемой темы сначала мы дадим краткий обзор основ радиолокации и проблем, связанных с системами РЭБ и РТР. Далее будут рассмотрены три основные темы: генерация испытательных сигналов, пример искусственного испытательного полигона, оценка и анализ сигналов РЛС.

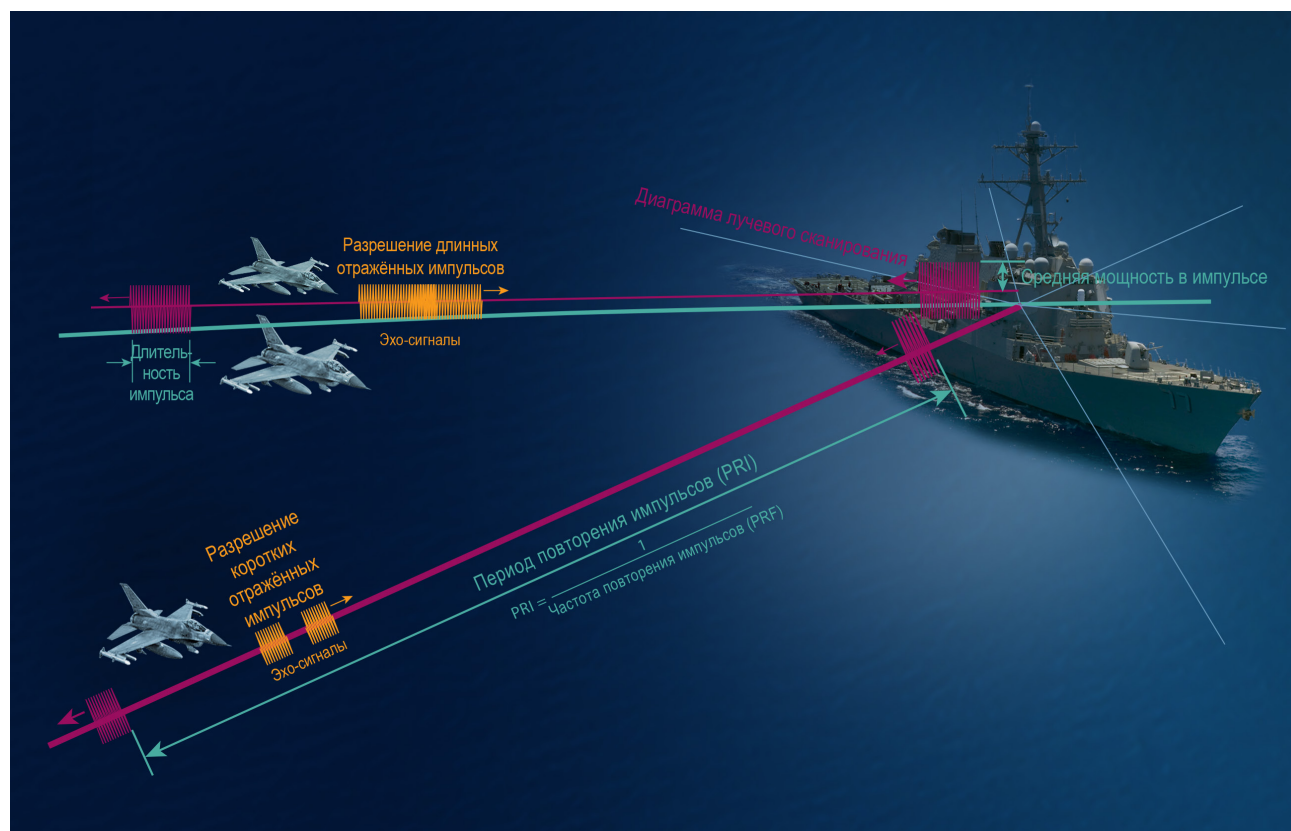


Рисунок 1 – Термины и соотношения, относящиеся к импульсу РЛС

Недостатком РЛС первого поколения являются значительные потери мощности между переданным импульсом и принятым эхо-сигналом. Переданный сигнал должен отразиться от цели и возвратиться назад к приёмнику без какого-либо усиления. Один из путей решения этой проблемы состоит в передаче более длинных импульсов и концентрации большой общей энергии в принятом эхо-сигнале. Таким образом, более длинные импульсы обеспечивают большую дальность действия РЛС при данной антенне и усилителе мощности передаваемого сигнала.

Важной характеристикой РЛС является разрешающая способность, связанная с длительностью импульса. Способность различать малые объекты позволяет РЛС получать более детальную картину цели. РЛС, которая позволяет различать детали размером менее 1 метра,

даёт намного больше информации о приближающихся целях. РЛС с разрешением в 100 метров может видеть одну цель большого размера, неотличимую от нескольких малых целей, составляющих компактное образование.

Если импульс РЛС имеет большую длительность, сигналы, отражённые от соседних целей и достигшие приёмника, могут перекрываться во времени.

Для РЛС это представляется как одна большая цель вместо отдельных более мелких целей. Поэтому, чтобы получить высокую разрешающую способность РЛС, желательно использовать более короткие импульсы.

Для решения проблемы оптимизации соотношения дальность/разрешение многие РЛС используют сжатие импульсов или модуляцию. Внутримпульсная линейная частотная

модуляция (ЛЧМ) представляет собой систему, обеспечивающую простоту модуляции и декомпрессии. Частотная модуляция (FM) внутри импульса, осуществляемая пилообразным линейно нарастающим напряжением, создаёт ЛЧМ-импульс. ЛЧМ-импульс затем излучается таким же образом, как излучался бы не сжатый по длительности импульс.

Приёмник РЛС использует специальный фильтр с высокой линейностью групповой задержки, противоположной направлению частотной модуляции в импульсе. Такой фильтр замедляет изменение частоты в низкочастотном участке ЛЧМ и позволяет высокочастотной части ЛЧМ раньше появляться на выходе фильтра. В результате длинный импульс с большой полной мощностью оказывается сжатым в короткий импульс, легко распознаваемый среди других импульсов.

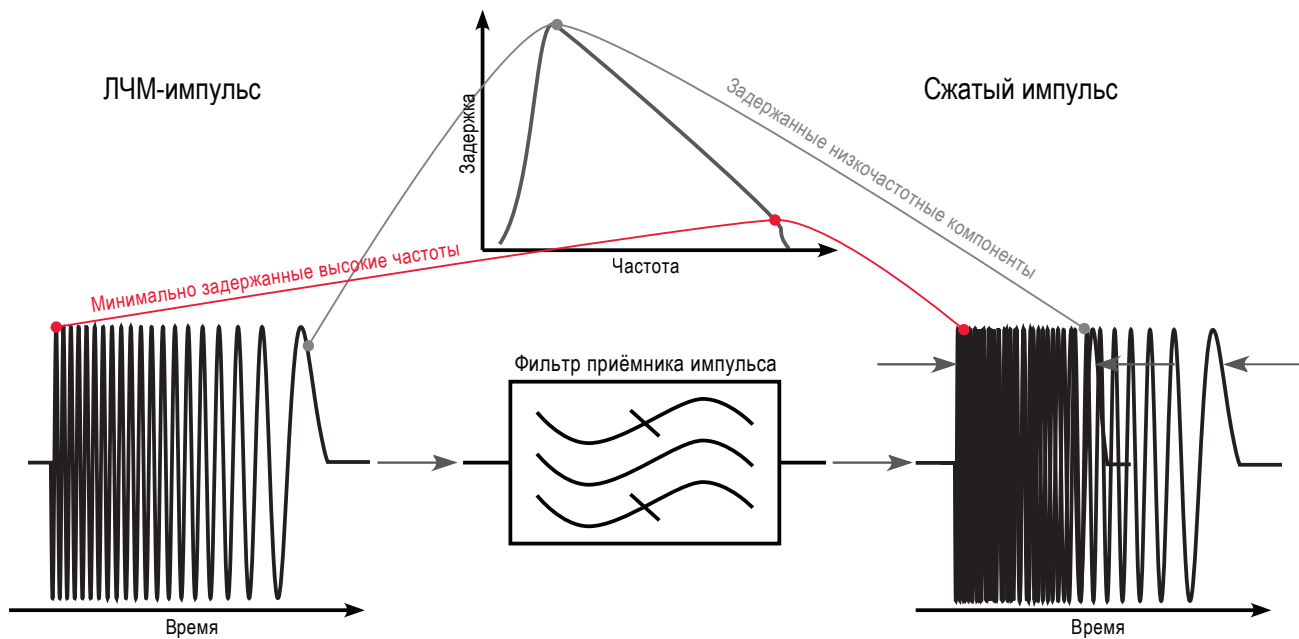


Рисунок 2 – Сжатие ЛЧМ импульса

Сжатие импульса, или модуляция, даёт и другие преимущества с точки зрения однозначного определения дальности. Чтобы увидеть эти преимущества, следует рассмотреть частоту повторения импульсов.

Частота повторения импульсов зависит от дальности действия РЛС. Посылка новых импульсов, прежде чем вернутся отражённые ранее посланные импульсы, может вызвать неопределённость отклика на эхо- сигнал. В общем случае проще всего послать импульс и ждать, пока не будут приняты все возможные отражённые сигналы, и только после этого посылать следующий импульс. Обеспечение однозначности измерения дальности определяет интервал между последовательными импульсами (период или частоту повторения импульсов).

Однако имеется много случаев, когда более низкая частота повторения ухудшает общие характеристики РЛС. Например, может оказаться предпочтительным иметь более высокую частоту повторения для более быстрого обновления экранного изображения, когда РЛС следит за быстро летящим

самолётом. В этом случае можно допустить неоднозначность возвратного сигнала в пользу более быстрого обновления экрана.

Один из способов исключения мешающих эхо-сигналов, поступающих не с интересующей дальности, состоит в использовании стробирования по времени или по дальности. При этом происходит запираение или отпираение приёмника РЛС, что позволяет игнорировать эхо-сигналы от объектов либо слишком близких, либо находящихся за пределами интересующей дальности. Примером может служить стробирование по времени, позволяющее игнорировать эхо-сигналы, отражённые от носа корабля, на котором установлена РЛС. Подобно этому, РЛС ракеты может использовать временное стробирование для игнорирования эхо-сигналов от объектов, находящихся на расстоянии, превышающем максимальный диапазон действия ракеты.

Как упоминалось выше, сжатие импульса может быть использовано для исключения неопределённости между последовательными импульсами. Добавление цифровой модуляции к

каждому импульсу позволяет ввести уникальное кодирование соседних импульсов. Использование цифровой модуляции, такой как двухфазная манипуляция (bi-phase keying), позволяет кодировать импульсы так, что задержка на двойное прохождение каждого импульса в прямом и обратном направлениях легко и однозначно измеряется благодаря уникальному кодированию каждого импульса, используемому в качестве средства разделения импульсов.

Другим важным свойством многих РЛС является их способность измерять доплеровские сдвиги частоты при отражении сигналов от движущихся целей. Измерение сдвига частоты ВЧ-несущей или сдвига фазы в зависимости от времени позволяет некоторым РЛС точно определять скорость движения цели. Селекторы движущихся целей (MTI) используют доплеровский сдвиг частоты возвратного эхо-сигнала для определения направления и скорости движения.

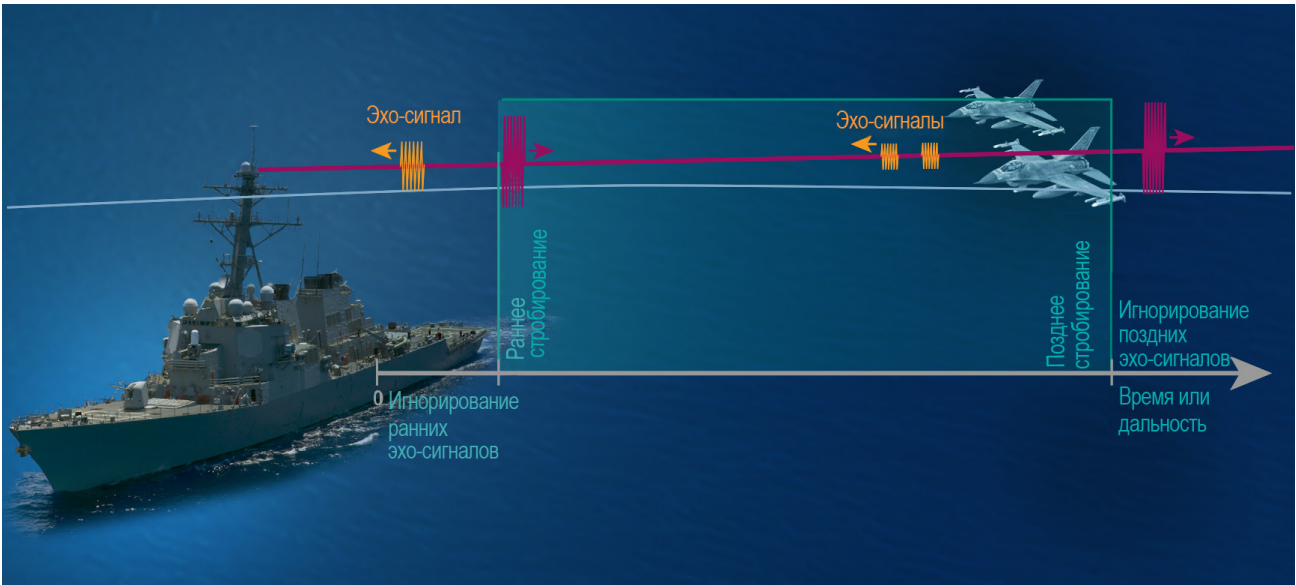


Рисунок 3 – Временное стробирование или стробирование по дальности

Основы систем РТР/РЭБ и что из этого следует

Разнообразные конструктивные особенности, которые влияют на выбранную импульсную последовательность РЛС, несут много информации о характере платформы, подключенной к РЛС. Так, низкая частота повторения и большая длительность импульсов могут указывать на то, что РЛС сканирует пространство в сотни миль, тогда как высокая частота повторения и короткие импульсы могут указывать на то, что зона сканирования РЛС самонаведения ракеты составляет одну или две мили. Система РТР извлекает из этого самую различную информацию.

Подобно этому, диаграмма сканирования РЛС может также дать ценную информацию об угрозах в ближайшем окружении. Например, наблюдение за амплитудой сигнала в зависимости от времени может выявить тип антенны, с помощью которой осуществляется обзор, и диаграмму сканирования. Эти сведения полезны для определения типа зондирующей РЛС и режима её использования.

Кроме простого накопления данных РТР об РЛС и связанной с ней платформе, эти сведения могут способствовать

повышению качества и направлять развитие техники РЭБ. Например, комбинации эхо-сигналов могут быть синтезированы и переданы на приёмник РЛС раннего предупреждения для отображения технических ресурсов, которых физически не существует. Ракеты могут отслеживать ложные ответные сигналы РЛС, что может изменить пределы стробирования и заставить игнорировать предполагаемые цели. Информация о доплеровском сдвиге частоты также может быть использована для подавления оборудования целеуказания.

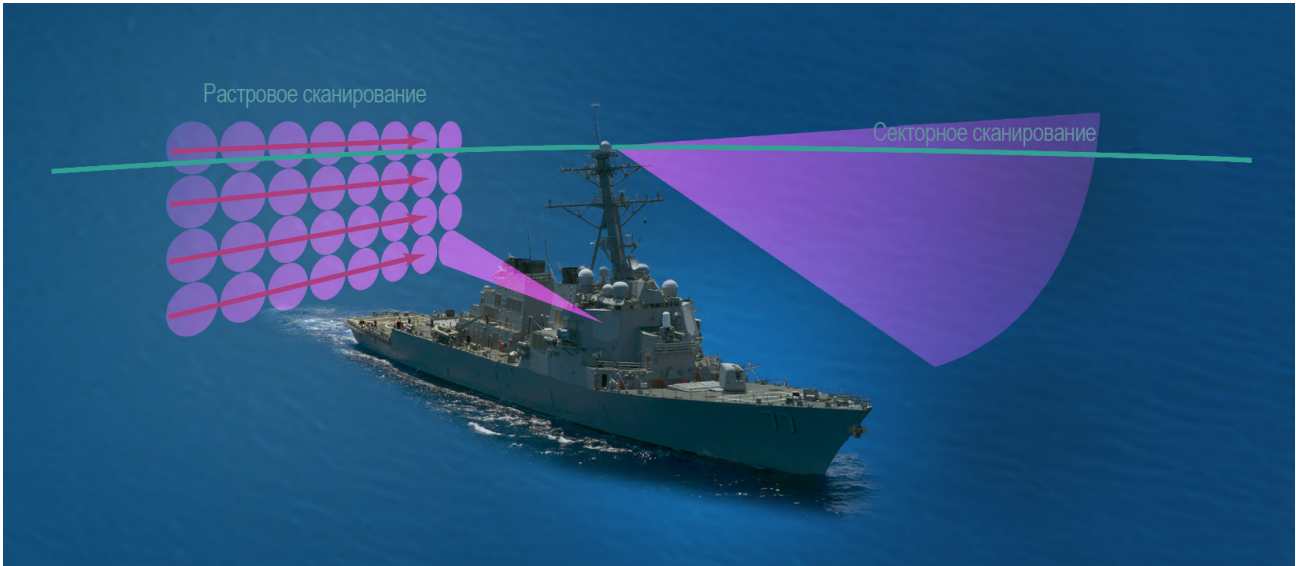


Рисунок 4 – Диаграммы антенного сканирования

Проблемы испытания современных систем РЛС и РЭБ

Приведённый выше обзор некоторых вопросов конструктивного характера, связанных с оборудованием РЛС, РТР и РЭБ проливает свет на уровень сложности используемых схем. Испытания современных радиолокационных систем предъявляют уникальные требования к испытательному и измерительному оборудованию. Далее кратко обсуждаются некоторые общие проблемы, возникающие в процессе испытаний.

Для многих сигналов РЛС характерны широкие полосы частот. Для ЛЧМ или модулированных импульсов может потребоваться гигагерцевая полоса частот, требующая широкополосного испытательного оборудования.

Другим общим требованием к испытательному оборудованию для РЛС является низкий уровень фазового шума. Доплеровские РЛС часто измеряют скорость изменения фазы во времени, поскольку их радиолокационные импульсы не могут быть достаточно длинными, чтобы проинтегрировать циклы приращения частоты. При выполнении этих прецизионных измерений изменения фазы фазовый шум должен быть очень низким, что предъявляет жёсткие требования к характеристикам фазового шума измерительных приборов. Другой проблемой для испытательных систем РЛС могут быть высокие требования к динамическому диапазону. Обычно эти требования возникают из-за больших потерь сигнала на пути

распространения от передатчика до возвратного эхо-сигнала.

Как мы видели до сих пор, многие преимущества использования сжатия импульсов для лучшего разрешения и однозначного определения дальности часто вызывают необходимость синтеза сложных форм испытательных сигналов. В дальнейшем уровень сложности увеличивается в связи с необходимостью учёта доплеровских сдвигов в РЛС, которые определяют скорость.

Ещё одной проблемой, стоящей перед разработчиками РЛС, является повсеместное использование РЛС, характеристики которых определяются программным обеспечением. Многие современные типы РЛС требуют тестовых сигналов и измерений не только в традиционной аналоговой форме на ВЧ, но и в цифровых форматах. Такое многоформатное испытание может представлять реальную проблему при необходимости получения хорошего соответствия между результатами измерений цифровых сигналов и аналоговыми измерениями.

Полномасштабное испытание системы часто является основной проблемой для оборудования РЛС, РТР и РЭБ. И прежде всего это обычно вопрос стоимости испытательного оборудования. Например, для моделирования доплеровских сдвигов, мешающих эхо-сигналов и других элементов сигнала при испытании бортовой корабельной РЛС управления огнём может потребоваться корабль и несколько испытательных

самолётов. Чтобы корректно выполнить испытания системы целеуказания, их стоимость может достигать десятков тысяч долларов за один час работы.

И наконец, многие РЛС используют системы с фазированной антенной решёткой. Эти антенные системы используют распределение моментов времени прихода волнового фронта среди многих антенных портов для управления положением главного лепестка диаграммы направленности антенны. Это требует тестовых сигналов и измерений, обеспечивающих много каналов, фазово-когерентных и фазорегулируемых источников сигналов или анализаторов. Так называемая испытательная система для многоканальной антенной решётки (multi-channel array test system) ставит перед инженерами-испытателями РЛС вполне реальные проблемы.

Рассмотрев некоторые из основ радиолокационных систем и связанные с ними проблемы испытаний, теперь следует обратить внимание на уникальные свойства испытательного оборудования компании Keysight, которое значительно облегчает решение некоторых сложных испытательных задач. Сначала рассмотрим генерацию тестовых сигналов для РЛС.

Генерация тестовых сигналов

Во многих случаях при разработке и производстве РЛС требуются широкополосные микроволновые генераторы сигналов. Они обычно используются для таких приложений, как замена стабилизированного гетеродина (STALO), испытания когерентного гетеродина (COHO) и имитация излучения цели.

Создание точной модели сигналов, принимаемых РЛС, может оказаться достаточно сложной задачей. К счастью, современные генераторы сигналов и генераторы сигналов произвольной формы, использующие цифровую обработку сигналов (ЦОС), способны создавать моделируемые сигналы источников излучения и электромагнитную обстановку с реалистичным ухудшением качества передачи и искажениями в тракте распространения сигналов, которые достоверно моделируют удалённые цели. Одно важное замечание: при использовании готовых к использованию генераторов сигналов и сигналов произвольной формы моделируемые сигналы обычно не являются когерентными по отношению к приёмнику РЛС. Несмотря на это, некогерентные сигналы являются эффективным средством тестирования пассивных РЛС, мультистатистических РЛС и систем радиоэлектронного противодействия (ЕСМ).

Генераторы сигналов произвольной формы и источники сигналов компании Keysight

Истинное достоинство генератора сигналов произвольной формы заключается в его способности воспроизводить практически любые формы сигналов, запрограммированные в его памяти. Например, генератор сигналов произвольной формы, который способен одновременно обеспечить и высокое разрешение, и широкую полосу частот, упрощает

моделирование ситуации, когда РЛС излучает, а цели рассеивают сигнал в пределах некоторого искусственно созданного испытательного полигона, имитирующего сотни кубических миль пространства. В прошлом полоса частот была основным ограничением для большинства генераторов сигналов произвольной формы. В самых последних моделях эта проблема в значительной степени решена для большинства применений. Например, генератор сигналов произвольной формы M8190A обеспечивает разрешение 14 бит при частотах дискретизации до 8 Гвыб/с и 12 бит – при частотах дискретизации до 12 Гвыб/с. За счёт этого обеспечивается возможность генерации сигналов в полосах частот до 5 ГГц, свободных от эффекта наложения. Используя технику комбинирования и преобразования частоты, можно получить даже более широкие полосы частот, свободные от эффекта наложения.

Вероятно, более важным параметром при выборе генератора сигналов произвольной формы, является динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих (SFDR). На него влияет разрешение (число бит), обеспечиваемое цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) внутри генератора сигналов произвольной формы. Кроме того, он зависит от качества схемы преобразования частоты, которая переносит сигнал произвольной формы в микроволновый диапазон частот.

Теоретически возможное приращение SFDR составляет максимум 6,02 дБ на каждый бит разрешения ЦАП. Однако, на практике для ЦАП часто используется термин “эффективное число бит” (ENOB), или “эквивалентное число бит”. С учётом проблем, связанных с нелинейностью преобразования ЦАП, действительное приращение SFDR на бит будет меньше, чем теоретическое значение 6,02 дБ.



Рисунок 5 – Генераторы сигналов произвольной формы компании Keysight

Генерация тестовых сигналов (продолжение)

Широкополосные ЦАП также несут потери из-за явления, которое характеризуется спадом плоской части АЧХ в пределах полосы пропускания, что ещё больше снижает динамический диапазон на высокочастотном конце полосы. Кроме того, функция дискретизации имеет спад характеристики по закону $\sin x/x$. Поэтому частотная характеристика генератора сигналов произвольной формы спадает с увеличением частоты; но поскольку этот спад является свойством, присущим функции дискретизации, он не принимается во внимание при нормировании SFDR. Таким образом, если SFDR нормирован на уровне 75 дБ, это в общем случае относится к самой низкой частоте полосы. На самой верхней частоте полосы динамический диапазон обычно ниже на 5-7 дБ.

Кроме влияния числа бит и функции дискретизации на потерю SFDR, повышающее преобразование на частоту микроволнового диапазона ставит другой круг проблем при создании полезных сигналов. Это повышающее преобразование может выполняться либо внутренними средствами источника сигнала, либо с помощью отдельного внешнего устройства. Может показаться более простым выполнить повышающее преобразование сигнала на нужную частоту с помощью гетеродина (LO) с фиксированной частотой, используя смеситель и пару фильтров. Но практически гармоники гетеродина и продукты преобразования часто комбинируются с полезным сигналом и создают внутриполосные комбинационные составляющие, которые могут существенно ограничить SFDR.

Многие РЛС измеряют фазовые сдвиги от импульса к импульсу для получения данных о доплеровском сдвиге частоты или о скорости цели. Чтобы избежать добавления значительного уровня фазового шума при повышающем

преобразовании частоты, генератор сигналов должен также иметь низкий уровень фазового шума.

Компания Keysight предлагает полный набор генераторов сигналов и генераторов сигналов произвольной формы с превосходными характеристиками SFDR и фазового шума. Например аналоговый генератор сигналов E8257D серии PSG имеет лучшие в отрасли характеристики фазового шума, почти -143 дБн/Гц (тип.) для сигнала частотой 1 ГГц при отстройке от несущей 10 кГц (опция UNY). Для повышающего преобразования аналоговый генератор серии PSG можно также сконфигурировать с внутренним смесителем, либо с внешним смесителем и удвоителем частоты.

Микроволновый векторный генератор сигналов E8267D серии PSG имеет входы I/Q-модуляции и обеспечивает перекрытие по частоте до 44 ГГц (и выше с внешними смесителями). Входы модуляции совместимы с генератором сигналов произвольной формы M8190A. Работая совместно, эти два измерительных прибора с высокими характеристиками могут вырабатывать сигналы с полосой 2 ГГц, с частотой до 44 ГГц и с превосходными характеристиками SFDR и фазового шума.

Другим способом смягчения многих из этих проблем является прямое цифровое преобразование вверх, которое обеспечивается лучшими из современных генераторов сигналов произвольной формы. Широкополосный генератор сигналов произвольной формы, используя этот способ, позволяет непосредственно генерировать сигналы

ПЧ. В двухканальном генераторе сигналов произвольной формы M8190A каждый канал имеет отдельное устройство цифрового преобразования вверх, и эти каналы можно использовать в "режиме связанности", чтобы получить фазово-когерентные выходные сигналы. Такие параметры, как несущая частота, амплитуда и форма сигнала можно устанавливать независимо, а комплексные данные I и Q будут преобразовываться с повышением частоты в требуемый диапазон частот цифровыми методами, обеспечивая превосходное качество сигнала с SFDR, достигающим 80 дБ и уровнем гармонических искажений, не превышающим -72 дБн (оба значения являются типовыми).

Другой важный предмет для обсуждения при выборе генератора сигналов произвольной формы или векторного генератора сигналов с возможностями генерации сигналов произвольной формы – конфигурация памяти. Любой из этих типов приборов создаёт сигналы посредством воспроизведения цифровой информации из памяти. Добавление стандартных или опциональных возможностей задания последовательностей и режимов воспроизведения может ещё больше повысить эффективность использования генератора сигналов.

Самый простой подход к организации памяти сигналов заключается в использовании одного большого блока быстродействующей памяти с произвольной выборкой и воспроизведении сигналов из этой памяти. Это хорошо работает в случае однократных импульсов или очень коротких ВЧ-событий; но при высоких скоростях передачи данных, требуемых для поддержания частоты дискретизации 12 ГГц и разрешения 12 бит, сигнал должен быть очень коротким.

Генерация тестовых сигналов (продолжение)

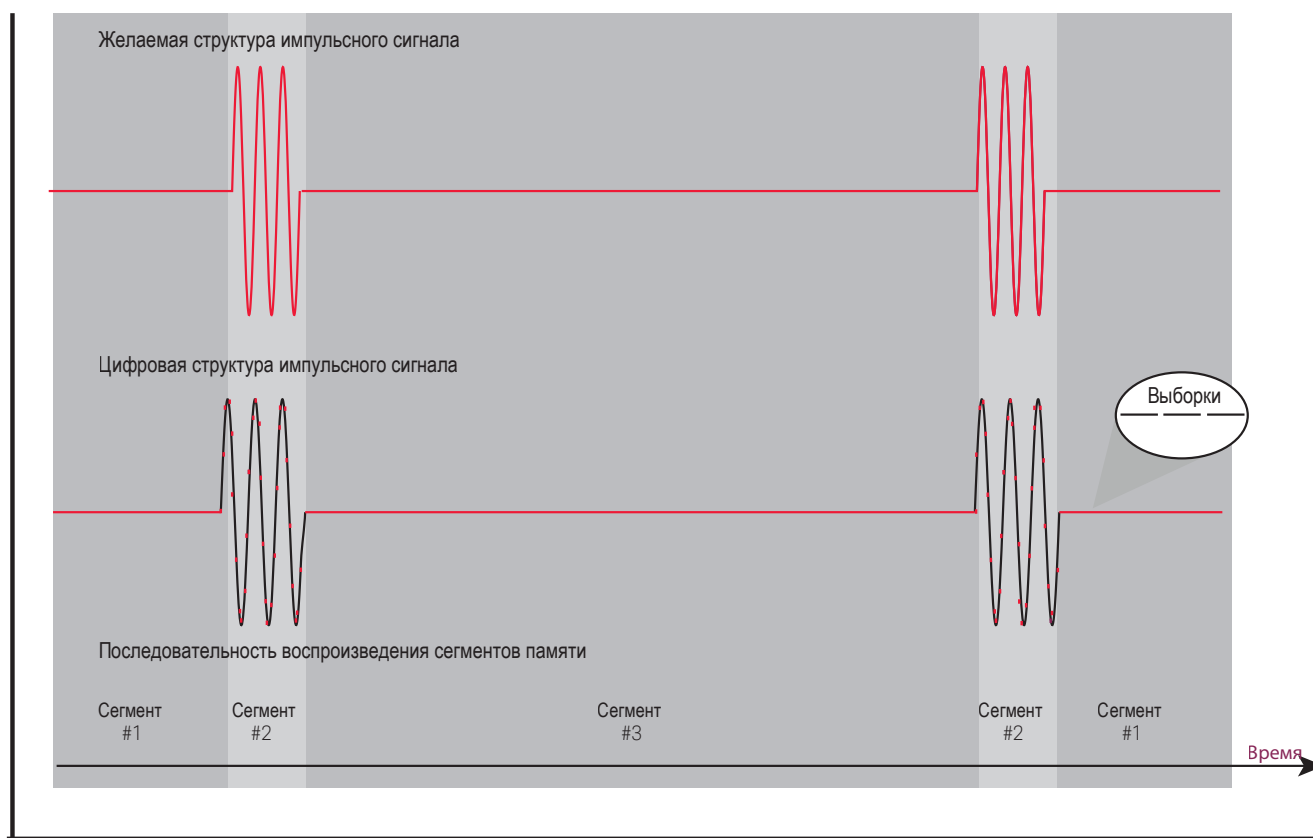


Рисунок 6 - Сегментирование сигнала, формирование последовательностей и сценариев

Чтобы обеспечить более длительное время воспроизведения, некоторые производители расширили этот подход с целью обеспечения возможности работы с большими дисковыми массивами (RAID-системами).¹

Подход с использованием одного большого блока памяти воспроизведения сигналов весьма ограничен в применении, поскольку большинство ВЧ-сигналов являются периодическими по своей природе. Даже при использовании объема памяти, исчисляемого терабайтами, время последовательного воспроизведения может быть ограничено несколькими секундами сигнала.

Решение заключается в том, чтобы для повторяющихся сигналов, таких как импульсные последовательности РЛС, организовать более эффективные возможности доступа к памяти. Для поддержки генерации повторяющихся

сигналов быстрая память воспроизведения сигналов может быть организована таким образом, чтобы позволить воспроизводить сегменты сигнала в виде циклов или бесконечной последовательности. Расширенные возможности управления последовательностями, такие как условный переход, позволяют создавать очень сложные сегменты и сценарии. Кроме того, некоторые генераторы сигналов компании Keysight обеспечивают динамическое управление последовательностями, которое поддерживает прямой доступ к сегментам памяти сигнала в реальном времени. При объединении этих возможностей управления с памятью сигналов, достаточно большой, чтобы обеспечить хранение до 2 Гвыб на выходной канал генератора сигналов произвольной формы (M8190A), становится возможной реализация очень сложных и реалистичных сценариев сигналов с длительным временем воспроизведения.

После того как источник сигнала с полосой частот, SFDR, уровнем фазового шума и возможностями управления последовательностями, которые соответствуют требованиям решаемой задачи, выбран, следующей задачей является создание цифрового эквивалента требуемой формы сигнала с использованием программных средств, таких как Signal Studio или SystemVue компании Keysight или MATLAB компании The MathWorks.

Генерация тестовых сигналов (продолжение)

Основные характеристики: Signal Studio для создания импульсов

Данная специализированная версия программного обеспечения Signal Studio (N7620B) поддерживает большой массив форм импульсов и диаграмм направленности антенн, импортированных или определенных с помощью программных средств.

Параметры импульса

- Длительность фронта и среза
- Форма перепада
- Джиттер
- Модель длительности импульса
- Внутримпульсная модуляция

Параметры импульсной последовательности

- Число повторений импульсов
- Период повторения импульсов (PRI) или частота повторения импульсов (PRF)
 - Модели PRI: постоянный, линейно изменяющийся, произвольно изменяющийся, ступенчато изменяющийся
- Джиттер PRI: с гауссовским, равномерным или U-образным распределением
- Вобуляция PRI: пилообразная, треугольная или синусоидальная
- Масштабирование амплитуды
- Сдвиг частоты
- Сдвиг фазы
- Дополнительная длительность выключенного состояния

Внутримпульсная модуляция

- Ступенчатая АМ
- Коды Баркера (семь типов)
- BPSK и пользовательская BPSK
- Внутримпульсная частотная модуляция (линейная или нелинейная)
- QPSK и пользовательская QPSK
- Многофазные коды

Диаграммы сканирования антенны

- Круговая
- Коническая
- Заказная
- Двухнаправленная растровая
- Однонаправленная растровая
- Двухнаправленная секторная
- Однонаправленная секторная

Окна пространственного преобразования для диаграммы направленности

излучения антенны

- Прямоугольное
- Косинус (пять разновидностей)
- Блэкмана и точное Блэкмана
- Хэмминга
- Трёхэлементное (Three-term)
- Определяемое пользователем

Простое создание импульсов для генераторов сигналов компания Keysight

В зависимости от применения, импульсные сигналы РЛС используют широкий набор характеристик: длительность импульса; период повторения импульсов (PRI) или его обратная величина - частота повторения импульсов (PRF); модуляция и многие другие. Создание приемлемых испытательных сигналов требует серьезных усилий. Дальнейшее усложнение задачи синтеза импульсных испытательных сигналов связано с созданием системы диагностики. Нужно ли имитировать доплеровский сдвиг частоты или сдвиг фаз от импульса к импульсу для испытания функций измерения скорости? Ставится ли задача испытания системы РТР, которая может идентифицировать источник импульса, основываясь на диаграмме направленности антенны? Чтобы удовлетворить эти потребности, программные средства должны поддерживать формирование многочисленных структур импульсных последовательностей для создания сигналов и обеспечивать широкое разнообразие характеристик антенн, которые можно применить для синтезируемых сигналов.

Понимая сложность этих задач, компания Keysight разработала программу Signal Studio для создания импульсов (N7620B). Эта программа позволяет легко вводить основные параметры как для простых импульсов с состояниями включено/выключено, так и для сложных специализированных сжатых импульсов. Для тестирования компонентов, передатчиков и приёмников РЛС программа Signal Studio для создания импульсов позволяет

задавать параметры, такие как период повторения импульсов (PRI), число повторений импульсов, джиттер периода повторения и вобуляцию PRI. Доступные модели PRI включают: постоянный, линейно изменяющийся, произвольно изменяющийся, ступенчато изменяющийся. Джиттер PRI можно определить с гауссовским, равномерным или U-образным распределением. Можно выбрать пилообразную, треугольную или синусоидальную вобуляцию PRI. Эти возможности позволяют проводить ряд тестов приёмника:

- Тестирование реакции системы на искажения путём создания модели длительности импульса с джиттером
- Тестирование селекции по дальности и разрешения по дальности/ доплеровской неоднозначности с помощью сложных моделей PRI
- Тестирование режимов селектора движущихся целей (MTI) и доплеровского процессора путём ввода сдвига частоты и фазы
- Тестирование способности подавления мешающих отражений путём создания специальных импульсов с мешающими отражениями

Определения параметров каждого импульса запоминаются в библиотеке и могут быть объединены в модели импульсных последовательностей для синтеза сложных наборов излучений РЛС. После того, как параметры импульса введены, следующий шаг состоит в загрузке данных формы сигнала в генератор сигналов произвольной формы или генератор сигналов. После этого испытательные стимулы будут готовы для воспроизведения.

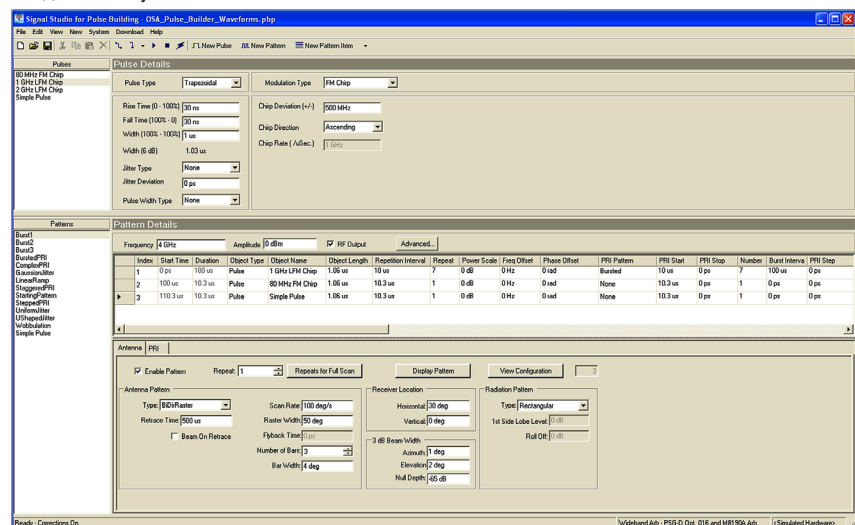


Рисунок 7 - Программа Signal Studio для создания импульсов компании Keysight

Генерация тестовых сигналов (продолжение)

Моделирование диаграмм сканирования антенн

Программа Signal Studio для создания импульсов позволяет моделировать множество диаграмм сканирования антенн, которые можно применить к форме сигналов. Это свойство особенно полезно для прикладных задач, связанных с РТР и РЭБ, когда тестируемые системы должны быть помещены в среду, насыщенную сигналами, имитирующими реальные цели, но которые не существуют в реальности. Многие из этих систем РТР и РЭБ используют данные диаграммы сканирования антенны для идентификации конкретных целей, сигналы которых обнаружены.

Диаграммы сканирования антенн являются в некоторой степени уникальными, поскольку они обычно включают сканирование или перемещение главного лепестка диаграммы направленности антенны в зависимости от назначения РЛС (рисунок 8). Например, корабельная РЛС может иметь круговую диаграмму сканирования, чтобы отображать объекты на поверхности океана во всех направлениях. Реактивный истребитель для своей погодной РЛС использует, вероятно, прямое секторное сканирование. Управляемая ракета дальнего действия может использовать фазированную антенную решётку для РЛС целеуказания, а ракета, запущенная с корабля, могла бы использовать РЛС с

коническим сканированием.

Для испытания систем РТР и РЭБ, которые реагируют на такие типы целей, необходима возможность формирования такой структуры импульса, которая имитировала бы сканирующую РЛС.

Программа Signal Studio для создания импульсов компании Keysight поддерживает разнообразные диаграммы сканирования, включая круговую, обычно используемую на кораблях, секторную, используемую на самолётах, коническую, часто используемую на ракетах, и растровое сканирование, обычно применяемое в системах целеуказания с фазированными решётками.

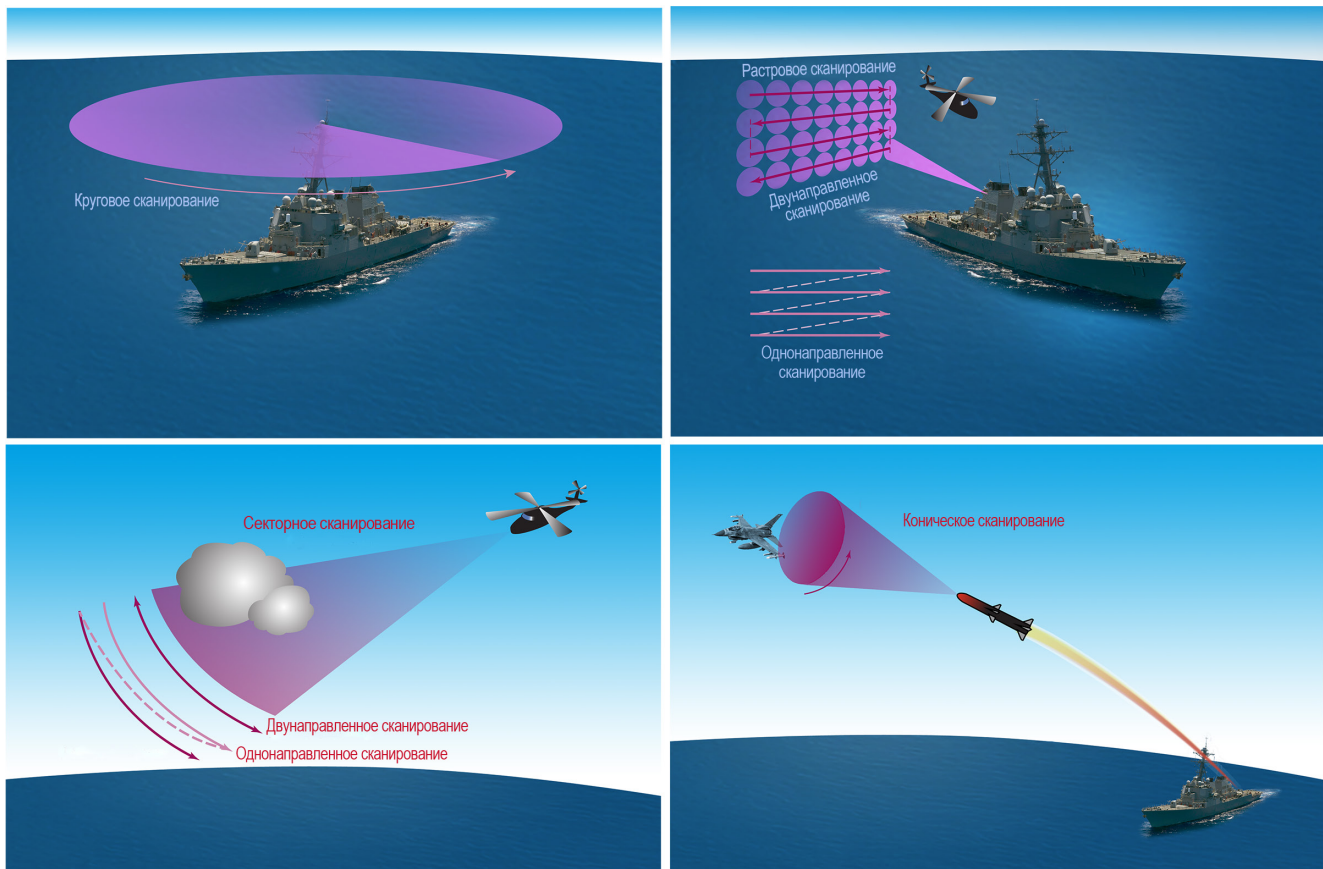


Рисунок 8 - Диаграммы сканирования антенн

Генерация тестовых сигналов (продолжение)

Чтобы точно имитировать диаграмму сканирования, необходимо принимать в расчёт влияние боковых лепестков диаграммы направленности антенны. Поскольку все направленные антенны РЛС имеют конечные размеры, они создают боковые лепестки некоторой формы, которые расположены вне оси главного лепестка диаграммы направленности. Таким образом, когда РЛС сканирует зону обзора, боковые лепестки опережают главный лепесток, затем работает главный лепесток, и наконец снова боковые лепестки.

Имитация сигналов, представляющих комбинацию амплитудной модуляции, вызванной сканированием антенны и её боковыми лепестками, с модуляцией огибающей импульса и внутренней модуляцией, обусловленной сжатием импульса, может оказаться сложной задачей.

С помощью программы Signal Studio для создания импульсов компания Keysight упрощает решение этой задачи, позволяя задавать уровни боковых лепестков антенны, указывать углы и положение цели, скорость сканирования, ширину луча и скорость спада боковых лепестков.

Пакет Signal Studio for Pulse Building позволяет задавать диаграмму направленности антенны, используя популярные окна пространственного преобразования. Окна Блэкмана, Хэмминга, Хэннинга, прямоугольное,

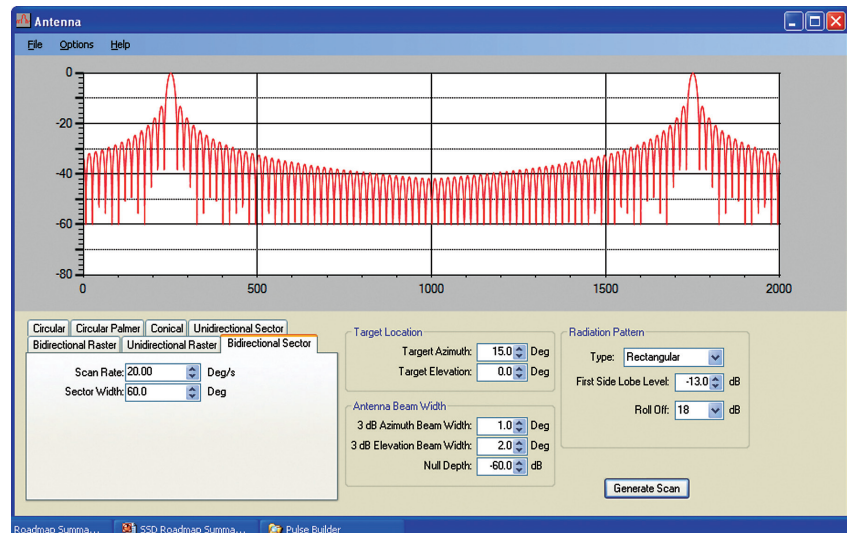


Рисунок 9 – Моделирование диаграммы сканирования антенны в программе Signal Studio для создания импульсов

трёхэлементное (Three-term), косинусное и даже программируемое доступны для описания пространственного распределения энергии.

Библиотеки импульсных последовательностей

Необходимость генерации импульсных последовательностей с богатым набором свойств для имитации сложных сред систем ПТР продолжает расти по мере усложнения оборудования, предназначенного для автоматического реагирования на множественные угрозы. Многие организации создали каталоги излучений от различных

радиолокационных источников. Это позволяет заранее запрограммировать системы ПТР и системы целеуказания, чтобы они соответствующим образом реагировали на каждую угрозу.

Программа Signal Studio для создания импульсов обеспечивает связь с популярными базами данных, включая электронные таблицы Microsoft® Excel, для облегчения импорта характеристик импульсов. Эта удобная функция импорта облегчает генерацию реалистичных сценариев выполнения заданий систем ПТР с целью тестирования РЛС и оборудования радиоэлектронного подавления.

Генерация тестовых сигналов (продолжение)



Рисунок 10 – Введение цифровых предсказаний с помощью генератора сигналов серии PSG компании Keysight

Предсказания в полосе частот модуляции

С точки зрения динамического диапазона, воспроизведение записей сценариев выполнения задания очень похоже на воспроизведение аналоговой записи музыки. Узкий динамический диапазон записи снижает её полезность как тестового сигнала для определения характеристик РЛС или оборудования систем РТР.

Генераторы сигналов произвольной формы и генераторы сигналов компании Keysight имеют самый лучший из доступных динамический диапазон (SFDR), который является ключевым критерием выбора для многих приложений. Чтобы сделать эти приборы ещё более полезными, компания Keysight предоставляет возможность расширения их рабочих характеристик с помощью введения цифровых предсказаний в полосе частот модуляции импульса РЛС.

Нелинейные эффекты в ЦАП и появляющиеся в результате

компоненты могут исказить импульс из-за интермодуляции частотных составляющих, образующих импульс. Интермодуляционные составляющие значительно уменьшают динамический диапазон тестового сигнала.

Использование цифровых предсказаний сигнала, синтезированных с помощью программы Signal Studio для создания импульсов, позволяет подавить эти интермодуляционные продукты для получения непревзойдённого динамического диапазона или наоборот усилить их для тестирования пределов рабочего режима.

С помощью внешнего анализатора сигналов компании Keysight, такого как N9030A, синтезированная структура

тестового импульса анализируется, и компоненты предсказаний добавляются к источнику для компенсации нелинейности испытательной системы. Эта сложная испытательная система проста в использовании, автоматически определяет и применяет необходимые коррекции для измерения, что минимизирует продукты интермодуляционных искажений (IMD).

Теперь можно видеть, как генераторы сигналов компании Keysight с помощью программы Signal Studio для создания импульсов могут создавать детальные структуры импульсов РЛС, и как это оборудование даёт специалистам по системам РЛС или РТР очевидное конкурентное преимущество при создании оборудования для решения ответственных задач. Некоторые преимущества можно рассмотреть на примере искусственного испытательного полигона.

Пример искусственного испытательного полигона

Как упоминалось ранее, испытание РЛС может представлять сложную задачу. Исторически специалисты по РЛС предпочли бы довериться полевому испытательному полигону, который обычно занимает большое пространство, где несколько кораблей или самолётов могли бы следовать по определённому курсу, чтобы оценить правильно ли РЛС отображает на экране их местоположение и скорость. Хотя полевые испытания часто обеспечивают реалистические условия окружающей среды, обычно это худший вариант для разработчиков.

Сложность работы в полевых условиях является основной причиной, по которой большинство инженеров-испытателей РЛС предпочитают создавать искусственный испытательный полигон. Такой полигон представляет комплект испытательного оборудования, способного имитировать возвратные эхосигналы РЛС, необходимые для проверки её характеристик.

Хотя полевое испытание может быть полезно в части имитации условий окружающей среды, таких как береговые линии, горы и облака, это часто непрактично для имитации реалистических сценариев военного назначения. Например, может быть непомерно дорого организовать полномасштабную атаку, в которой будут задействованы дюжина самолётов и кораблей, приближающихся к береговой РЛС раннего предупреждения. Кроме того, полевые испытания в значительной степени связаны с безопасностью (например, возможностью столкновения), чего нет при лабораторных испытаниях.

И наконец, во многих крупномасштабных полевых испытаниях часто не представляется возможным исследовать множественные сценарии. Затраты на многократные переустановки РЛС и целей в заданные положения

при дальности более сотен миль не позволяют полностью выявить возможности приёмника РЛС, системы РЭБ или РТР. При испытании радиолокационных систем космических кораблей цена полевых испытаний оказывается совсем недоступной.

Чтобы преодолеть эти проблемы, генераторы сигналов и генераторы сигналов произвольной формы компании Keysight совместно с программой Signal Studio для создания импульсов позволяют создать искусственный испытательный полигон в лабораторных условиях, который часто предпочитают специалисты по системам РЛС и РЭБ.

Моделирование сканирующих антенн

Чтобы проиллюстрировать применение генератора сигналов для испытания системы РЭБ, можно рассмотреть проблему испытания корабельной системы раннего предупреждения. В этом случае система РЭБ принимает радиолокационные импульсы, достигающие корабля, и анализирует их для определения природы их источника и его углового пеленга. Исследование импульсных последовательностей и вариаций их амплитуды, вызванных диаграммой сканирования антенны, даёт важную информацию для системы РЭБ.

Ключ к стратегии успешного испытания заключается в создании реалистичного набора импульсных последовательностей радиолокационных сигналов и возможности видеть, правильно ли система радиоэлектронного подавления предпринимает такие надлежащие действия, как создание активных

преднамеренных радиопомех, срыв автосопровождения цели по дальности, разбрасывание дипольных отражателей и тому подобные. В этом примере будет показано, как система РЭБ реагирует на различные радиолокационные сигналы, такие как от РЛС прогулочного судна или от крылатой ракеты.

Для выполнения этого испытания необходимы только программа Signal Studio для создания импульсов и генератор сигналов серии PSG компании Keysight. Используя соответствующие определения импульса РЛС и диаграммы сканирования антенны, с помощью генератора серии PSG можно воспроизвести различные условия для системы РЭБ, чтобы проверить, правильные ли действия она при этом предпринимает. В случае с прогулочным судном ничего не должно произойти, тогда как в случае с ракетой система РЭБ должна инициировать соответствующие меры противодействия.

Искусственный испытательный полигон, использующий измерительные приборы компании Keysight, не только обеспечивает реалистические испытания бортового корабельного оборудования, затрачивая для этого только часть стоимости, требуемой для проведения реальных боевых учений, но также представляет собой превосходный тренажёр. Например, корабль может находиться в порту для технического обслуживания или пополнения запасов. Искусственный испытательный полигон, созданный на базе генераторов сигналов компании Keysight, корабельных РЛС и приёмников системы РЭБ, можно использовать для обучения корабельного персонала работе с разнообразными возможными сценариями выполнения задания. Это можно сделать без уведомления недружественных сил, что является значительным недостатком морских учений.

Пример искусственного испытательного полигона (продолжение)

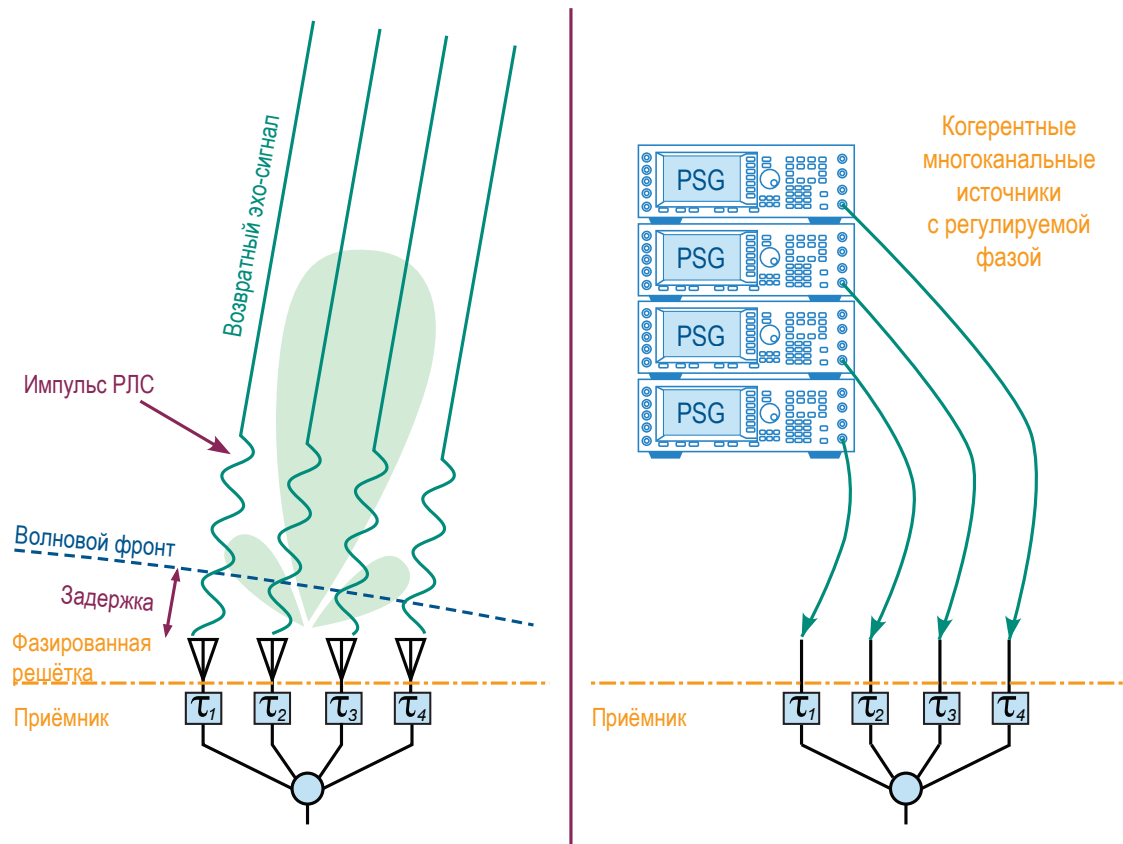


Рисунок 11 – Создание искусственного испытательного полигона для РЛС с фазированной антенной решёткой

Испытание когерентного многоканального приёмника

Генераторы сигналов компании Keysight и программа Signal Studio для создания импульсов могут быть сконфигурированы для работы с РЛС, использующими фазированную антенную решётку. Современные РЛС с фазированной антенной решёткой имеют много входов приёмника и реагируют на фазу электромагнитных волн, которые создаются эхо-сигналами и достигают приёмника. Это может усложнить испытание, поскольку принимаемый сигнал должен имитировать волновой фронт импульсного сигнала, который содержит множество эхо-сигналов РЛС, приходящих от удалённых точек.

Компания Keysight решила эту проблему с помощью генераторов сигналов, таких как E8257D и E8267D серии PSG и N5181B или N5182B серии MXG, которые могут быть синхронизированы по фазе, создавая когерентные колебания, но с возможностью регулировки статических фазовых соотношений между источниками. Это позволяет имитировать волновой фронт приходящего импульсного сигнала с точностью, необходимой для многоканальных систем с фазированной решёткой. Возможные подходы описаны в рекомендациях по применению Signal Source Solutions for Coherent and Phase-Stable Multi-Channel Systems (Источники сигналов для когерентных и фазостабильных многоканальных систем) (номер публикации 5990-5442EN/5990-5442RURU).

Пример искусственного испытательного полигона (продолжение)

Альтернативная среда для моделирования систем и создания сигналов

Алгоритмы обработки сигналов играют важную роль в современных радиолокационных системах, особенно в многорежимных системах с высокими рабочими характеристиками. Разработка алгоритмов представляет сложный процесс, который становится значительно более эффективным, если разработчики имеют доступ к достаточно широкому набору моделей различных элементов и функций РЛС (генерация сигналов, излучение от нескольких источников, передача сигналов, антенны, переключатели передача/ приём, мешающие эхо-сигналы, шумы, активные преднамеренные радиопомехи, приём, обработка сигналов и измерения).

Библиотека моделей РЛС W1905 компании Keysight работает в среде проектирования системного уровня SystemVue компании Keysight. SystemVue представляет открытую среду моделирования, ориентированную на архитектуры физического уровня в полосах модуляции и ВЧ. Она заменяет цифровые, аналоговые и математические среды общего назначения и может интегрироваться с технологическими процессами разработки различных типов программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и встроенных аппаратных схем.

Библиотека W1905 содержит более 50 высокопараметризованных блоков имитации (см. приложение на странице 23) и более 40 примеров проектов высокого уровня, которые можно использовать для создания рабочих сценариев испытаний РЛС, которые включают блоки обработки РЛС, эффекты окружающей среды, такие как мешающие эхо-сигналы,

сигналы целей и даже измерения характеристик аппаратных средств. Эта библиотека применима для следующих архитектур РЛС: импульсно-доплеровские; сверхширокополосные (UWB); РЛС на базе ЦАР (цифровые антенные решетки); РЛС с синтезированной апертурой (SAR); РЛС с частично-модулированной непрерывной несущей (FMCW). С помощью этих инструментальных средств разработчики могут моделировать различные типы радиолокационных систем, создавать алгоритмы обработки радиолокационных сигналов, оценивать рабочие характеристики систем и создавать конструкции с проверенными принципиальными техническими решениями.

Библиотека W1905 также идеальна для генерации прецизионных сигналов, необходимых для проверки алгоритмов и аппаратных средств или для изучения работы РЛС в различных условиях. Например, ключевым аспектом испытания приёмника является оценка его характеристик, когда он работает на фоне от мешающих отражений, в условиях многолучевого распространения, неопределённых эхо-сигналов, преднамеренных активных радиопомех и искажений в канале. SystemVue обеспечивает возможности моделирования, поддерживающие эти прикладные задачи (рисунок 12).

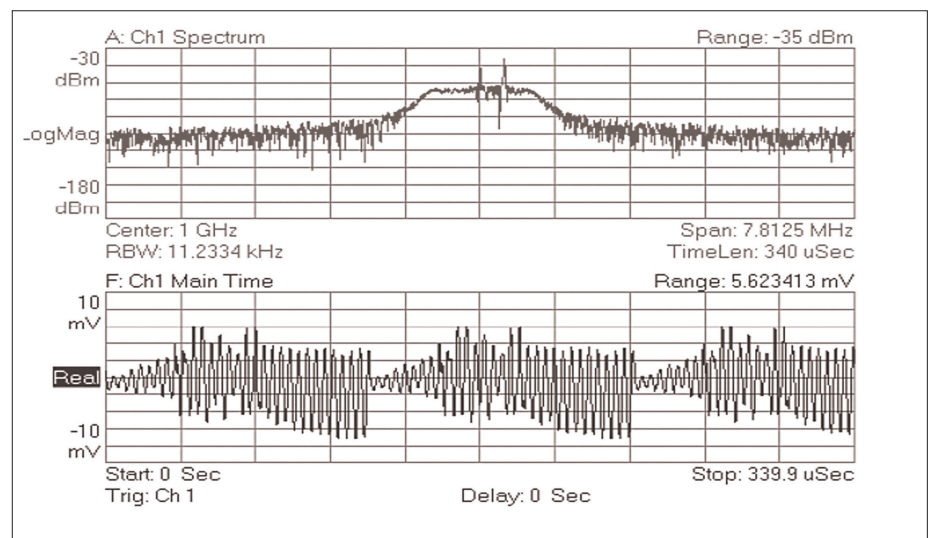


Рисунок 12 – SystemVue и библиотека W1905 были использованы для создания возвратных сигналов, содержащих мешающие эхо-сигналы и преднамеренные активные радиопомехи

Пример искусственного испытательного полигона (продолжение)

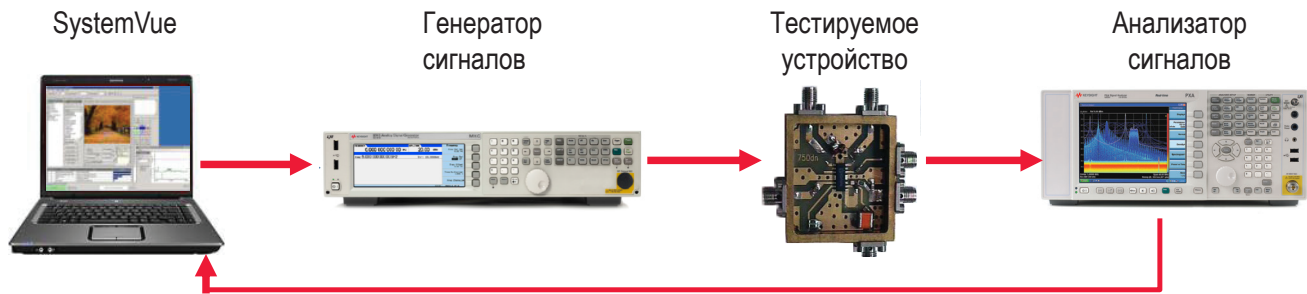


Рисунок 13 – Пример комбинации программных средств и измерительных приборов, которая может быть использована для создания и генерации испытательных сигналов РЛС

При тестировании устройств на этапе разработки SystemVue можно использовать для создания высокореалистичных испытательных сигналов нескольких источников излучения. Один из ключевых высокоэффективных методов, используемых для этого, реализован в функции SystemVue, получившей название SignalCombiner (объединитель сигналов). Эта функция позволяет создавать и комбинировать сигналы нескольких источников излучения в среде моделирования. Посредством повторной дискретизации несколько источников излучения комбинируются в один сигнал, который можно загрузить для воспроизведения в прецизионный генератор сигналов произвольной формы, такой как M8190A. Подробнее см. рекомендации по применению Creating Multi-Emitter Signal Scenarios with COTS Software and Instrumentation (Создание сценариев, включающих сигналы нескольких источников излучения, с помощью имеющихся в продаже программных средств и измерительных приборов) (номер публикации компании Keysight 5991-1288EN).¹

Процедура создания испытательного сигнала для РЛС иллюстрируется рисунком 13. В этой конфигурации модель интерфейса (Sink) в SystemVue осуществляет связь с векторным генератором сигналов, таким как генератор сигналов серии PSG или MXG компании Keysight. Любые формы радиолокационных сигналов, создаваемые SystemVue в режиме моделирования, могут автоматически в динамическом режиме загружаться в генератор сигналов, который воспроизводит их для использования в качестве ВЧ- или ПЧ-тестовых сигналов. Кроме того, сигналы, захваченные анализатором сигналов, могут быть переданы обратно в SystemVue для обработки и использования в имитационном моделировании.

1. В разделе "Результаты, часть 2" на странице 6 рекомендаций по применению 5991-1288EN описано создание среды из нескольких источников излучения, включающей 16 сигналов РЛС, восемь из которых используют коды Баркера, ещё восемь - ЛЧМ-импульсы.

Пример искусственного испытательного полигона (продолжение)

При подключении соответствующих измерительных приборов, реализующих измерения по принципу стимул-отклик, этот тип платформы моделирования можно использовать для ручной имитации отсутствующих аппаратных блоков и тем самым имитировать работающую радиолокационную систему. Это позволяет легче выполнять проверку правильности её работы на системном уровне на ранней стадии процесса разработки, даже при работе с частично реализованными аппаратными средствами. Когда реальные аппаратные средства становятся доступными, платформа моделирования легко перенастраивается на задачу формирования целевых сигналов РЛС для измерительных приборов, которые затем будут использоваться при испытаниях.

Для углублённого анализа SystemVue и библиотеку W1905 можно объединить с программным обеспечением 89600 VSA. Программное обеспечение 89600 VSA предлагает передовые инструментальные средства общего назначения для измерения характеристик сигналов во временной, частотной и модуляционной областях. Это программное обеспечение может работать как в ПК, так и внутри определённых типов анализаторов сигналов, логических анализаторов и осциллографов компании Keysight.

Кроме того, объединение SystemVue/89600 обеспечивает взаимодействие с рядом измерительных приборов, которые можно использовать для проверки характеристик разработанных аппаратных средств. Примерами могут служить анализаторы сигналов N9030A

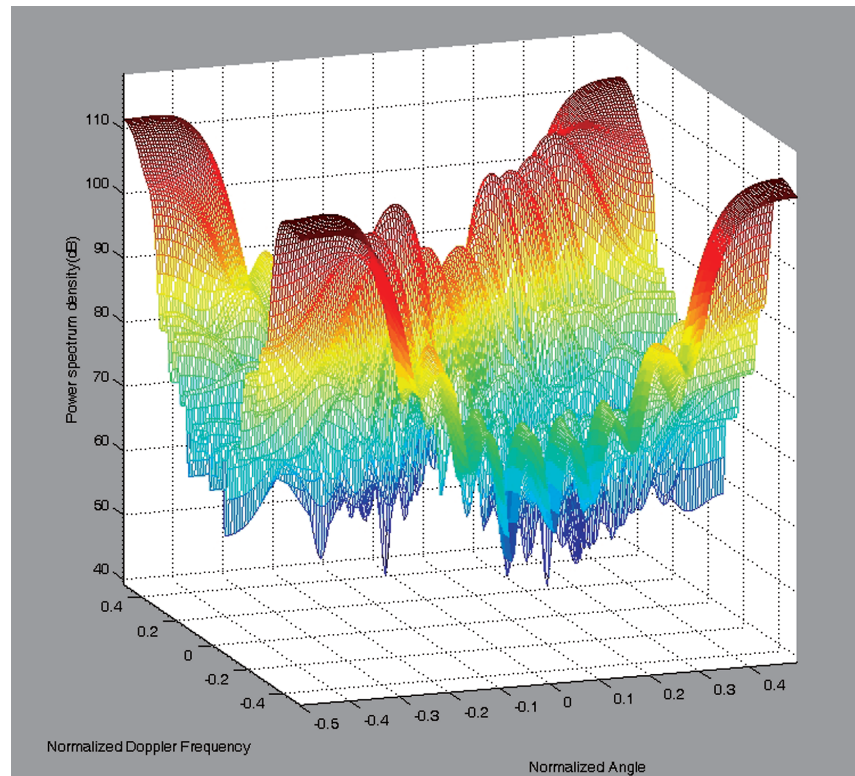


Рисунок 14 – Визуализация отражённых от цели доплеровских импульсных сигналов РЛС в сценарии с моделями мешающих эхо-сигналов в формате 3D с помощью MATLAB.

серии PXA, логические анализаторы серии 16800 и осциллографы серии 90000X семейства Infiniium компании Keysight.

SystemVue также интегрируется с MATLAB для обеспечения возможностей анализа и визуализации сложных сигналов РЛС (рисунок 14), которые включают полное математическое моделирование в среде SystemVue с использованием математических и вычислительных функций MATLAB.

Проверка правильности и анализ радиолокационных сигналов

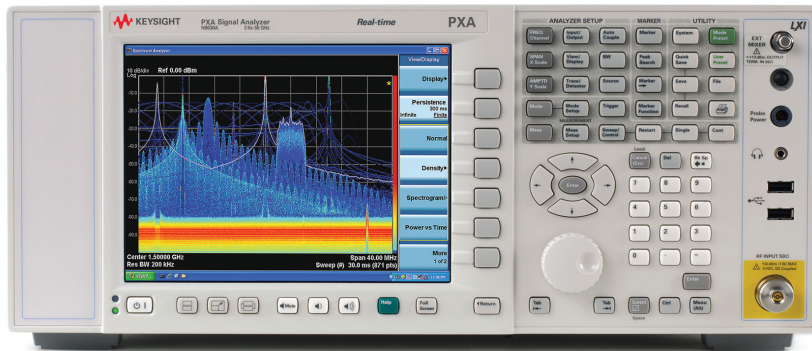


Рисунок 15 – Анализатор спектра реального времени PXA помогает увидеть, захватить и интерпретировать самые трудноуловимые сигналы

Анализ радиолокационного импульса стал значительно более трудной задачей, поскольку разработчики выбрали метод компрессии для улучшения разрешающей способности и повышения дальности при снижении неопределённости. При таком подходе средства анализа должны обеспечивать более широкие полосы частот, возможность анализа модуляции и представление сигнала в нескольких областях.

Кроме того, разработчики внедряют программно-определяемые архитектуры РЛС, где стабильность и гибкость цифровых реализаций быстро заменяет традиционную аналоговую обработку на ПЧ и в полосе частот модуляции. Это тоже порождает особые проблемы для испытаний, поскольку формат сигналов и доступ к ним кардинально меняется при переходе от полосы частот модуляции к ВЧ.

С целью решения этих сложных задач компания Keysight создала целый ряд приборов для анализа, которые обладают характеристиками и гибкостью, позволяющими просматривать практически все радиолокационные сигналы с учётом широкого разнообразия форматов.

Средства анализа компании Keysight

Для удовлетворения различных требований в широком диапазоне значений цена/производительность компания Keysight предлагает семейство настольных анализаторов сигналов серии X и две линейки портативных анализаторов. Портативные модели включают ручные анализаторы спектра (HSA) и семейство анализаторов серии FieldFox. Модели ручных анализаторов спектра позволяют

проводить базовые измерения анализа спектра в диапазоне частот до 20 ГГц в полевых условиях и хорошо подходят для решения задач установки и обслуживания оборудования. Ручной анализатор FieldFox можно сконфигурировать как анализатор кабелей и антенн, анализатор спектра, векторный анализатор цепей или комбинированный анализатор с диапазоном частот до 26,5 ГГц.

Серия X включает четыре модели, две из которых лучше всего подходят для радиолокационных приложений: анализатор сигналов высшего класса PXA, который обеспечивает полосу анализа 160 МГц; и универсальный анализатор сигналов MXA, который обеспечивает строгий баланс между быстродействием, рабочими характеристиками и эффективностью затрат. В результате последней модернизации для анализаторов сигналов PXA стала доступна опция анализа спектра в реальном времени (RTSA). Эта опция обеспечивает полосу анализа в режиме реального времени до 160 МГц, и может быть использована для модернизации не только новых, но и существующих анализаторов сигналов PXA. Добавление опции RTSA создаёт экономичное техническое решение, которое обеспечивает анализ в реальном времени и традиционные измерения спектра в одном приборе (рисунок 15). PXA с опцией RTSA обеспечивает следующие возможности:



Рисунок 16 – Семейство анализаторов сигналов компании Keysight

Проверка правильности и анализ радиолокационных сигналов (продолжение)

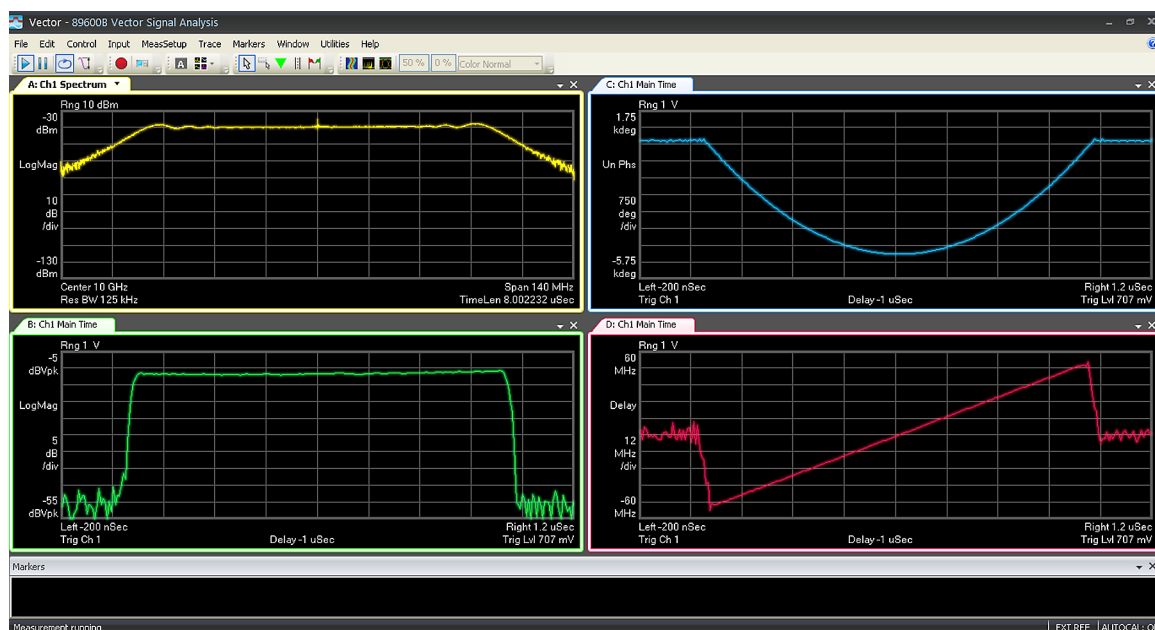


Рисунок 17 – Просмотр ЛЧМ-импульса с помощью программного обеспечения 89600 VSA

- Обнаружение сигналов со 100%-ой вероятностью захвата длительностью от 3,57 мкс
- Средний уровень собственных шумов: -157 дБм на частоте 10 ГГц (без предусилителя)
- Динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих, равный 75 дБ
- Запуск по частотной маске (FMT) с различными возможностями задания условий

Для всестороннего анализа сложных сигналов программное обеспечение 89600 может использоваться с анализаторами сигналов серии X или даже исполняться внутри этих приборов. В дополнение к возможностям анализа во временной и частотной областях 89600 VSA позволяет проводить измерения сжатых импульсов РЛС в модуляционной области. Кроме того, программное обеспечение VSA совместимо с возможностями RTSA, включая запуск по частотной маске, и поддерживает захват и воспроизведение паразитных сигналов.

Для сверхширокополосных приложений компания Keysight также предлагает дигитайзеры и осциллографы с высокими характеристиками. Например, M9703A, представляющий собой 8-канальный дигитайзер с разрешением 12 бит в формате AXIe, способен захватывать сигналы с полосой частот от 0 до 2 ГГц. Он обеспечивает частоту дискретизации до 3,2 Гвыб/с при использовании 4 каналов

и до 1,6 Гвыб/с при использовании 8 каналов. Дигитайзер M9703A поддерживает возможность длительного захвата данных, обладая внутренней памятью объёмом 4 Гбайт. Осциллографы серий 90000X и 90000Q семейства Infiniium представляют собой альтернативный вариант: они обеспечивают полосы пропускания до 63 ГГц, частоты дискретизации до 160 Гвыб/с и глубину памяти до 2 Гвыб. Для обеспечения возможности углублённого анализа

дигитайзер M9703A и осциллографы серий 90000X и 90000Q совместимы с программным обеспечением 89600 VSA. Для иллюстрации возможностей инструментов анализа компании Keysight будет полезно рассмотреть несколько примеров измерений. Этот обзор начинается с основных измерений, таких как измерение параметров импульсов, затем следуют сложные измерения качества сигналов. В заключение рассматриваются возможности измерения сигналов РЛС с программно-определяемой архитектурой.

Как решить, когда следует использовать осциллограф или анализатор спектра

Требования, предъявляемые к анализу, помогут определить, когда следует использовать осциллограф или анализатор сигналов. Ключевыми факторами являются полоса анализа и требуемое число измерительных каналов. Дополнительные показатели включают: динамический диапазон, уровень паразитных составляющих и измерения модуля вектора ошибки (EVM).

В настоящее время анализаторы сигналов с высокими характеристиками имеют максимальную полосу анализа, равную 160 МГц. Таким образом, если требуется, чтобы полоса анализа была 160 МГц или меньше, то можно использовать либо анализатор сигналов, либо осциллограф. Если требуется более широкая полоса анализа, то осциллограф с высокими техническими характеристиками является лучшим выбором.

Если требуется несколько фазово-когерентных каналов, то часто лучшим выбором является осциллограф. Если достаточно одного канала, то автономный анализатор сигналов, такой как PXA, обычно имеет преимущество в других показателях: динамический диапазон, уровень паразитных составляющих, характеристики измерения EVM и скорость измерения.

Проверка правильности и анализ радиолокационных сигналов (продолжение)

Измерение параметров импульсов

Тестирование систем РЛС, РЭБ и РТР требует проведения разнообразных измерений. Как было отмечено ранее, измерение длительности импульса, частоты или периода повторения даёт важную информацию о разрешающей способности и дальности действия РЛС, а также может раскрыть потенциально важные сведения разведывательного характера. Автоматизация измерения этих параметров может значительно ускорить диагностику РЛС и позволяет извлечь обилие информации для систем РЭБ.

Для автоматизации этих измерений можно использовать два программных приложения. Анализаторы сигналов PXA и MXA могут быть сконфигурированы с приложением для измерения параметров импульсов N9051A, а осциллографы, такие как Infiniium 90000, могут быть снабжены программным приложением для осциллографического анализа сигналов (OSA) W2650A. Анализатор сигналов серии X с приложением N9051A является лучшим выбором, когда требуются широкий динамический диапазон, полоса модуляции импульса менее 160 МГц, измерения параметров спектра и паразитных составляющих. Несколько видов представления результатов измерений позволяет проводить одновременный анализ зависимости уровня мощности от времени, частоты от времени, фазы от времени или уровня мощности от частоты. Базовые возможности включают измерение периода повторения импульсов (PRI), частоты повторения импульсов (PRF), частотных характеристик модуляции импульса (среднее значение, минимальное значение, максимальное значение, девиация, размах), вида модуляции импульса (ЛЧМ, код Баркера) и многое другое. W2650A также поддерживает измерения непрерывных и модулированных сигналов, в том числе структуры и продолжительности сигналов со скачкообразной перестройкой частоты.

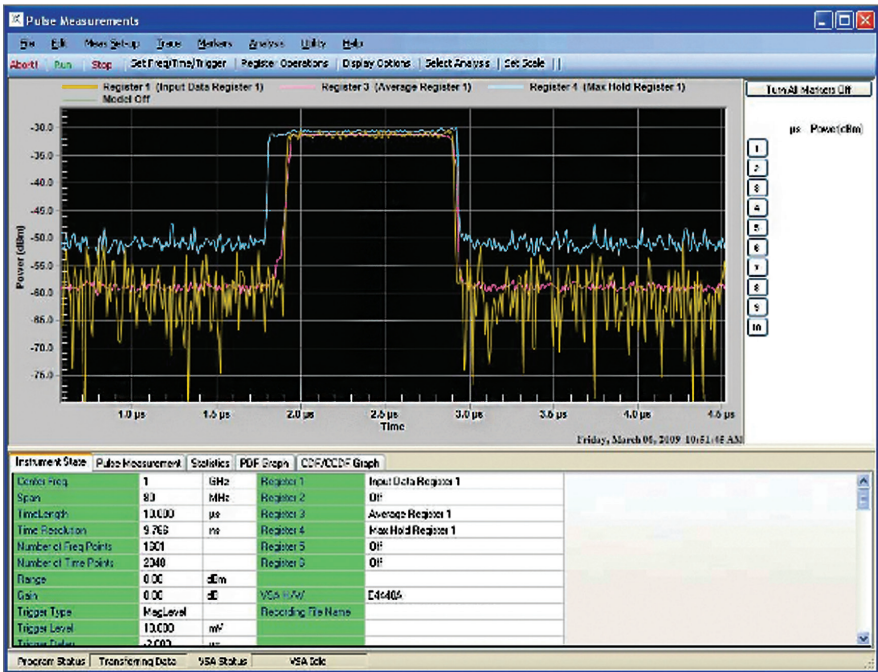


Рисунок 18 – Программное обеспечение для измерения параметров импульсов N9051A

анализа тренда или гистограмм.

Осциллограф с приложением W2650A может работать с полосами частот свыше 160 МГц и является лучшим выбором, когда динамический диапазон менее важен, чем полоса частот. Осциллограф также имеет режим сегментированной памяти, который упрощает анализ длинных последовательностей импульсов. Для анализа импульсов основные возможности включают: измерение периода повторения импульсов (PRI), частоты повторения импульсов (PRF), частотных характеристик модуляции импульса (среднее значение, минимальное значение, максимальное значение, девиация, размах), вида модуляции импульса (ЛЧМ, код Баркера) и многое другое. W2650A также поддерживает измерения непрерывных и модулированных сигналов, в том числе структуры и продолжительности сигналов со скачкообразной перестройкой частоты.

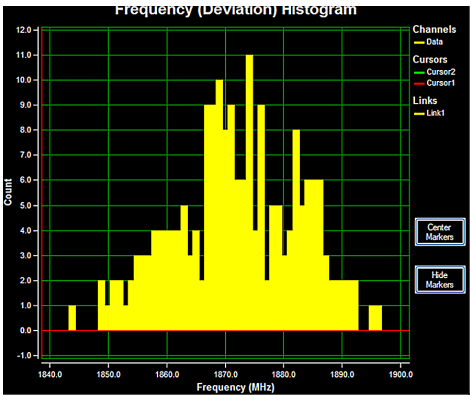


Рисунок 19 – Углублённый анализ импульсов с использованием программного приложения для осциллографического анализа сигналов (OSA) W2650A включает возможность определения статистических характеристик с помощью гистограмм.

Проверка правильности и анализ радиолокационных сигналов (продолжение)

Многоформатный анализ модуляции с помощью 89600 VSA

Программно-определяемая архитектура РЛС ставит уникальные проблемы испытаний, поскольку формат сигнала меняется от хорошо известных аналоговых коаксиальных микроволновых линий передачи к цифровым шинам, часто глубоко скрытым внутри ПЛИС (FPGA). Такие конструкции со смешанными аналоговыми и цифровыми сигналами требуют передовых методов анализа модулированных импульсов, обеспечивающих непротиворечивые результаты измерений при самых разнообразных форматах модуляции.

Программное обеспечение 89600 VSA взаимодействует с различными измерительными приборами компании Keysight: анализаторами сигналов, осциллографами, логическими анализаторами и многими другими. Эти приборы могут служить в качестве внешних аналоговых или цифровых подсистем первичного сбора данных. Кроме того, программное обеспечение 89600 VSA совместимо с САПР ADS компании Keysight. Это не только упрощает изучение процесса измерений с использованием приборов, но и

гарантирует непротиворечивость результатов измерений, поскольку независимо от формата измеряемого сигнала (цифрового или аналогового) используются одни и те же алгоритмы 89600 VSA.

Применение логического анализатора серии 16800 в качестве внешней подсистемы первичного сбора данных для 89600 VSA позволяет использовать ядро проектирования ПЛИС ATC2 компании Keysight. Ядро проектирования ATC2 обеспечивает прямой доступ к внутренним шинам данных поддерживаемых ПЛИС компаний Xilinx и Altera, позволяя выполнять сложный векторный анализ сигналов непосредственно внутри схемы, реализованной в ПЛИС, в реальном времени.

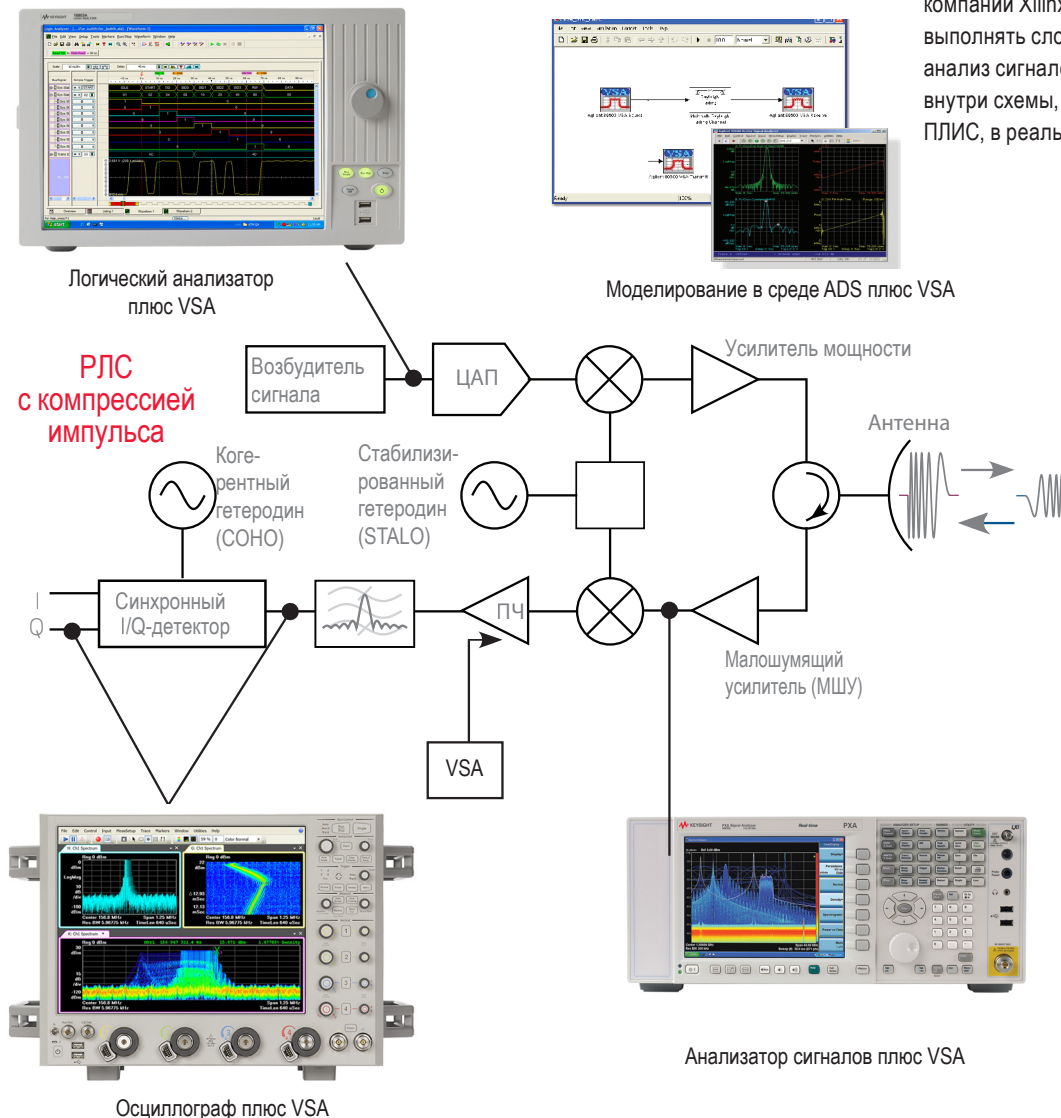


Рисунок 20 – Многоформатный анализ с помощью 89600 VSA

Приложение: список блоков библиотеки моделей РЛС W1905

Name	Description
RADAR_AmbgtResolution	RADAR range and velocity ambiguity resolution
RADAR_ANTENNA	Radar Antenna
RADAR_ANTENNA_PATTERN	Radar Antenna_Pattern
RADAR_ArrayFilter	Array Optimum Filter
RADAR_BarkerCode	Barker Coded Waveform Generator
RADAR_C FAR	Constant False Alarm Rate
RADAR_CICDecimate	RADAR CIC Decimation
RADAR_CICInterp	RADAR CIC Interpolation
RADAR_Clutter	RADAR clutter simulation
RADAR_Clutter_2D	Radar clutter simulation
RADAR_Clutter_H	Radar clutter simulation
RADAR_ClutterGen	Radar clutter simulation with statistics method in space domain
RADAR_CoIntgr	Signal Coherent Integration
RADAR_CW	Radar CW waveform generation
RADAR_DBF_Clutter_2D	Digital Array Radar clutter ring simulation
RADAR_DBF_Target_2D	Radar target 2D simulation for digital beamforming, including RCS, Doppler effect, Delay and Attenuation
RADAR_DDC	RADAR Digital Down Converter
RADAR_DDS	Direct Digital Synthesis
RADAR_Detector	RADAR Detector
RADAR_DUC	RADAR Digital Up Converter
RADAR_Equation	Radar Range Equation
RADAR_Equation_Augmentation	Radar Equation for Active Augmentation
RADAR_Equation_Bistatic	Radar Range Equation for Bistatic Radar
RADAR_Equation_Clutter	Radar Equation for area/volume target/clutter
RADAR_Equation_Jamming	Radar Equation for Self-Protection Jamming and Standoff Jamming
RADAR_FrankCode	Frank Coded Waveform Generator
RADAR_KALMAN	Radar Kalman Filter
RADAR_LFM	Linear Frequency Modulation Waveform Generator
RADAR_LFMRef	Linear Frequency Modulation Waveform Reference Function
RADAR_MatchedSrc	generate the matched source signal for pulse compression
RADAR_MTD	Moving Target Detection
RADAR_MTI	Moving Target Indication
RADAR_MultiCH_Rx	Quadrature amplitude demodulator with internal oscillator
RADAR_MultiCH_Tx	RADAR ideal multichannel transmitter
RADAR_NLFM	Non-Linear Frequency Modulation Waveform Generator
RADAR_NonCoIntgr	Signal Coherent Integration
RADAR_PC	Pulse Compression
RADAR_PD	Pulse Doppler
RADAR_Pd_Measurement	Detection Probability Estimation
RADAR_Pf_Measurement	False Alarm Rate Estimation
RADAR_PhaseShift	RF phase shifter continuously interpolated between time steps
RADAR_PULSE	Simple Pulse Waveform Generator
RADAR_Pulse_Compression	Pulse Compression
RADAR_QuadSample	RADAR quadrature sampling
RADAR_RCS	Radar target RCS
RADAR_Rx	RADAR Receiver Front End
RADAR_Rx_4x4	RADAR Receiver Front End for 4x4 MIMO
RADAR_Rx_DBS_2D	2D Rectangular Array Digital Beam Synthesis
RADAR_SAR_Echo	SAR Echo Generation
RADAR_SEA_CLUTTER	Radar Sea clutter simulation
RADAR_STAP	2D Rectangular Array Space-Time Adaptive Processing
RADAR_StepFreq	Stepped Frequency Generator
RADAR_SummerBusRF	RF signal summer
RADAR_Switch	Tx/Rx switch
RADAR_Target	Radar target simulation, including RCS, Doppler effect, Delay and Attenuation
RADAR_Target2	Moving Target
RADAR_Target_Vector	Radar target simulation, including RCS, Doppler effect, Delay and Attenuation
RADAR_TargetDetet	Target Detecting Algorithm which is used to detect target from noise
RADAR_TargetEcho	Moving Target
RADAR_TargetTrack	Target Tracking Algorithm which is used to track single target
RADAR_TargetTrajectory	Target Trajectory
RADAR_Tx	RADAR Transmitter Front End
RADAR_Tx_4x4	RADAR Transmitter Front End for 4x4 MIMO
RADAR_Tx_DBS_2D	2D Rectangular Array Tx Digital Beam Synthesis
RADAR_Tx_DBS_Measurement	RF transmitter antenna pattern measurement
RADAR_Tx_Synthesis	RF transmitter antenna array synthesis
RADAR_WaveGate	Wave Gate to capture and process the echo signal
RADAR_ZCCode	Zadoff-Chu Coded Waveform Generator

Выводы

Последние поколения систем РЛС и РЭБ работают в различных полосах частот и используют широкополосные или сверхширокополосные сигналы, которые поддерживают очень сложные схемы модуляции. Эти системы также используют передовые методы цифровой обработки сигналов, чтобы замаскировать или скрыть свою работу и таким образом избежать воздействия преднамеренных помех.

Непрерывная эволюция таких систем будет продолжаться, чтобы соответствовать характеристикам и возможностям технических решений, необходимых для генерации испытательных сигналов, создания искусственных испытательных полигонов с несколькими источниками излучения, а также для оценки и анализа сигналов РЛС и систем. Как описано в

этих рекомендациях по применению, взаимосвязь и взаимодействие измерительных приборов и программных средств создаёт гибкую основу для широкого круга полезных технических решений:

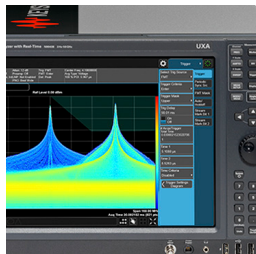
- Для создания сигналов такие инструментальные средства, как прецизионный широкополосный генератор сигналов произвольной формы M8190A и мощная программа Signal Studio для создания импульсов позволяют создавать высокореалистичные сценарии сигналов.
- Для анализа сигналов анализатор сигналов PXA обеспечивает превосходную полосу анализа и динамический диапазон, а также предлагает опцию анализатора спектра в реальном времени.

- Для углублённого анализа сигналов программное обеспечение 89600 VSA добавляет возможности анализа во временной, частотной и модуляционной областях в диапазонах микроволновых частот для анализаторов сигналов серии X, осциллографы Infiniium для анализа сверхширокополосных сигналов и логические анализаторы серии 16800 для анализа цифровых сигналов.

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.



myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированная подборка только нужной вам информации.

http://www.keysight.com/find/emt_product_registration

Зарегистрировав свои приборы, вы получите доступ к информации о состоянии гарантии и уведомлениям 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 поверке 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/ad

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

(ВР-16-10-14)



www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.

Сертифицировано DEKRA на соответствие стандарту ISO 9001:2015

Система управления качеством