

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени



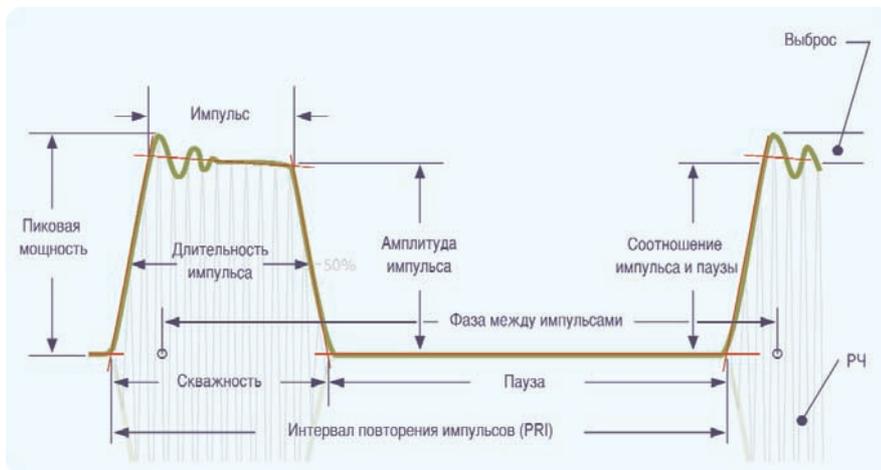
Введение

Средства измерения импульсов РЛС являются важной частью радиолокационных систем, а также систем электронных войн и средств электронной разведки. Анализатор спектра в реальном масштабе времени (RTSA) с уникальным программным обеспечением для измерения импульсных сигналов позволяет

решать все задачи анализа при измерении параметров нестационарных импульсов радиолокационной системы. В анализаторах RTSA имеются экраны для анализа нестационарных сигналов и средства углубленного исследования параметров сигнала, отсутствующие на других анализаторах. Совместное применение быстрого преобразования Фурье (БПФ), синхронизации по

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению



► Рис. 1. От параметров импульсов радиолокатора зависят важные характеристики радиолокационной системы.

частотной маске и разрешения 20 нс, а также наиболее полного в отрасли комплекта программного обеспечения для выполнения измерений при автоматическом анализе импульсов предоставляют исследователю диагностическую информацию для эффективного поиска неполадок в современных радиолокационных системах, а также системах электронных войн и средствах электронной разведки. В данной инструкции по применению сделан обзор радиолокационных измерений и успехов в проведении испытаний с помощью современного анализатора спектра в реальном масштабе времени (RTSA).

Измерения импульсов РЛС исторически представляли сложную задачу для инженеров-разработчиков и испытателей продукции в заводских и полевых условиях. Нестационарность импульсов радиолокатора в сочетании с современными схемами сжатия импульсов зачастую приводят к необходимости создания сложных испытательных стендов. Обычно в практике проведения измерений и испытаний не применялось сложное программное обеспечение, что вынуждало большинство инженеров-разработчиков радиолокационных станций создавать уникальное испытательное оборудование.

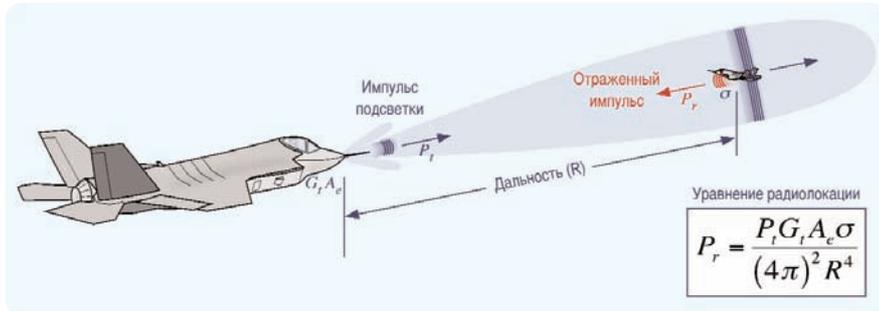
Анализатор спектра в реальном масштабе времени Tektronix RSA3408A, снабженный пакетом программного обеспечения для измерения импульсных сигналов, представляет собой сложный, объединенный в одном испытательном приборе, комплекс для анализа импульсов радиолокатора. Возможности анализатора спектра в реальном масштабе времени позволяют отображать такие детали сигнала, которые было невозможно получить на другом испытательном оборудовании.

Эта инструкция по применению начинается с обзора некоторых ключевых концепций радиолокационных систем, связанных с разработкой и диагностикой импульсной техники. Затем рассматриваются уникальные возможности анализатора спектра в реальном масштабе времени. Затем представлены способы надежного захвата и просмотра сигналов радиолокатора.

Далее основное внимание будет уделено анализу захваченных данных с применением пакета импульсных измерений Pulse Measurement Suite для RTSA к измерениям сжатых импульсных сигналов, автоматическому описанию характера импульсов и проверкам парными импульсами. И наконец, в кратком заключении обобщаются

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению



► **Рис. 2.** Радиолокатор излучает импульсы, подсвечивающие цель. Часть энергии сигнала отражается от цели и возвращается к приемнику радиолокатора. Расстояние до цели определяется по промежутку времени между излученным импульсом и приходом эхо-сигнала. Потери мощности при прохождении сигнала от передатчика до приемника даны в уравнении радиолокации, определяющем максимальную полезную дальность радиолокатора.

преимущества применения анализатора спектра в реальном масштабе времени для исследования импульсных радиолокационных сигналов.

Сведения об импульсных сигналах

Обычно радиолокаторы направляют на свои цели радиочастотный (РЧ) импульс, а затем «слушают» отраженный эхо-сигнал. Поскольку РЧ-импульс распространяется со скоростью света, время, необходимое для возврата эхо-сигнала, пропорционально расстоянию до цели. Это, конечно, относится к активному радиолокатору, который воспринимает отраженную целью энергию. У вспомогательных радиолокаторов, которые ретранслируют сигнал, полученный от ответчика, имеется дополнительная задержка.

Характеристики РЧ-импульса определяют большую часть возможностей радиолокатора. Эксперты в области электронных войн (Electronic Warfare – EW) и электронной разведки (ELectronic INTelligence – ELINT) специализируются на изучении этих импульсных сигналов. Характеристики импульса дают ценную информацию о типе радиолокатора, который послал сигнал, и о том объекте, который может представлять этот импульс – о парусной лодке, военном корабле, пассажирском самолете, бомбардировщике, ракете и т. п.

Рассмотрим некоторые общие термины, относящиеся к импульсным сигналам, и выясним,

какое отношение они имеют к рабочим характеристикам системы.

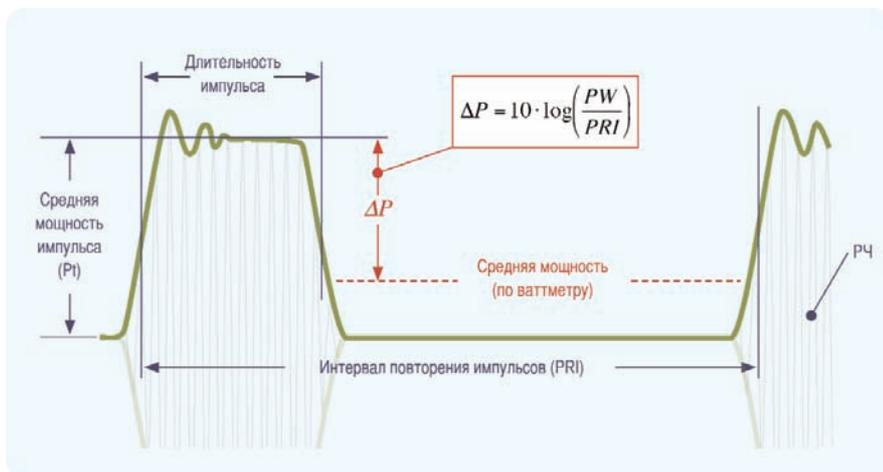
Интервал следования импульсов (PRI) – это период повторения импульсов. Он равен обратной величине частоты следования импульсов (PRF) или скорости повторения импульсов (PRR), представляющих количество излученных в секунду импульсов. Интервал следования импульсов (PRI) – это важный параметр, потому что он ограничивает максимальный диапазон однозначного измерения дальности или расстояние, на котором может работать радиолокатор.

Время отсутствия импульса, фактически может быть лучшим показателем максимального рабочего расстояния системы радиолокатора.

В большинстве радиолокационных систем применяются переключатели передача/прием (T/R), чтобы использовать одну и ту же антенну для передатчика и приемника. Передатчик и приемник подключаются к антенне попеременно. Передатчик посылает импульсы, а приемник «слушает» отраженный эхо-сигнал в течение интервала между импульсами. Пауза между импульсами – это период времени, в течение которого приемник может прослушивать отраженные эхо-сигналы. Чем больше пауза между импульсами, тем дальше может находиться цель при условии, что возвращенный импульс приходит не позже следующего излученного импульса. Если

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению



► **Рис. 3.** Чем длиннее импульс, тем больше его средняя мощность, что способствует увеличению максимальной дальности действия.

это случается, импульс от цели выглядит так, как будто он отразился от близко расположенного объекта. Для устранения этой неоднозначности в большинстве радиолокаторов просто используется достаточно большая пауза между импульсами, так что эхо-сигналы от очень далеких объектов достаточно ослабляются, чтобы их ошибочное обнаружение во время следующей паузы между импульсами было маловероятным.

Другим параметром оценки максимальной дальности действия радиолокатора является излучаемая мощность. Пиковая мощность – это мера максимального мгновенного уровня мощности импульса. Также представляют интерес спад мощности, амплитуда вершины импульса и выброс на фронте импульса. Иногда специалисты по электронной разведке тщательно исследуют эти характеристики, так как они могут предоставлять дополнительные сведения о качестве радиолокационной системы.

Амплитуда вершины импульса (мощность) и длительность импульса (PW) являются важными параметрами для расчета полной энергии данного импульса (мощность × время). Зная скважность и мощность импульса, можно рассчитать среднюю передаваемую мощность РЧ-импульса (мощность импульса × скважность).

В отличие от систем связи у радиолокационных

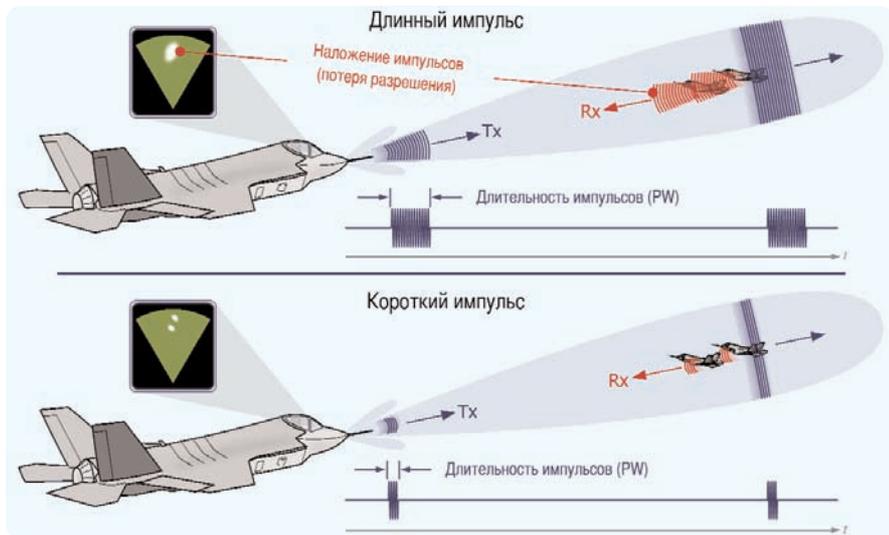
систем (радиолокаторов) очень большие потери на пути сигнала. Двойное прохождение сигналом расстояния в прямом и обратном направлении в два раза превышает расстояние прохождения сигнала при связи; кроме того, имеются потери, связанные с эффективной площадью отражения и коэффициентом отражения цели.

Уравнение радиолокации определяет соотношение между принятой мощностью (P_r) к переданной мощности импульса (P_t) по усилению антенны (G_t), площади (A_e), поперечному сечению цели (σ) и дальности до цели (R). В знаменатель выражения входит значение дальности в четвертой степени, что означает огромные потери мощности сигнала радиолокатора. Существует несколько видов уравнения радиолокации, в которых учитываются различия в области применения и конфигурации антенн.

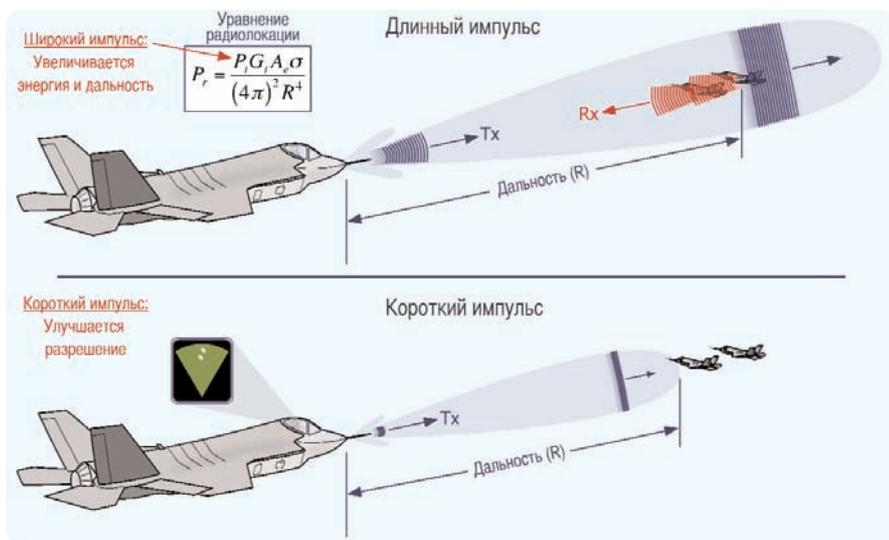
Используя уравнение радиолокации, можно рассчитать уровень принятого сигнала, чтобы определить, достаточно ли мощность для обнаружения импульса радиолокатора. Кроме того, для увеличения дальности обнаружения весьма полезным является объединение нескольких импульсов с целью накопления большей мощности сигнала и усреднения шумов.

Важным параметром сигнала радиолокатора является длительность импульса. Чем больше

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени
 ▶ Инструкция по применению



► Рис. 4. Длинные импульсы могут накладываться и интерпретироваться как один отраженный эхо-сигнал или объект. Короткие импульсы улучшают разрешение РЛС, возвращая отдельные эхо-сигналы, но для их использования необходима система с более широкой полосой пропускания.



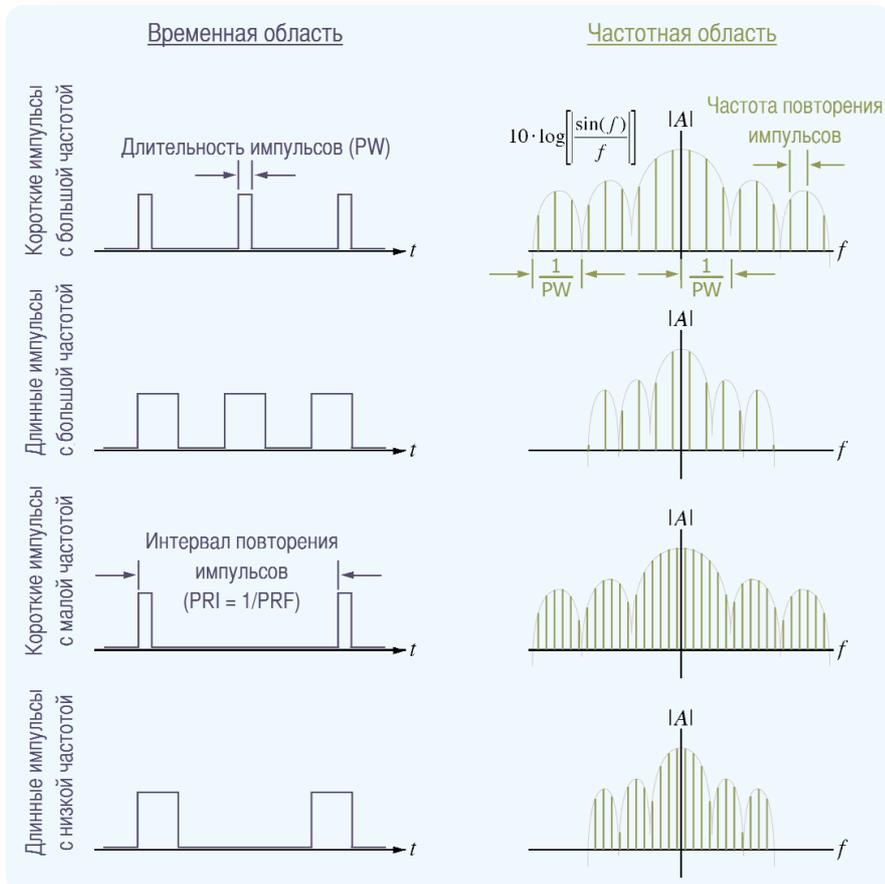
► Рис. 5. При проектировании РЛС важно соблюсти баланс между максимальной дальностью действия и разрешающей способностью. Более длинные импульсы обладают большей мощностью и дальностью. Короткие импульсы, наоборот, больше подходят для обнаружения мелких объектов.

длительность импульса, тем больше энергия, содержащаяся в импульсе при данной амплитуде. Чем больше мощность излучаемого импульса, тем больше дальность приема сигналов радиолокатора. При увеличении длительности импульса увеличивается и значение средней переданной

мощности. В этом случае передатчик работает в более жестких условиях. Чтобы рассчитать разность в децибелах (дБ) между мощностью импульса и уровнем средней мощности, достаточно умножить на 10 логарифм длительности импульса, деленный на интервал следования импульсов.

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению



► **Рис. 6.** Спектральная характеристика зависит от скорости повторения и ширины импульсов. Преобразование характеристики из временной области в частотную показывает влияние изменения ширины импульса (PW) и интервала повторения импульсов (PRF) или частоты следования импульсов (PRF).

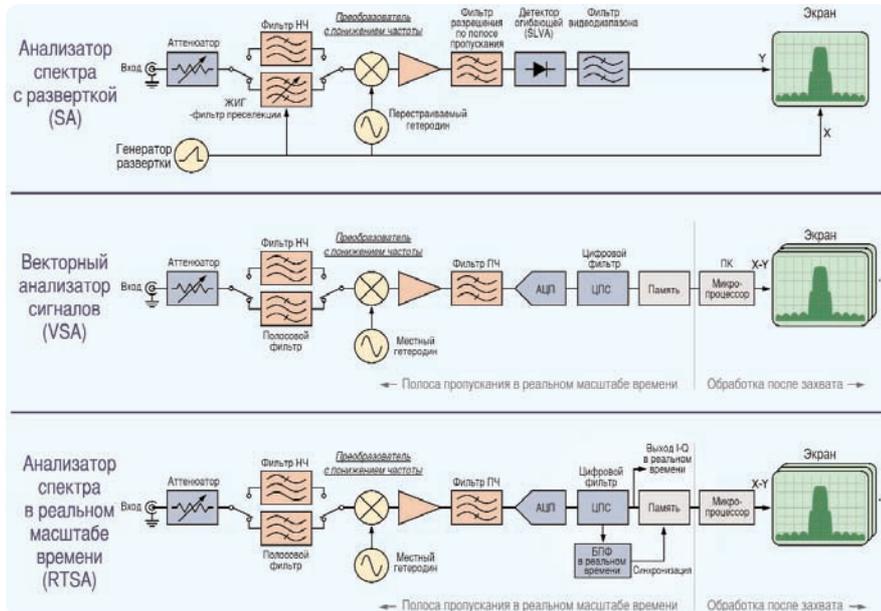
Таким образом дальность ограничивается характеристиками импульса и потерями при распространении. Значения интервала следования импульсов и скважности устанавливают значение максимального допустимого времени приема эхо-сигнала, при этом чтобы приемник имел возможность услышать сигнал, излучаемая мощность или энергия должна обеспечить превышение сигнала над фоновым шумом. Кроме того, длительность импульса оказывает влияние на минимальное разрешение радиолокатора. Эхо-сигналы от импульсов с большой длительностью могут накладываться во времени, что делает невозможным определение характера цели или целей. Продолжительный

эхо-сигнал может быть вызван одиночной крупной целью, например авиалайнером, или несколькими более мелкими рядом расположенными целями, например плотным строем самолетов-истребителей. Не имея достаточно хорошего разрешения, невозможно определить количество объектов, которые дают отраженный эхо-сигнал. При малой длительности импульса исчезает взаимное наложение эхо-сигналов и улучшается разрешение.

Таким образом, длительность импульса влияет на два важных свойства радиолокационной системы – разрешение и дальность обнаружения. К сожалению, эти два качества связаны обратной зависимостью. Более длительные импульсы

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению



► Рис. 7. На упрощенных блок-схемах представлены ключевые структурные различия между анализаторами разных типов. Анализатор спектра в реальном масштабе времени содержит уникальные компоненты для работы в реальном масштабе времени, отсутствующие в других анализаторах. Они обеспечивают более эффективную работу с импульсными и нестационарными РЧ-сигналами.

соответствуют радиолокаторам с большей дальностью обнаружения и меньшим разрешением, в то время как более короткие импульсы соответствуют радиолокаторам с лучшим разрешением, но меньшей дальностью. Кроме того, чтобы правильно сгенерировать и получить короткие импульсы, необходимо обеспечить большую полосу пропускания. Это обстоятельство привлекает интерес к характеру спектра импульса.

Характеристики временной области импульса, естественно, имеют свои эквиваленты в частотной области. Ширина спектра короткого импульса больше, чем импульса с большей длительностью. Аналогично, при более высокой частоте следования импульсов (PRF) промежутки между спектральными компонентами больше, чем при низкой частоте следования импульсов.

Теперь, после краткого рассмотрения параметров импульсов и их влияния на характеристики радиолокатора, ознакомимся с некоторыми основными методами анализа сигнала.

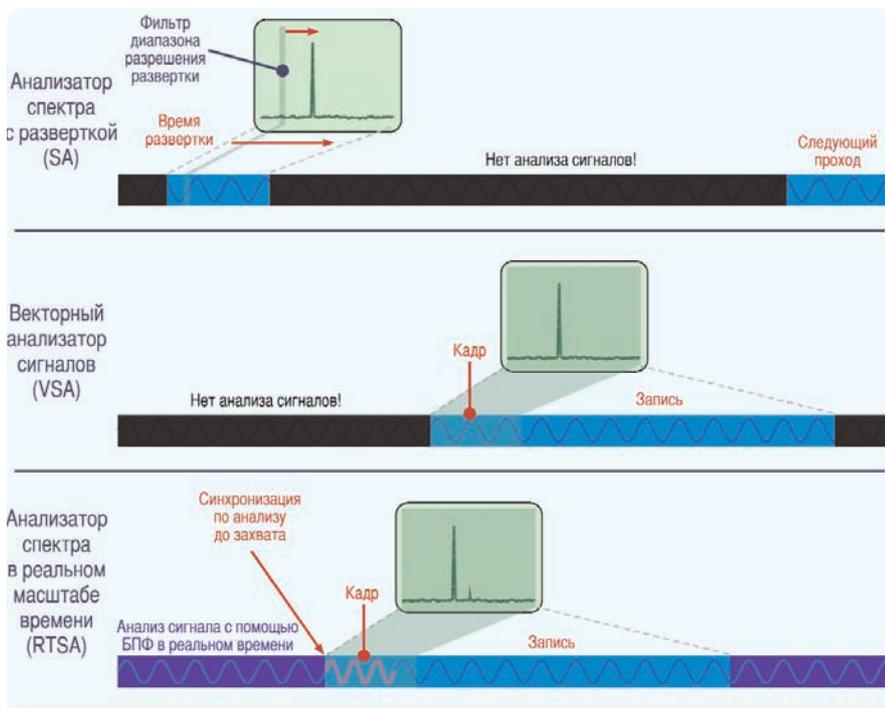
Основные понятия анализа спектра в реальном масштабе времени

Чтобы лучше понять уникальные возможности анализаторов спектра в реальном масштабе времени, следует ознакомиться с упрощенными блок-схемами трех основных типов современных анализаторов спектра. Эти анализаторы во многом похожи, например у всех имеется входной аттенюатор, однако между ними есть существенные различия.

В самом старом виде анализаторов — анализаторе спектра с разверткой (SA) — используется относительно узкополосный перестраиваемый фильтр предварительной селекции, предшествующий схемам преобразования спектра с понижением частоты. Затем сигнал преобразуется с понижением частоты, проходит через фильтр разрешения по полосе пропускания, детектируется и отображается на экране. Одновременно местный гетеродин (LO) непрерывно перестраивается в пределах частотного диапазона.

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению



► **Рис. 8.** При использовании анализатора спектра с разверткой продолжительные интервалы времени остаются без анализа, а векторный анализатор сигналов не позволяет обнаруживать спектральные изменения в промежутке между записанными сигналами. Анализатор спектра в реальном масштабе времени способен обнаруживать изменения в сигнале перед записью, что обеспечивает возможность синхронизации по важным спектральным событиям и записи сигнала для подробного анализа и исключает неучтенные периоды. Это крайне важно для надежной регистрации импульсов РЛС, которые могут быть слабее окружающих сигналов, что характерно для сложных условий электронной войны.

В более современном векторном анализаторе сигналов (VSA) сигнал также преобразуется с понижением частоты, но частота местного гетеродина изменяется ступенями. Непрерывное отображение частот достигается путем оцифровки сигнала во временной области по сегментам, соответствующим промежуточной частоте прибора на каждом шаге изменения частоты внутреннего гетеродина. Затем данные сохраняются в памяти векторного анализатора и преобразуются в частотную область с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ), после чего спектр отображается на экране.

Многие элементы блок-схемы анализатора спектра в реальном масштабе времени совпадают с элементами блок-схем обычного анализатора с разверткой и векторного анализатора, однако между ними имеются существенные различия.

Самые важные различия между анализатором спектра в реальном масштабе времени и другими современными анализаторами с применением БПФ состоит в наличии оборудования для цифровой обработки сигнала в реальном масштабе времени. В других анализаторах такое оборудование отсутствует. Благодаря этому оборудованию, анализаторы спектра в реальном масштабе времени обладают совершенно новыми возможностями захвата и анализа сигналов. Познакомимся с ними поближе...

Анализатор спектра с разверткой не осуществляет непрерывный анализ во всем диапазоне входного сигнала. Во время развертки частотного диапазона для анализа доступна только узкая полоса пропускания, только на той частоте, на которую в данный момент настроен анализатор. Таким образом многие спектральные составляющие

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

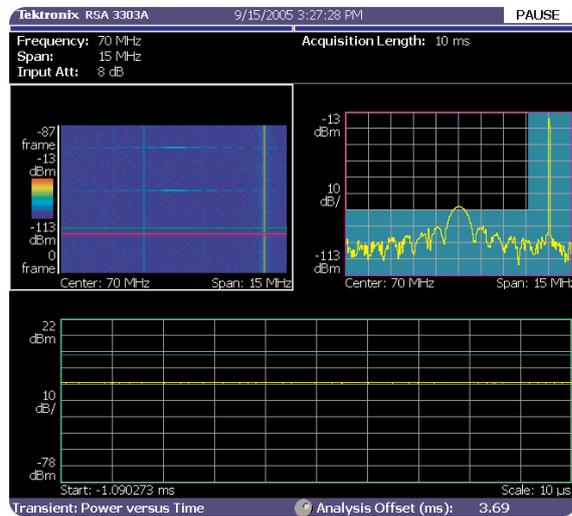
► Инструкция по применению

остаются необнаруженными до тех пор, пока их не достигнет частотная полоса анализа. Если исследуется нестационарный сигнал, он может быть полностью пропущен. Проблема усложняется еще и тем, что во время обратного хода развертки сигнал не анализируется, и положение обратного хода по отношению к исследуемому сигналу не определено.

Несложная синхронизация на уровне промежуточной частоты, имеющаяся в векторных анализаторах сигнала, может пропустить важные события в частотной области сигнала из-за сложных условий фонового спектра.

В анализаторе спектра в реальном масштабе времени, как и в векторном анализаторе, сохраняются для анализа и отображения записи сигналов, дискретизированных по времени. Но, в отличие от других анализаторов, в анализаторе спектра в реальном масштабе времени над входным сигналом непрерывно производится преобразование БПФ, вычисляемое в реальном масштабе времени. При обнаружении спектрального события запись данных для последующего анализа синхронизируется по БПФ в реальном масштабе времени, что позволяет не пропустить указанное событие. Таким образом анализаторы спектра в реальном масштабе времени обладают уникальной возможностью непрерывного просмотра спектра на входе, поиска нужных событий и надежного захвата их для анализа. Возможность вычисления БПФ в реальном масштабе времени обеспечивает стопроцентную вероятность обнаружения и захвата нестационарных импульсов, характерных для радиолокаторов, средств электронной войны и электронной разведки.

Кроме того, на анализаторах спектра в реальном масштабе времени Tektronix устанавливается уникальное программное обеспечение для измерений импульсных сигналов. Пакет Pulse Measurement Suite, поставляемый в составе программного обеспечения Advanced Measurements, обеспечивает разнообразные автоматизированные измерения импульсных сигналов. Благодаря этому программному обеспечению анализаторы спектра в реальном времени могут заменить прежние



► **Рис. 9.** Функция синхронизации по частотной маске, предусмотренная в анализаторе спектра в реальном масштабе времени, позволяет четко регистрировать импульс РЛС, получаемый от приемника с ПЧ 70 МГц. Уровень импульса существенно ниже уровня утечки гетеродина преобразователя с понижением частоты, отображаемого рядом с ПЧ.

измерительные приборы (анализаторы с разверткой, векторные анализаторы и анализаторы модуляции) и существенно расширить возможности углубленного исследования сигналов при диагностике.

Прежде чем приступать к анализу сигнала и диагностике, необходимо сделать запись исследуемого сигнала. Итак, рассмотрим технологию, позволяющую анализаторам спектра в реальном масштабе времени захватывать события, которые пропускают другие анализаторы.

Запись радиолокационных сигналов

Уникальные средства цифровой обработки сигналов, имеющиеся в анализаторах спектра в реальном масштабе времени, позволяют в реальном масштабе времени преобразовывать выборки осциллограмм во временной области в спектральную область. Уникальные функции, такие как разработанная компанией Tektronix и защищенная патентом синхронизация по частотной маске (Frequency Mask Trigger — FMT) позволяет надежно захватывать трудноуловимые радиолокационные импульсы или частотные аномалии в сложных средствах ведения электронной войны в реальной спектральной обстановке.

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению



► Рис. 10. Упрощенная блок-схема анализатора спектра в реальном масштабе времени — оцифровка ПЧ и цифровая обработка данных. Благодаря высокой частоте дискретизации анализатор RSA3408A обеспечивает разрешение по времени 20 нс или ширину полосы пропускания в реальном масштабе времени 36 МГц.

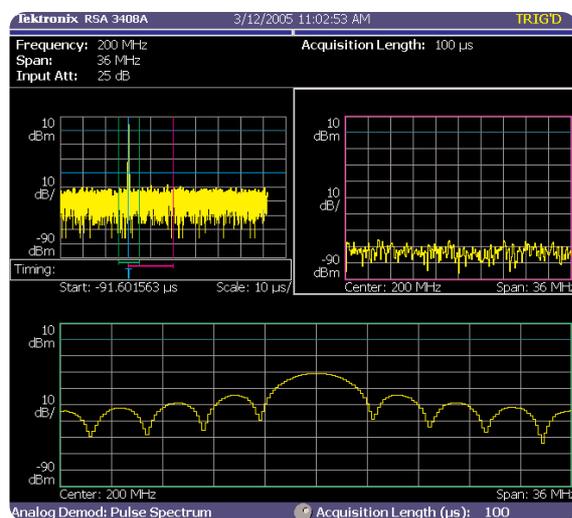
Для захвата исследуемых импульсов прежде всего необходимо с помощью меню синхронизации настроить синхронизацию по частотной маске. В анализаторах спектра в реальном времени имеется типичный набор функций синхронизации: внешняя, по мощности (уровень ПЧ), захват однократных событий, а также синхронизация по частотной маске.

Для установки над сигналами, не представляющими интереса, сложной частотной маски достаточно двойным щелчком кнопки мыши добавить точку и растянуть маску до заданного места. Во избежание ложных срабатываний синхронизации можно установить маску немного выше уровня шума. После настройки частотной маски захват запускается по всем спектральным событиям, выходящим за пределы маски.

В радиолокаторах уровень нестационарного эхо-импульса часто оказывается существенно ниже уровня посторонних спектральных сигналов от близлежащих источников. В этом случае синхронизация на промежуточной частоте становится ненадежной. Однако синхронизация по частотной маске позволяет сравнивать спектр входного сигнала с маской синхронизации и обнаруживать даже слабые аномалии сигнала.

Надежный поиск импульсов имеет большое значение, но после того как они найдены надо учитывать и другие факторы, способные повлиять на четкость отображения и точность зафиксированных данных.

Просматривая блок-схему прибора RSA3408A, можно заметить, что сигнал промежуточной частоты полностью преобразуется в цифровую



► Рис. 11. Благодаря высокой частоте дискретизации анализатор RSA3408A можно использовать для регистрации очень узких импульсов РЛС. При использовании особого режима отображения спектра импульсов хорошо видны импульсы, слишком узкие для просмотра в обычном режиме отображения спектра.

форму с помощью быстродействующего аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Анализатор RSA3408A обеспечивает захват сигналов с полосой частот 36 МГц. В режимах отображения мощности по времени, при оптимизации фильтров для измерений во временной области, анализатор RSA3408A обеспечивает разрешение 20 нс. Это позволяет анализировать очень короткие импульсы и подробно исследовать их форму.

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению

Выборки входного сигнала по времени, собираемые анализатором, делаются с частотой, по меньшей мере вдвое превышающей исследуемую частоту (частоту Найквиста), во избежание проявления наложения сигналов.

Выборки по времени группируются в кадры данных. Каждый кадр содержит набор данных, необходимый для выполнения БПФ.

Поскольку на краях кадра данные не продолжаются, как в исходном дискретизированном сигнале до образования кадра, появляется искусственный разрыв. При переходе из временной области в частотную этот разрыв вызывает расширение спектра. Фактически сам кадр становится своеобразным «импульсом». Чтобы свести к минимуму влияние этих разрывов, амплитуда данных выборки по времени масштабируется с помощью функции окна, причем на краях кадра амплитуда выборки уменьшается до нуля. В анализаторе спектра в реальном времени применяются различные широко известные функции окна, например окна Хеннинга, Хэмминга, Блэкмена, Блэкмена-Харриса, Парзена, Уэлша и другие.

После масштабирования данных кадра функцией окна вычисляется БПФ; в результате данные преобразуются из представления амплитуда-время в представление амплитуда-частота. При БПФ выполняются вычисления с данными для определения амплитуды каждой частотной составляющей или «группы».

При выполнении БПФ предполагается, что в пределах кадра данных сигнал непрерывен. Разрывы или импульсы длиной менее одного кадра могут вызвать ошибки в отображении амплитуды или спектра. Сигналы продолжительностью менее полной длины кадра отображаются с пропорциональным уменьшением амплитуды по сравнению с сигналами, занимающими весь кадр. Это явление затрудняет анализ радиолокационных импульсов. Что еще хуже, нестационарные импульсы, попавшие на край кадра, подвергаются дополнительному уменьшению амплитуды и даже полностью подавляются функцией окна. В результате могут возникнуть значительные ошибки измерения.

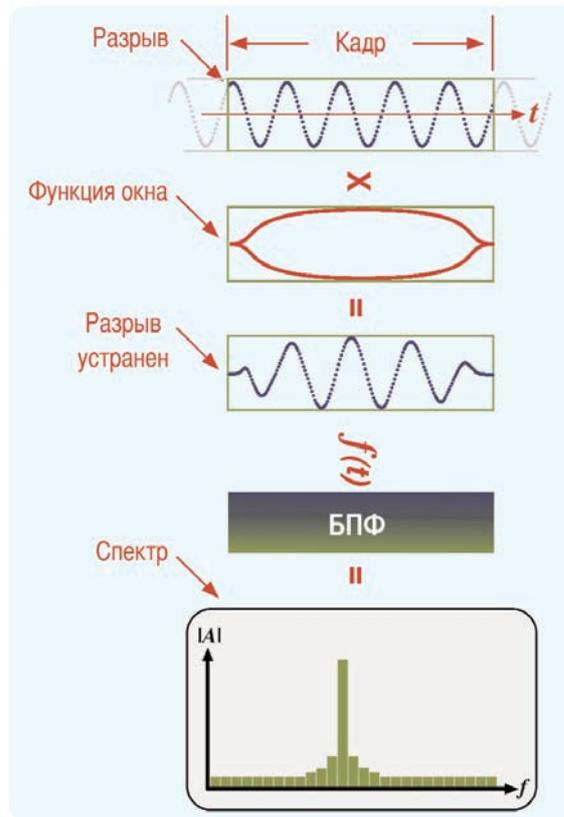


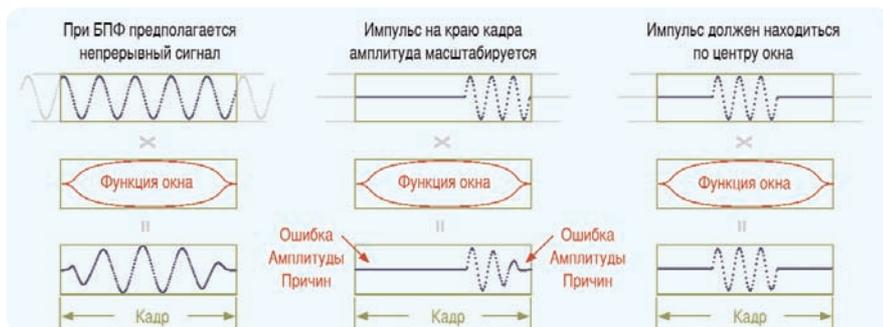
Рис. 12. Использование функции окна БПФ позволяет устранить краевые эффекты, вызванные разрывами при обрезании сигнала по краям временного интервала.

Самые точные результаты БПФ для импульсных сигналов достигаются в тех случаях, когда середина импульса совпадает с центром кадра, а длительность импульса примерно равна длине кадра. Фактически при этом данные импульсного сигнала становятся больше похожими на данные непрерывного сигнала.

В режиме «спектр импульса» анализатор RSA3408A автоматически центрирует импульс в кадре, чтобы уменьшить погрешности измерения. Но если длительность импульса, меньше полной длины кадра, импульс отображается с уменьшенной амплитудой. Однако при правильном центрировании импульса предотвращается появление ошибок, вносимых функцией окна. Эта функция, имеющаяся только в анализаторах спектра в реальном масштабе

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению



► **Рис. 13.** В процедуре БПФ предполагается, что сигнал в кадре является непрерывным. Большие различия в амплитуде сигнала в кадре и масштабирование функцией окна могут привести к ошибкам амплитуды. Некоторых из этих ошибок можно избежать, поместив импульс в середине окна, как это делается в анализаторе спектра в реальном масштабе времени.

времени, предназначена для повышения точности измерения радиолокационных сигналов. Кроме того, она действует в реальном времени, что позволяет устранить известную проблему, связанную с тем, что при каждой выборке отображаются разные части спектра для импульсов, находящихся в пределах 36-МГц полосы пропускания анализатора RSA3408A в реальном масштабе времени. Кроме того, анализатор спектра в реальном масштабе времени позволяет пользователю определять окно БПФ с целью дальнейшего повышения качества измерений.

В анализаторе спектра в реальном масштабе времени имеется возможность перекрытия кадров БПФ, что позволяет рассматривать детали спектра, не выявляемые анализаторами, не оптимизированными для обработки нестационарных сигналов.

К сожалению, узкие радиолокационные импульсы часто целиком умещаются в одной линии данных спектрограммы. Это существенно затрудняет интерпретацию полезной информации, содержащейся в обычной спектрограмме радиолокационного сигнала.

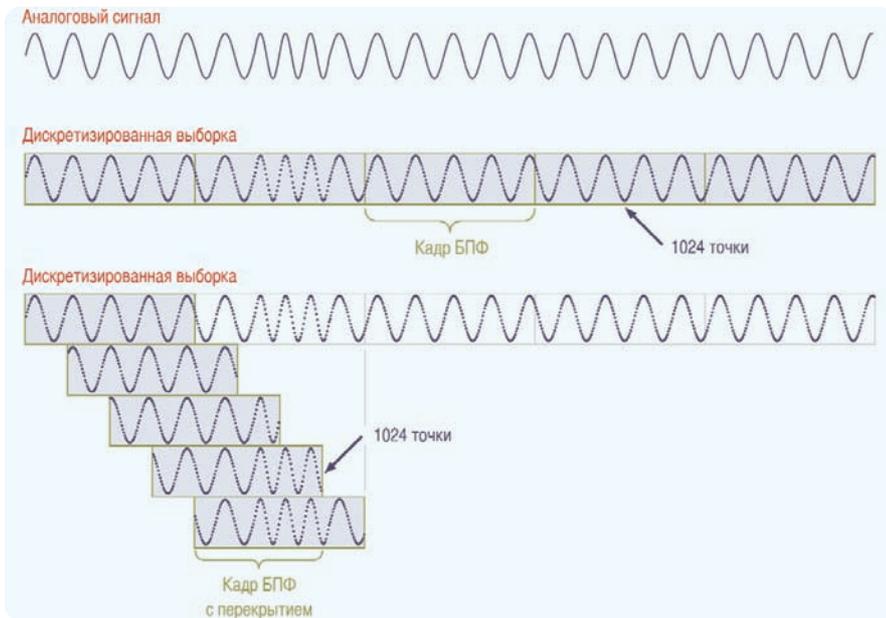
Анализатор спектра в реальном масштабе времени позволяет разделить избыточные наложенные

кадры БПФ. Это создает эффект, аналогичный растяжению спектрограммы во времени и позволяет более детально отображать сигнал. БПФ с перекрытием может быть отчасти полезно в операциях электронной разведки, когда важнее всего быстро расшифровать природу радиолокационных импульсов. Например, в военноморском флоте требуется быстро определять, принадлежит ли радиочастотный импульсный сигнал радиолокатору наведения ракетной установки или это дальнедействующий радиолокатор со сжатием импульсов, позволяющим устранить неоднозначность по дальности. БПФ с перекрытием позволяет быстро обеспечить визуальное распознавание радиолокационных импульсов.

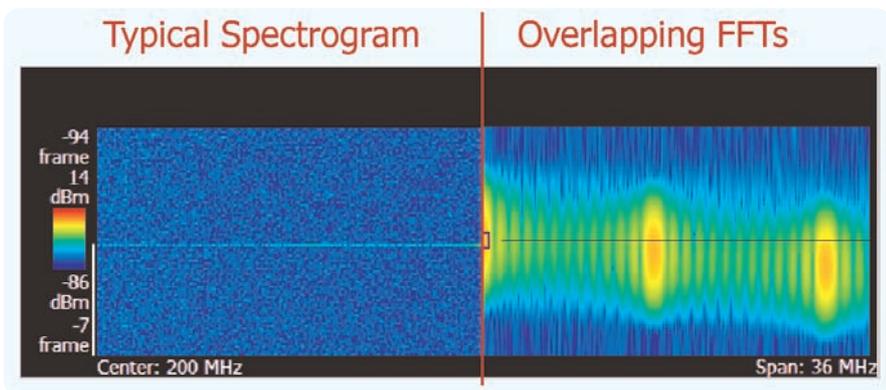
Аналогичным образом БПФ с перекрытием позволяет улучшить вид спектра на экране, поскольку информация, содержащаяся в импульсе, проходит через ряд перекрывающихся кадров. Благодаря перекрытию кадров, отображение спектра сглаживается, улучшается детализация и плавность воспроизведения.

Кроме того, при работе с перекрытием импульс занимает разные места в кадре, что обеспечивает правильное представление амплитуд спектра

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени
► Инструкция по применению



► **Рис. 14.** Аналоговый входной сигнал регистрируется в виде записи с дискретизацией по времени. Затем запись анализируется и распределяется по кадрам, состоящим из 1024 отсчетов, для перевода в частотную область с помощью БПФ. В анализаторе спектра в реальном масштабе времени предусмотрена возможность наложения кадров с целью создания дополнительных кривых БПФ для более подробного анализа.



► **Рис. 15.** На обычной спектрограмме зачастую отображается недостаточно подробностей. БПФ с перекрытием позволяет растянуть временную шкалу для просмотра таких характеристик, которые большинству инженеров видеть не приходилось.

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению

и позволяет избежать неправильной интерпретации, связанной с влиянием окна при неудачном расположении единственного кадра.

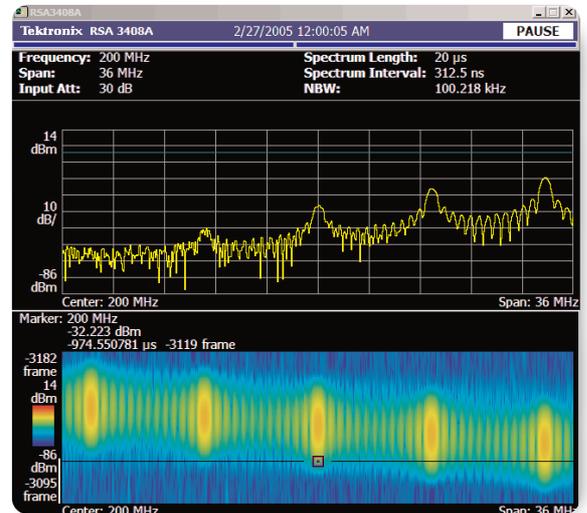
Следует заметить, что, как показано на рис. 16, в этом случае из-за БПФ с перекрытием отдельные последовательные события сигнала выглядят растянутыми во времени, и кажутся в значительной степени совмещенными. Возможность растяжения во времени позволяет существенно улучшить отображение кратковременных нестационарных процессов, так как они также растягиваются или накладываются во времени.

В анализаторах спектра в реальном масштабе времени имеется еще одна функция, позволяющая улучшить отображение — масштабирование. При записи сигналов зачастую выгодно использовать возможно более широкий диапазон частот. Это позволяет пользователю просматривать проблемные сигналы в более широком спектре.

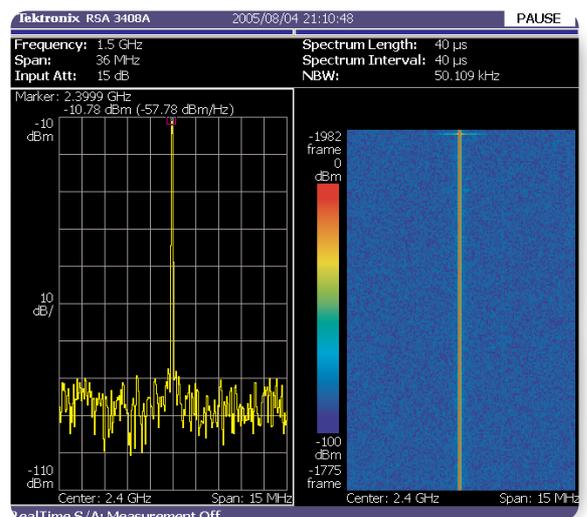
Поскольку количество пикселей экрана по горизонтали ограничено, полоса шумов каждого отсчета БПФ или частотной составляющей устанавливается в соответствии с имеющимся количеством пикселей. Например, если для диапазона частот 15 МГц имеется 600 спектральных составляющих, ширина каждого частотного отсчета БПФ составляет 25 кГц. Эта величина эквивалентна разрешению частотного маркера. В вертикальной ориентации (см. рис. 17) возможно отображение 300 частотных отсчетов с разрешением 50,109 кГц.

Точная величина полосы шумов зависит от типа окна и настройки частотного диапазона анализатора спектра в реальном масштабе времени. Если выбрано окно Блэкумена-Харриса 4В, ширина полосы шумов вдвое превосходит ширину частотного отсчета.

Зачастую желательно вести поиск сигналов в расширенном диапазоне, однако при этом увеличивается ширина полосы шумов и возрастает минимальный уровень шумов на экране спектра, поскольку суммарная мощность сигнала, поступающего на детектор, увеличивается. При этом уменьшается возможность просмотра



► Рис. 16. БПФ с перекрытием обеспечивает высокую надежность представления импульсов РЛС со скачкообразной перестройкой частоты.



► Рис. 17. Анализатор спектра в реальном масштабе времени исследует спектр сигнала местного гетеродина для выявления потенциальных паразитных сигналов в диапазоне 15 МГц.

сигналов низкого уровня с помощью анализатора. Для выявления паразитных сигналов, которые могут оказаться скрытыми в широком частотном диапазоне, в анализаторах спектра в реальном масштабе времени имеется удобная функция масштабирования спектрограммы. Функция масштабирования включается перетаскиванием

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению

указателя по интересующей части спектрограммы. Диапазон частот, центральная частота и полоса шумов автоматически настраиваются так, чтобы обеспечить детальное отображение связанного с ними спектра. Поскольку в режиме масштабирования используется только часть диапазона частот, полоса шумов становится уже, вследствие чего снижается отображаемый усредненный уровень шумов анализатора.

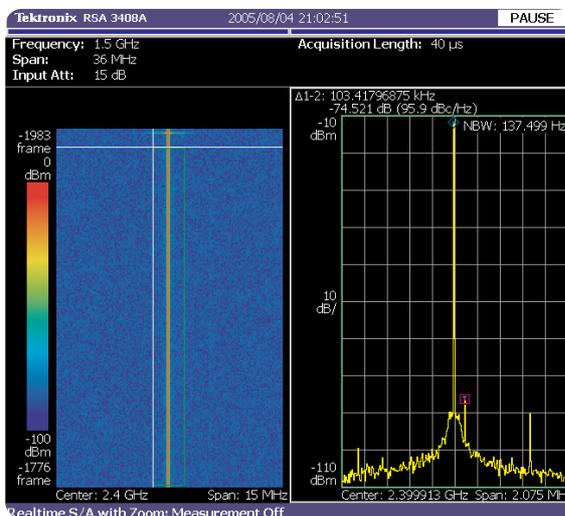
Функция масштабирования позволяет быстро исследовать строение спектрограммы с максимальным возможным разрешением анализатора, не прибегая к повторной выборке сигнала.

Способность анализатора спектра в реальном масштабе времени непрерывно захватывать данные и с помощью цифровой обработки преобразовывать их с не имеющим аналогов уровнем детализации позволяет получить исходный материал для быстрых и подробных исследований. Высокий уровень детализации — только часть возможностей этого мощного средства диагностики; большое значение имеет и способность определения характеристик отображаемого сигнала.

Анализ радиолокационных сигналов

Благодаря новейшему программному пакету для измерения импульсных сигналов, входящий в состав анализатора спектра в реальном масштабе времени и средствам синхронного отображения в нескольких областях обеспечиваются лучшие в отрасли возможности анализа радиолокационного сигнала.

В пакет для измерения импульсных сигналов входят разнообразные средства автоматизированных измерений, предназначенные для определения характеристик радиолокационных сигналов. Измерительное программное обеспечение делает анализ радиолокационных сигналов таким же быстрым и удобным, каким давно уже стало обращение со многими массовыми потребительскими радиоустройствами. Кроме того, оно дешевле специализированных анализаторов импульсов



► **Рис. 18.** Масштабирование спектрограммы — уникальная функция анализатора спектра в реальном масштабе времени, которая позволяет сэкономить время, поскольку автоматически настраивает диапазон частот, центральную частоту и ширину полосы шумов для максимально подробного отображения сигнала.

военного образца, предназначенных для электронной разведки.

Благодаря применению средств синхронного отображения в нескольких областях обеспечивается быстрое определение характеристик отдельных импульсов. Анализатор спектра с обработкой в реальном времени, оснащенный пакетом для измерения импульсных сигналов, может заменить некоторые из обычных средств измерения.

Чтобы проиллюстрировать возможности пакета для измерения импульсных сигналов, рассмотрим для начала простое измерение некоторых типичных характеристик импульса, упомянутых в данной инструкции по применению.

Чтобы выполнить основные измерения импульсных сигналов на анализаторе RSA3408A, переведите его в режим Time (Время) и выберите нужное измерение с помощью программируемой экранной кнопки. Чтобы активировать нужные измерения импульсных сигналов, следует нажать клавишу View Define (Задать представление), а затем — экранную кнопку Display Measurements (Вывод измерений).

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

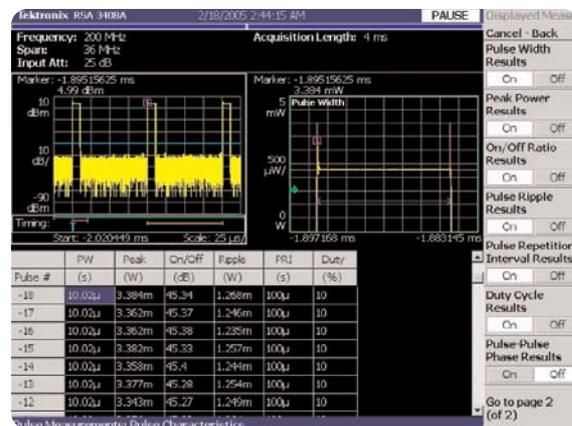
► Инструкция по применению

Анализатор спектра в реальном масштабе времени позволяет производить, с отображением результата в графическом виде, измерения длительности импульса, пиковой мощности, соотношения импульса и паузы, пульсации импульса, интервала повторения импульсов, скважности, фазы между импульсами, мощности канала, занимаемой полосы частот, эффективной полосы частот и девиации частоты.

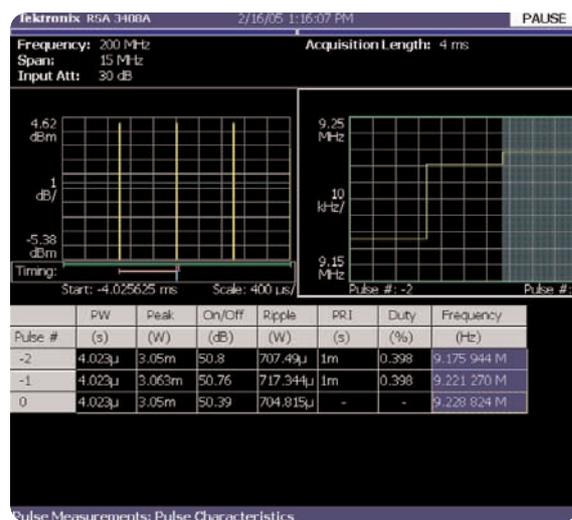
Поскольку в одной записи может быть захвачено несколько импульсов, анализатор спектра в реальном масштабе времени автоматически проводит измерение каждого импульса, присваивает ему номер и выводит на экран таблицу результатов измерений. В анализаторе спектра в реальном масштабе времени имеются средства синхронного отображения. При выборе импульса в таблице он автоматически помечается маркером на осциллограмме изменения мощности по времени. Аналогичные маркеры соответствуют на обзорной спектрограмме номерам импульсов, с которыми связаны особенности спектрограммы.

Пакет для измерения импульсных сигналов не только предоставляет табличные данные для всех измерений импульсов, но и обеспечивает графическое представление. Графическое представление помогает провести углубленную диагностику путем выявления трендов.

Например, возможен дрейф частоты передатчика радиолокатора по мере его прогрева. В помощью клавиш View Select (Выбрать представление) и View Define (Задать представление) можно отобразить в графическом виде измерения частоты для каждого импульса и обнаружить дрейф по нескольким импульсам. Такие измерения могут не только помочь конструкторам и изготовителям радиолокаторов, но и предоставить ценную информацию специалисту по электронной войне или электронной разведке. Подробный анализ трендов сигнала может подтвердить сведения о типе исследуемого излучателя.



► Рис. 19. Пакет для измерения импульсных сигналов, поставляемый в комплекте с анализатором спектра RSA3400A, может использоваться для автоматического выполнения распространенных измерений параметров импульсов.



► Рис. 20. Пакет для измерения импульсных сигналов обеспечивает представление данных как в табличном, так и в графическом виде.

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению

Анализ нескольких импульсов

Анализатор спектра в реальном масштабе времени можно также применить для измерения нескольких импульсов. Одним из примеров может послужить парный импульс, который обычно используется для проверки характеристик радиолокационных приемников. Два близких импульса (парный импульс) имитируют эхо-сигнал от двух близко расположенных целей. Парные импульсы хорошо подходят для проверки разрешающей способности радиолокационных приемников. Генераторы сигналов, например AWG710B, вырабатывают парные импульсы с различными параметрами для проверки радиолокационных приемников.

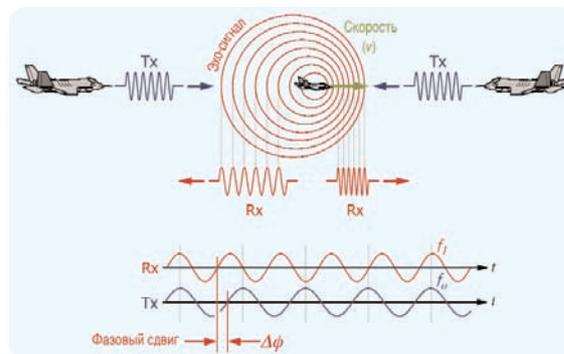
Источник сигналов AWG710B обеспечивает частоту выборки 4,2 Гвыб/с при разрешении восемь бит, что позволяет достигнуть скорости и качества сигналов на уровне мировых образцов. Высокая частота выборки позволяет осуществлять прямой ввод сигнала в порты промежуточной частоты многих радиолокационных систем и средств электронной войны и электронной разведки, рассчитанные на частоту 1,0 ГГц. Кроме того, в источнике сигнала AWG710B имеется интерфейс графического формирования сигнала и формирователь последовательности. Эти средства позволяют быстро создавать сложные испытательные сигналы для радиолокаторов и средств электронной войны.

Прибор AWG710B завершает серию средств для испытания радиолокаторов, выпущенных корпорацией Tektronix. Он не только обеспечивает подачу парных импульсов, но и позволяет генерировать сигналы для имитации сложных условий электронной войны. Анализаторы спектра в реальном масштабе времени позволяют проверять параметры парного импульса и наблюдать их ухудшение, вызванное прохождением через приемник.

Например, еще один способ применения парных импульсов для диагностики — измерение фазового сдвига между импульсами, проходящими через приемник. В некоторых радиолокационных приемниках фазовый сдвиг используется для измерения скорости цели.



► Рис. 21. Прибор AWG710B может использоваться для генерации сложных радиолокационных сигналов, предназначенных для наблюдения и измерения с помощью анализатора спектра RSA3408A.



► Рис. 22. Относительное движение объектов является причиной доплеровского сдвига в эхо-импульсах радиолокатора; величина сдвига частоты зависит от положения. Разность частот передаваемого и получаемого сигналов можно просмотреть в виде суммарного фазового сдвига.

При движении цели возникает доплеровский сдвиг частоты между излучаемым и принимаемым импульсами. Доплеровский сдвиг можно рассматривать как накопленный фазовый сдвиг между излучаемым и принимаемым сигналами. Периодические измерения фазового сдвига между излучаемой и принимаемой частотами позволяют быстро определить относительную скорость.

Таким образом, для точного измерения скорости необходимо поддерживать стабильность фазового сдвига в приемнике при изменении амплитуды эхо-сигнала. К сожалению, многие компоненты цепей радиолокационного приемника проявляют нелинейные свойства, приводящие, например, к преобразованию амплитудной модуляции в фазовую (AM/ФМ), что может создать

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению

нежелательные фазовые сдвиги при изменении амплитуды эхо-сигнала. Эти нежелательные фазовые сдвиги интерпретируются как погрешности измерения скорости.

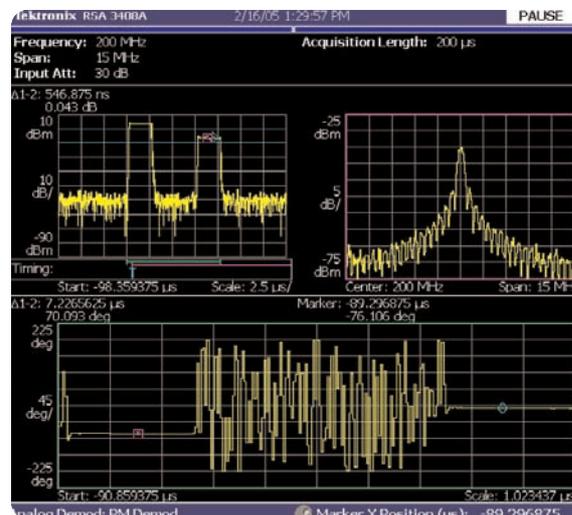
Порядок определения фазовой стабильности приемника с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени достаточно прост. Сначала приемник радиолокатора имитируется когерентным парным импульсом различной амплитуды, подаваемым с генератора сигналов AWG710B. Затем наблюдается разность фаз между двумя импульсами на выходе цепей приемника. В режиме отображения фазовой демодуляции, выбираемом в меню демодуляции, на анализаторе RSA3408A отображается графическая зависимость фазы каждого импульса от времени. Разность фаз для неподвижной цели должна равняться нулю в широком диапазоне амплитуд парного импульса. При недостаточной фазовой стабильности может потребоваться применение компонентов с более широким динамическим диапазоном.

Анализ сжатия импульсов

Для дальнейшей иллюстрации возможностей анализатора спектра в реальном масштабе времени и пакета для измерения импульсных сигналов рассмотрим задачу измерения сжатых радиолокационных импульсов.

Сжатие радиолокационных импульсов осуществляется путем их модуляции. Сжатие импульсов применяется во многих радиолокаторах для увеличения дальности и улучшения разрешения. Как уже было указано ранее, устанавливается компромисс между улучшением разрешения с помощью укорочения импульсов и увеличением дальности с помощью удлинения импульсов. Сжатие импульсов позволяет одновременно увеличить и дальность и разрешение. Модуляция импульса позволяет разделять перекрывающиеся импульсы. Таким образом, можно использовать более длинные импульсы с большей энергией, не жертвуя разрешением.

Существует много различных схем сжатия импульсов и видов модуляции. Как правило, для сжатия импульсов применяется либо частотная, либо фазовая модуляция, а амплитуда импульса остается неизменной.



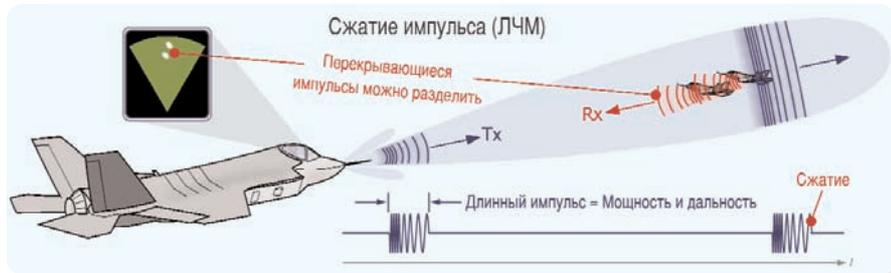
► Рис. 23. Отображение парного импульса во временной, частотной и фазовой областях. Фазовый сдвиг между импульсами может служить показателем нелинейности.

Наиболее широко используется линейная частотная модуляция (ЛЧМ) — сигнал с линейной пилообразной модуляцией по частоте. В приемнике эхо-сигналы с ЛЧМ пропускаются через специальный фильтр, задерживающий во времени низкие частоты относительно высоких частот. В результате импульс сжимается, то есть становится короче во времени. Широкие перекрывающиеся импульсы после фильтра разделяются.

При определении характеристик сжатых радиолокационных импульсов добавляется задача демодуляции импульсов. Имеющиеся в анализаторах спектра в реальном масштабе времени средства отображения в нескольких областях позволяют анализировать модуляцию сжатых импульсов наряду с обычными измерениями импульсов. Например, импульс с ЛЧМ можно одновременно просматривать в области отображения изменений мощности во времени, в области частотной модуляции и в режиме измерения импульсного сигнала. Это позволяет без труда проверять линейность ЧМ, длительность импульса, скважность и девиацию частоты. Еще больше упрощает диагностику возможность синхронизированного отображения. Если поместить маркер на один из импульсов,

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению

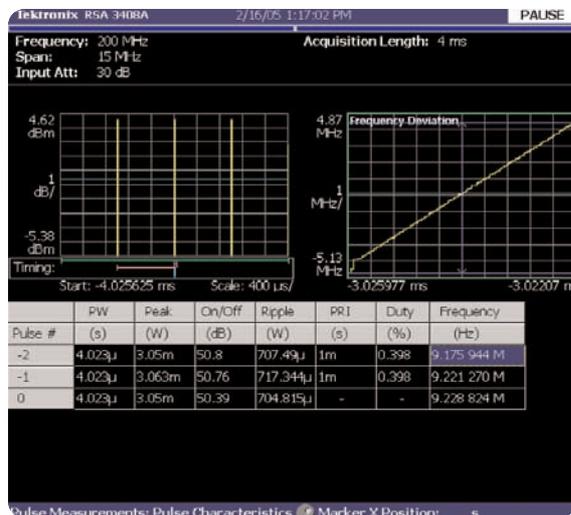


► **Рис. 24.** Сжатие импульсов (модуляция каждого импульса) обеспечивает разделение перекрывающихся эхо-сигналов, что позволяет использовать более широкие импульсы для увеличения дальности действия, а также разделять эхо-сигналы для увеличения разрешения.

соответствующие маркеры появляются в областях отображения мощности по времени и модуляции.

Аналогичным образом анализатор спектра в реальном масштабе времени позволяет исследовать ступенчатое изменение частоты в пределах импульса. Если выбран режим ЧМ-демодуляции, скачкообразные изменения частоты в пределах импульса становятся ясно видными. Обнаруживается даже незначительный «звон» — в виде переходов системы ФАПЧ на соседнюю частоту. При таком уровне детализации диагностика цепей генерации импульса существенно упрощается.

Анализатор RSA3408A позволяет также анализировать сжатые радиолокационные импульсы с фазовой модуляцией. Для этого достаточно перевести прибор в режим аналоговой демодуляции и выбрать фазовую демодуляцию. Для захвата и записи импульсов в сложной спектральной обстановке устанавливается синхронизация по частотной маске. После записи отображается демодулированный сигнал в виде изменения фазы во времени, на котором просматриваются отдельные переходы. Этот режим имеет большое значение при исследовании многих современных радиолокационных систем, в которых для разделения перекрывающихся импульсов и устранения неоднозначности по дальности применяется двухпозиционная фазовая манипуляция с ортогональным цифровым кодированием.



► **Рис. 25.** Измерения параметров импульсов, сжатых с использованием линейной частотной модуляции, позволяют выявить нелинейность в начале импульса.

Существует много сложных схем сжатия импульсов, и анализаторы спектра в реальном масштабе времени обладают достаточной универсальностью, чтобы обеспечить для них нужные измерения. Пакет для измерения импульсных сигналов и средства синхронного анализа в нескольких областях позволяют существенно упростить диагностическую отладку радиолокаторов со сложными сигналами в проектной лаборатории или на заводском испытательном стенде.

Кроме того, анализаторы спектра в реальном масштабе времени обеспечивают ряд уникальных преимуществ в случае работы с программируемыми радиолокационными системами.

Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению

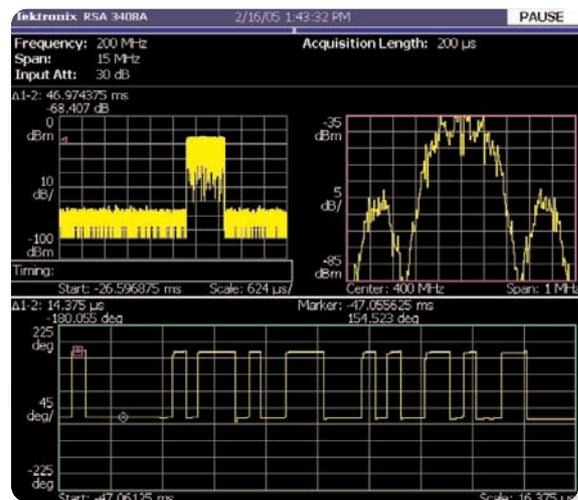
Исследование и разработка современных радиолокаторов

В новейших радиолокаторах используются некоторые возможности цифровой обработки сигналов. В системах, в которых применяются как аналоговые компоненты, так и средства цифровой обработки сигналов, как правило, возникают типичные проблемы, связанные с объединением программного обеспечения и оборудования. Несмотря на применение сложных средств разработки программного обеспечения, одновременная отладка средств цифровой обработки сигналов, работающих на новом смешанном оборудовании, остается неэффективным процессом. Из-за невозможности испытать программное обеспечение совместно с заведомо исправным радиочастотным оборудованием появляется неуверенность относительно того, связаны ли неполадки с оборудованием или с программным обеспечением. Приборы AWG710B и RSA3408A обеспечивают уникальный способ решения этой проблемы.

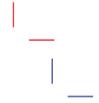
Генератор AWG710B способен вырабатывать сложные радиолокационные сигналы и функционировать как заведомо исправный источник импульсов малой мощности. Кроме того, он может генерировать такие же сигналы на промежуточной частоте радиолокатора для запуска повышающего преобразователя частоты и усилителя мощности современного радиолокатора. Аналогичным образом анализатор спектра в реальном масштабе времени предоставляет пользователю доступ к выборкам данных I-Q, функционируя как заведомо исправный приемник и преобразователь данных в цифровую форму. На такой виртуальной радиолокационной системе можно испытывать программное обеспечение, причем вопрос о неполадках оборудования не возникает.



► Рис. 26. Анализатор спектра в реальном масштабе времени используется для измерения импульса РЛС с пятикратным скачкообразным изменением частоты. Маркеры показывают длительность скачков, которая составляет 1,6 мкс.



► Рис. 27. Исследование фазовых переходов величины 180° в двухфазном модулированном сжатом импульсном сигнале.



Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению

Доступ к записям данных I-Q можно получить через порт ЛВС анализатора RSA3408A или непосредственно считывать с аналого-цифрового преобразователя (АЦП) необработанные данные I-Q в реальном масштабе времени с помощью специального дополнительного оборудования. В обоих случаях обеспечивается экспорт данных в программные демодуляторы для подробного анализа и разработки алгоритма.

Таким образом можно даже проверить сложные идеи в области цифровой радиолокации без разработки дорогостоящего оборудования. С помощью генератора произвольных сигналов AWG710B, анализатора RSA3408A и компьютера можно создать экспериментальную радиолокационную систему, ограничившись только разработкой программного обеспечения. Устранение необходимости в проверке радиочастотного оборудования и возможность сосредоточиться только на программном обеспечении позволяет сократить время разработки.

Кроме того, анализатор RSA3408A может функционировать в качестве интерфейсной части пассивных бистатических радиолокаторов. Применение RSA3408A позволяет разработчикам пассивных радиолокаторов сосредоточить усилия на сложной вычислительных проблемах, не теряя драгоценное время на разработку специального радиочастотного оборудования.

Пользователи в военной и коммерческой областях, работающие в условиях высокой секретности, по достоинству оценят тот факт, что для поддержания секретности данных приборы AWG710B и RSA3408A оснащены съемными жесткими дисками.



Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени

► Инструкция по применению

Закключение

Для определения характеристик сложных радиолокационных сигналов обычно требовались тщательно разработанные испытательные стенды. Нестационарная природа радиолокационных импульсов в сочетании с современными схемами сжатия импульсов может существенно усложнить захват и точный анализ подобных сигналов. Анализаторы спектра в реальном масштабе времени оптимизированы для обработки таких нестационарных радиолокационных сигналов.

Синхронизация по частотной маске позволяет анализаторам спектра в реальном масштабе времени надежно захватывать радиолокационные импульсы в самой сложной спектральной обстановке, характерной для электронной войны. Функции БПФ с перекрытием, автоматического центрирования импульса в кадре и масштабирования спектрограммы позволяют анализаторам спектра в реальном масштабе времени получать детальные изображения радиолокационных импульсов.

Пакет для измерения импульсных сигналов обеспечивает широкие возможности автоматического определения характеристик импульсов в интересах специалистов по радиолокации, электронным войнам и электронной разведке. Программное обеспечение для измерения импульсов позволяет автоматически выполнять многие типичные измерения

и сопрягается со средствами синхронизированного отображения в нескольких областях.

Автоматизация измерений позволяет сократить время настройки, а отображение в нескольких областях обеспечивает углубленную диагностику; таким образом ускоряется отладка радиолокационных систем и обеспечивается надежность принимаемых диагностических решений.

Перекрывая диапазон от простых измерений длительности импульса до демодуляции сложных импульсов со скачкообразной перестройкой частоты, анализаторы спектра в реальном масштабе времени обеспечивают новый уровень возможностей измерений и испытаний и служат эффективной заменой обычных анализаторов. Быстрые автоматические измерения импульсов с помощью анализаторов спектра в реальном масштабе времени служат гарантией эффективности при разработке продуктов, производстве и техническом обслуживании. Возможность экспорта данных I-Q из анализатора RSA3408A идеально подходит для применения этого прибора в разработке цифровых радиолокаторов или использования его для проверки идей. Кроме того, анализатор RSA3408A выпускается в виде портативного измерительного прибора, удобного при отладке радиолокаторов, установленных на подвижных носителях или в отдаленных местах.



Измерения импульсов РЛС с помощью анализатора спектра в реальном масштабе времени
▶ Инструкция по применению



Как связаться с корпорацией Tektronix:

АСЕАН, Океания, Пакистан (65) 6356 3900
Австрия +41 52 675 3777
Балканский полуостров, Израиль,
Южная Африка и юг Восточной Европы +41 52 675 3777
Бельгия 07 81 60166
Бразилия и Южная Америка 55 (11) 3741-8360
Канада 1 (800) 661-5625
Центр Восточной Европы, Украина, Прибалтика +41 52 675 3777
Центральная Европа и Греция +41 52 675 3777
Дания 80 88 1401
Финляндия +41 52 675 3777
Франция и Северная Африка 33 (0) 1 69 86 81 81
Германия +49 (221) 94 77 400
Гонконг (852) 2585-6688
Индия (91) 80-22275577
Италия +39 (02) 25086 1
Япония 81 (3) 6714-3010
Люксембург +44 (0) 1344 392400
Мексика, Центральная Америка,
страны Карибского бассейна 52 (55) 56666-333
Ближний Восток, Азия и Северная Африка +41 52 675 3777
Нидерланды 090 02 021797
Норвегия 800 16098
Китайская Народная Республика 86 (10) 6235 1230
Польша +41 52 675 3777
Португалия 80 08 12370
Корейская Республика 82 (2) 528-5299
Россия, СНГ, Прибалтика 7 095 775 1064
Южная Африка +27 11 254 8360
Испания (+34) 901 988 054
Швеция 020 08 80371
Швейцария +41 52 675 3777
Тайвань 886 (2) 2722-9622
Великобритания и Ирландия +44 (0) 1344 392400
США 1 (800) 426-2200
Жителям других стран следует
обращаться в компанию Tektronix, Inc.: 1 (503) 627-7111
Последнее обновление: 15 июня 2005 г.

Дополнительные сведения

Корпорацией Tektronix создано всеобъемлющее, постоянно пополняемое собрание руководств по приложениям, технических описаний и других ресурсов, помогающих инженерам в использовании передовых технологий. Посетите наш веб-узел по адресу www.tektronix.com



© Tektronix, Inc., 2005. Все права защищены. Изделия корпорации Tektronix защищены патентами и патентными заявками в США и других странах. Приведенные в данном руководстве сведения заменяют любые ранее опубликованные. Права на изменение технических характеристик и цен сохранены. TEKTRONIX и TEK являются зарегистрированными товарными знаками Tektronix, Inc. Остальные упомянутые торговые названия являются знаками обслуживания, товарными знаками или зарегистрированными товарными знаками соответствующих владельцев.

10/05 FLG/WOW

37U-19190-0

Tektronix
Enabling Innovation

