

# РОЛЬ ВРЕМЕНИ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЦИФРОВОМ МИРЕ

## THE ROLE OF TIME-DOMAIN IN THE DIGITAL RF WORLD

Даррен Маккарти (Darren McCarthy), Tektronix, Inc.

**М**ногие современные высокочастотные (ВЧ, РЧ) сигналы постоянно изменяются. В некоторых сигналах частота изменяется скачкообразно, в других происходят кратковременные всплески, которые затем исчезают. Во многих сигналах применяются сложные типы модуляций, способные мгновенно изменяться динамически. Все это может привести к собственным побочным эффектам: произвольные переходные состояния, помехи, аномалии коммутации и т. д.

Что общего у всех этих явлений? Время. Время — это ось, которую нельзя игнорировать.

В данной статье рассматриваются основные измерительные задачи для ВЧ инструментов и показана важность измерения времени при исследовании высокочастотных цифровых сигналов. С этой целью проведен обзор и сравнение подходов к обнаружению сигналов, запуску, регистрации и анализу.

### КЛАССЫ РЧ ПЕРЕДАЧ

«Цифровая РЧ революция» привела к появлению огромного количества устройств, и одновременно к снижению их себестоимости и потребляемой мощности. В отдельных микросхемах содержатся целые системы связи. Увеличение объема передаваемой информации в области все более ограниченного спектра вызвало необходимость увеличения пропускной способности устройств и использования более сложных протоколов связи, обеспечивающих мирное сосуществование РЧ устройств и систем.

Основная задача протоколов связи заключается в надежной передаче пакетов данных в как можно более узкой полосе частот в течение минимально возможного промежутка времени, и при этом минимизировать влияние помех. Радиолокационные системы, хотя и не предназначены для связи, но характеризуются такими же задачами, связанными с эффективным использованием спектра и минимальными помехами, а также добавляются задачи по обеспечению безопасности и обнаружению целей.

Все это привело к возникновению нескольких классов процессов передачи ВЧ сигналов.

1. Передача включается только на короткий промежуток времени для передачи блока данных, после отправки данных спектр освобождается. Во многих случаях распределение временных интервалов



таких кратковременных передач неизвестно и является произвольным.

2. Системы, одновременно использующие общий участок спектра, например, стандарты CDMA (множественный доступ с кодовым разделением каналов) и UWB (Ultra Wide Band, сверхширокополосная радиосвязь).

3. Когнитивная радиосвязь (CR) с изменением частоты, модуляции и мощности в зависимости от спектрального окружения в данном месте и в данный момент времени. Может основываться на предварительных сведениях.

4. Несколько ВЧ устройств в одном разделяемом пакете.

5. ВЧ устройства находятся в одной микросхеме, например, процессоры с тактовой частотой в гигагерцовом диапазоне.

### ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Рассмотрим некоторые из основных задач измерений, необходимых для современных РЧ инструментов и позволяющих проектировщикам достичь своих целей. Так или иначе, эти задачи являются общими для различных классов передачи РЧ сигналов и охватывают области, начиная с наблюдения и заканчивая физическими исследованиями.

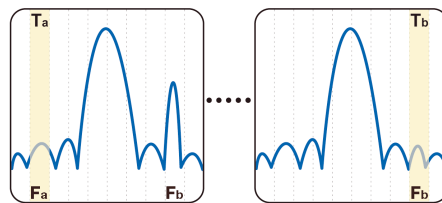


Рис. 1. Анализатор спектра с разверткой последовательно просматривает частотные сегменты. При этом часто оказываются пропущенными важные нестационарные события, происходящие вне просматриваемой полосы частот развертки.

Получение характеристик ухода частоты. Часто для обеспечения соответствия устройства функциональным и эксплуатационным требованиям требуется получить характеристики времени установки частоты и отклика. Для решения данной задачи требуется непрерывная регистрация сигнала, частота которого постоянно изменяется во времени.

Выявление сигналов помех и их ис-

точников. Сигналы помех зачастую возникают в результате операций переключения в самой системе или за ее пределами и вызваны преднамеренными или непреднамеренными источниками. Регистрация множества отдельных событий помех и прилегающих к ним промежутков времени позволяет локализовать проблемную частоту и определить ее источник.

Обнаружение и анализ переходных сигналов. Кратковременные изменения частоты при импульсных помехах или намеренной передаче могут происходить неожиданно даже для стабильных сигналов с очень высоким уровнем. Для обнаружения интересующих событий среди прочих в наблюдаемом диапазоне необходимы специальные средства.

Захват и анализ сигналов с распределенным спектром за пределами основной полосы частот. Зачастую к сигналам основного диапазона применяется преобразование с повышением частоты до специфической многоканальной полосы, называемой полосой пропускания. Сигналы в полосе пропускания могут быть динамичными и модулированными, поэтому необходимо регистрировать все, что происходит в представляющей интерес полосе частот в течение определенного периода времени. Для изучения спектральных, временных характеристик и характеристик модуляции сигнала требуется выполнять непрерывную запись спектра.

Анализ адаптивной цифровой модуляции. По мере того, как размер полосы пропускания становится все более ценным, а требования к надежности повышаются, адаптивная цифровая модуляция используется все чаще и становится все более сложной. Анализ качества модуляции и ее взаимосвязи с частотой сигналов и их временными характеристиками являются ключевым этапом в диагностике переходов беспроводной связи. Зачастую требуется выполнить нестандартное тестирование, особенно если реализация является неопределенной.

Рассматривая перечень измерительных задач, становится ясно, что для многих появившихся областей применения требуются высокопроизводительные системы анализа высокочастотных сигналов, а именно приборы, позволяющие регистрировать данные о сигналах не только в обычных координатах «частота-амплитуда», но и во времени.

## ТРИ ПОДХОДА К АНАЛИЗУ СИГНАЛОВ

В настоящее время существует три типа анализаторов РЧ сигналов: анализаторы спектра с разверткой (SA), векторные анализаторы сигналов (VSA) и анализаторы спектра реального времени (RTSA). Рассмотрим более подробно возможности этих приборов в соответствии с требованиями по проектированию цифровых РЧ устройств.

## АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА С РАЗВЕРТКОЙ ЧАСТОТЫ: СКАНИРОВАНИЕ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ

Обычные анализаторы спектра с разверткой измеряют амплитуду сигнала в зависимости от его частоты путем сканирования представляющего интерес диапазона частот с пропусканием через полосовой фильтр с полосой разрешения (RBW). Недостаток заключается в том, что прибор фиксирует значение амплитуды только на одной частоте в данный момент времени. При этом требуется наличие относительно стабильного, не изменяющегося входного сигнала.

На рисунке 1 показано, что в момент времени  $T_a$  осуществляется сканирование частотного сегмента  $F_a$ , в то время как мгновенное искажение сигнала происходит на более высокой частоте  $F_b$  (диаграмма слева). К моменту времени  $T_b$ , когда развертка дойдет до сегмента частоты  $F_b$ , искажение уже пропадет и не будет зарегистрировано (диаграмма справа). При этом отсутствует возможность выполнить запуск по определенным характеристикам сигнала, а также невозможно накапливать записи о долговременном поведении сигнала.

## ВЕКТОРНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ СИГНАЛОВ: СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ СИГНАЛОВ С ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Векторные анализаторы сигналов появились в связи с особыми требованиями по измерению сигналов с цифровой модуляцией.

В отличие от анализаторов спектра с разверткой, векторные анализаторы сигналов оптимизированы для измерения модулированных сигналов. Они регистрируют полный сигнал и все эффекты цифровой модуляции, происходящие в отдельный момент времени, и записывают сигнал в память. Данный процесс также ограничен, поскольку невозможно выполнить запуск по заданному частотному событию.

## АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ: ЗАПИСЬ И АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ

Изменяющиеся во времени сигналы все чаще применяются в радиосвязи, поэтому растет потребность в альтернативном подходе к регистрации и анализу РЧ сигналов. Для решения этой серьезной проблемы измерений предназначены анализаторы спектра реального времени. Среди трех типов архитектур анализаторов спектра только анализатор спек-

тра реального времени может выполнять запуск по событиям в частотной области, затем регистрировать и анализировать сигналы в полосе пропускания, совпадающей с полосой частот реального времени.

Архитектура анализаторов спектра реального времени показана на рисунке 2. Встроенный преобразователь с понижением частоты устанавливает полосу пропускания в реальном времени в любую полосу пропускания, вплоть до верхнего предела анализатора. После фильтрации сигнал, частота которого понижена, подается на АЦП и переводится в цифровой формат. Это позволяет выполнять запуск в реальном времени по событиям в частотной области, захватывать сигналы в память и выполнять анализ во временной и частотной областях, а также в области модуляции.

Цифровая архитектура промежуточной частоты RTSA позволяет непрерывно регистрировать сигнал. После запуска по событию, определенному частотой, сигнал записывается в память в виде непрерывной осциллограммы.

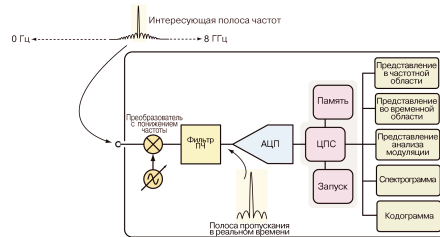


Рис. 2. Архитектура анализатора спектра реального времени

Анализатор спектра реального времени является единственным анализатором РЧ сигналов, который оптимизирован для создания на дисплее трехмерного представления: частота, мощность (амплитуда) и время.

## ПРОЯСНЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Осознание существования проблемы является первым шагом по ее решению. Проблемы, связанные с цифровыми РЧ сигналами, часто обнаруживаются косвенным образом. Переходные процессы в одном устройстве могут привести к увеличению коэффициента битовых ошибок в другом устройстве. Радары иногда предоставляют неточные сведения о цели из-за собственных помех или восприимчивости к переходным помехам. Эффекты тепловой или электрической памяти в усилителях мощности могут привести к потере данных и мгновенным помехам в соседних каналах. Выполнение программной процедуры с большим количеством расчетов может привести к отклонению напряжения источника питания, что также воздействует на качество РЧ передачи.

Для решения таких проблем в компании Tektronix была разработана технология «цифрового фосфора» или технология DPX™, позволяющая имитировать эффект послесвечения на ЭЛТ. Анализ

спектра с использованием технологии «цифрового фосфора», реализованный в RTSA компании Tektronix, объединяет обработку отображения со специальной аппаратной обработкой сигналов, что позволяет осуществлять частотное преобразование на несколько порядков быстрее по сравнению с обычными анализаторами спектра. Технология DPX™ обеспечивает высокоскоростной захват и обработку большого объема данных в реальном времени — почти 50000 обновлений спектра в секунду, что на 100 000% быстрее по сравнению с обычными анализаторами спектра.

Информация, полученная в результате каждого преобразования, используется процессором DPX™ для формирования полнокадрового изображения. Этот процессор также выполняет статистическую обработку послесвечения, что обеспечивает полнокадровый просмотр сигнала в зависимости от времени. Процессор также позволяет просматривать слабые сигналы, рассеянные среди сильных сигналов, и выделяет редкие кратковременные события. Регулировка послесвечения позволяет оптимизировать параметры отображения в зависимости от различных условий сигнала, от «живого» представления динамических сигналов до выявления отдельных событий. Это проясняет поведение сигнала, которое невозможно наблюдать с помощью обычных анализаторов спектра или векторных анализаторов сигналов. Анализаторы спектра реального времени имеют ряд других функций: средства запуска по поведению сигнала, регистрация сигналов в памяти и их анализ в частотной, временной области и области модуляции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мере усложнения РЧ сигналы становятся менее предсказуемыми. Разработчикам требуется понять поведение сигналов во времени, начиная со скачкообразного изменения частоты до переходных процессов в условиях электромагнитных помех. Хотя для измерения параметров РЧ сигналов имеется множество инструментов, только анализаторы спектра реального времени имеют функции запуска, регистрации и анализа, позволяющие проектировщикам решать задачи, возникающие при разработке современного высокочастотного оборудования. ☑

*In this article, the basic measurement tasks required of RF tools are explored in order to establish the critical nature of time in digital RF. This leads to a review and comparison of approaches to signal discovery, triggering, capture and analysis. While a number of instruments are available for RF measurements, only the RTSA offers the triggering, capture and analysis features needed to go forward with emerging trends in RF design.*