

# Измерения в частотной области: анализатор спектра или осциллограф?

**Дональд Вандервейт**

**Развитие контрольно-измерительных технологий размывает грань между измерительными платформами и открывает перед инженерами новые возможности.**

## ВВЕДЕНИЕ

Для многих поколений радиоинженеров существовали простые правила: хочешь исследовать сигнал в частотной области – используй анализатор спектра, а хочешь исследовать сигнал во временной области – бери осциллограф. Классический анализатор спектра, в сущности, был построен на основе смесителя, использующего перестраиваемый гетеродин для сканирования диапазона частот. Осциллограф устроен ещё проще: напряжение входного сигнала использовалось для отклонения луча ЭЛТ вверх и вниз по экрану для отображения изменений сигнала во времени. Измерения в частотной области (частота, мощность в полосе частот, полоса сигнала и т.п.) выполнялись с помощью анализатора спектра, а измерения во временной области (длительность импульса и частота повторения, временные характеристики сигнала и т.п.) – с помощью осциллографа.

Когда цифровая революция упростила методы обработки сигналов и сделала их широкодоступными, грань между двумя платформами стала размываться. Осциллографы начали использовать быстрое преобразование Фурье (БПФ), рассчитывающее по показаниям этих приборов представление в частотной области. Анализаторы спектра стали захватывать сигналы во временной области и обрабатывать их, чтобы получить изображение спектра. И всё же, некоторые различия между этими двумя платформами до сих пор сохранились. Осциллографы имеют ограниченную частоту дискретизации и позволяют

наблюдать сигналы от постоянного тока, но лишь до нескольких ГГц. Анализаторы спектра могут заглянуть далеко в микроволновый диапазон, но упускают в ходе качания частоты переходные процессы. А что, если вы хотите увидеть сигнал во временной области, но его несущая частота составляет 40 ГГц? Или захватить весь широкополосный импульс в X-диапазоне? По мере развития технологий РЭБ, РЛС и радиосвязи требования к контрольно-измерительному оборудованию постоянно ужесточаются.

Методы цифровой обработки сигналов (ЦОС) открыли новые перспективы не только для ВЧ- и СВЧ-оборудования, но и для контрольно-измерительных приборов. Анализаторы спектра и осциллографы могут теперь значительно больше, чем всего несколько лет назад, и по мере расширения их возможностей различия между ними становятся всё меньше и иногда исчезают полностью. Следует отметить, что желание исследовать сигнал в частотной или временной области практически не оказывает влияния на выбор платформы. Имеющееся программное обеспечение (ПО) анализа данных (такое как Agilent 89601B) одновременно отображает сигнал во временной и частотной областях, а также предлагает многие другие режимы анализа. При наличии такого ПО разница между анализатором спектра, как устройством, работающим в частотной области, и осциллографом, как устройством, работающим во временной области, практически исчезает. Цифровая революция изменила принципы работы

анализаторов спектра и осциллографов на фундаментальном уровне.

## АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА

Сегодня большинство анализаторов спектра имеют полностью цифровую схему обработки сигнала (ЦПОС). На рисунке 1 представлена упрощённая структурная схема рассматриваемого прибора. Как и в классическом анализаторе спектра, частота входного сигнала понижается до значительно более низкой промежуточной частоты (ПЧ). Этот сигнал оцифровывается аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и обрабатывается с помощью ЦПОС. Современный анализатор спектра предлагает два режима работы: качание частоты гетеродина для отображения сигналов в широком диапазоне частот или фиксированную частоту гетеродина для отображения всех составляющих в полосе анализа, которая определяется частотой дискретизации. Основным преимуществом этого метода является повышенная точность и надёжность, поскольку вместо аналоговых компонентов работают цифровые, и погрешности, свойственные аналоговым компонентам, можно существенно уменьшить. Классические компоненты анализатора спектра, такие как полосовые фильтры ПЧ и логарифмические усилители, реализуются теперь в цифровом виде, что делает их более точными и воспроизводимыми.

Два дополнительных преимущества обеспечиваются возможностью останова качания гетеродина и сбора данных на одной частоте. Первое преимущество заключается в возможности наблюдения широкополосного сигнала во временной области, поскольку сигнал теперь оцифровывается и записывается. Основное отличие от осциллографа заключается в том, что анализатор спектра понижает частоту сигнала, поэтому данные ото-

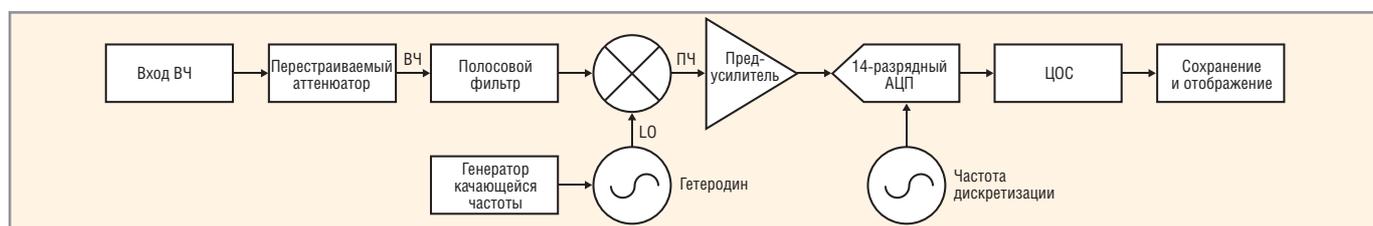


Рис. 1. Упрощённая структурная схема анализатора спектра

бражаются относительно центральной частоты измерения. Второе преимущество заключается в возможности наблюдения фазовых характеристик сигнала. Выполнив некоторую базовую цифровую обработку, можно демодулировать и анализировать фазу коммуникационных сигналов или ЛЧМ-импульсов РЛС. Некоторые изготовители называют анализаторы спектра с такими возможностями «анализаторами сигналов», стремясь подчеркнуть эту новую возможность демодуляции и анализа сигналов, передаваемых на несущей частоте.

Но анализаторы сигналов всё же обладают одним важным ограничением – частотой дискретизации АЦП в цифровом тракте ПЧ, от которой зависит полоса наблюдения (в соответствии с теоремой Котельникова). На момент написания данной статьи частота дискретизации сигнала ПЧ до 400 Мвыб/с позволяла анализировать сигнал в полосе шириной до 160 МГц.

### Осциллографы

Как и в тракте ПЧ-анализатора спектра, сигнал, поступающий на входной интерфейс осциллографа, преобразуется и обрабатывается цифровыми способами, но на значительно более высоких скоростях. Там, где анализатор спектра ограничен полосой анализа своего гетеродинного понижающего преобразователя и медленным АЦП, осциллограф за один проход может разглядеть весь частотный диапазон от постоянного тока до многих ГГц. Сейчас существуют осциллографы реального времени, частота дискретизации которых доходит до 160 Гвыб/с (см. рис. 2). Дискретизация сигнала с такой высокой частотой позволяет осциллографу отображать сигналы от постоянного тока до 63 ГГц и при этом оставаться в пределах, определяемых теоремой Котельникова.

Тем не менее, существуют некоторые факторы, накладывающие ограничения на практическое применение этой архитектуры. Один из них заключается в огромном объёме данных, который является прямым следствием высокой частоты дискретизации. Каждую секунду генерируются сотни гигабайт данных, и обычно при использовании полной полосы пропускания за один проход удаётся захватить и проанализировать лишь малую долю секунды. Такие методы обработки данных, как сегментирование памяти, позволяют расширить временное окно захвата, но только для периодически повторяющихся сигналов.

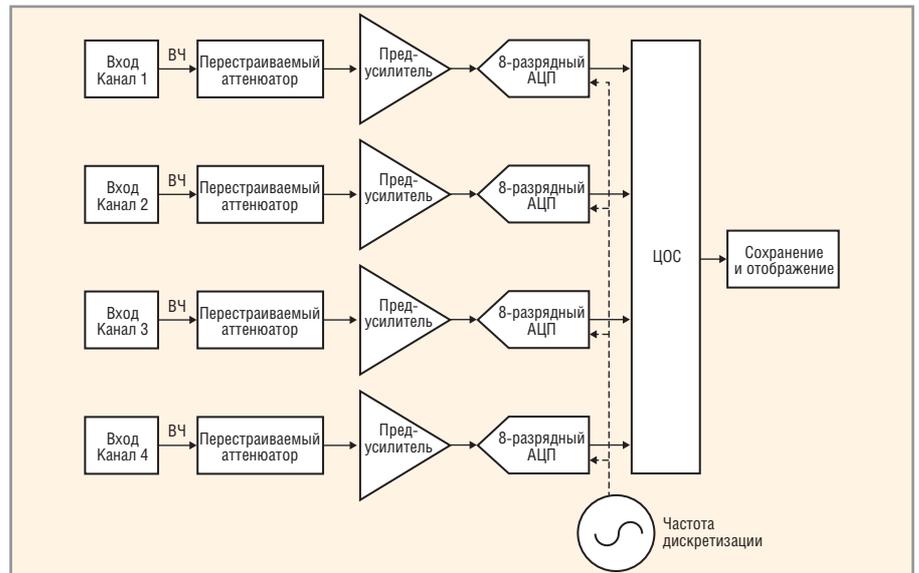


Рис. 2. Упрощённая структурная схема 4-канального осциллографа

Другой фактор связан с тем, что высокоскоростные АЦП обычно имеют разрешение 8 разрядов, в отличие от 14- или 16-разрядных АЦП в анализаторах спектра. Однако во многих приложениях это отличие не играет важной роли. Высокоскоростные осциллографы предлагают специальные методы обработки, позволяющие снизить шум и расширить динамический диапазон в частотной области за счёт высокой частоты дискретизации. Если вы исследуете малые сигналы в широком диапазоне частот (например, выбросы), вам больше подойдёт анализатор спектра, но для большинства коммуникационных и радиолокационных приложений разница между

двумя приборами может оказаться несущественной.

### Выбор прибора для конкретной задачи

Если оба прибора могут анализировать ВЧ- и СВЧ-сигналы, то какой из них лучше выбрать? Хотя обе технологии имеют общие возможности, существуют и некоторые базовые отличия.

#### Частота несущей и полоса сигнала

Самым важным параметром, который следует учитывать, является полоса сигнала, который вы хотите анализировать. Если сигнал укладывается в полосу анализатора, а частота несущей равна нескольким ГГц, то лучшим выбором при

Таблица. Сравнение основных параметров двух платформ

	Анализатор спектра/сигналов	Осциллограф
Полоса анализа >160 МГц	Нет	Да, до верхней границы полосы пропускания прибора
СВЧ-диапазон	Да	Да, но обходится дороже
Временное окно захвата	секунды или минуты	миллисекунды
Демодуляция/анализ	Да	Да
Длительность фронта/спада	20 нс	5 пс
Многоканальные измерения	Необходимо несколько синхронизированных приборов	4 канала в одном приборе; большее число каналов получается за счёт объединения нескольких приборов или оцифровщиков

той же стоимости будет анализатор. Меньшая частота дискретизации анализатора спектра позволяет захватывать и анализировать сигнал в большем временном окне. Кроме того, на частотах 10 ГГц и выше анализаторы спектра обычно дешевле осциллографов. Однако если вы хотите анализировать широкополосные сигналы с полосой 160 МГц и шире, или хотите наблюдать фронты и спады длительностью менее 20 нс, то лучшим выбором будет осциллограф.

**Разрешение по амплитуде (мощности) и уровень собственных шумов**

Следует учитывать и разрешение захватываемых данных. Большинство анализаторов спектра оцифровывает сигнал с разрешением 14 разрядов, тогда как типовое разрешение АЦП осциллографа составляет 8 разрядов. Кроме того, в связи с тем, что осциллографы имеют широкополосный входной интерфейс (без фильтрации), в измерительный тракт может проникнуть больше широкополосного шума, что вызовет проблемы в приложениях с высоким уровнем шумов или фоновых сигналов. Тем не менее, во многих случаях применяемые в осциллографах методы обработки данных могут ослабить или полностью устранить эти явления.

**Число каналов**

Анализатор спектра является одноканальным прибором. Осциллографы обычно имеют четыре канала. И хотя анализаторы спектра можно объединять и синхронизировать, такое решение не будет простым и дешёвым. Для измерений, выполняемых по двум, трём или четырём каналам, осциллограф имеет несомненное преимущество.

**ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Чтобы продемонстрировать влияние этих различий на практике, ниже перечислены некоторые преимущества и недостатки анализаторов спектра и осциллографов для наиболее распространённых сигналов.

**Сигналы РЛС (статическая несущая частота)**

Типовые сигналы РЛС имеют сравнительно узкую полосу (<100 МГц), но высокую частоту несущей. Если полоса сигнала не превышает полосы анализа, то логично выбрать именно анализатор. Анализатор сигналов предлагает лучшее разрешение и большие интервалы захвата, и обычно дешевле осциллографа. Однако для сигналов РЛС с полосой шире 160 МГц может понадобиться осциллограф, если вы хотите увидеть весь сигнал целиком без качания частоты. Один из способов расширения полосы анализа без помощи высокоскоростного осциллографа заключается в применении анализатора спектра в качестве настраиваемого преобразователя частоты и подаче сигнала ПЧ на внешний осциллограф с полосой пропускания 1 ГГц. Этим способом можно анализировать сигналы с полосой несколько сотен МГц. Повысить точность измерения можно за счёт коррекции частотной характеристики тракта ПЧ и других факторов.

**Сигналы со скачкообразной перестройкой частоты**

Если сигнал совершает скачки в пределах полосы анализа, то данные можно собирать без потерь в течение нескольких секунд (в некоторых случаях, нескольких минут или часов с помощью внешних RAID-массивов жёстких дисков), в то время как высокоскоростной осциллограф позволяет собирать данные лишь за несколько миллисекунд. Если частотный диапазон скачкообразного сигнала шире, пользователю придётся воспользоваться быстрым осциллографом или, проявив смекалку, использовать группу анализаторов сигналов или преобразователей частоты с дигитайзерами для мониторинга нескольких участков спектра.

**Широкополосные коммуникационные сигналы**

Высокоскоростной осциллограф будет удачным выбором для демодуляции

и анализа коммуникационных сигналов с символьными скоростями более 100 МГц. Например, широко распространённой задачей является измерение сигналов в диапазонах Ka и Ku с символьными скоростями несколько ГГц.

**Поиск слабых сигналов**

Ключевым фактором при поиске выбросов и других малоомощных сигналов является ограничение шума. Способность анализатора сигналов выполнять узкополосное качание в широком диапазоне частот, и тем самым отфильтровывать большую часть широкополосного шума, делает его идеальным прибором для обнаружения слабых сигналов.

**Многоканальные измерения**

В некоторых приложениях, таких как РЛС с фазированной антенной решёткой, многоантенные пеленгаторы и коммуникационные системы ММО, может потребоваться анализировать и сравнивать десятки сигналов параллельно. Здесь осциллограф, будучи 4-канальным прибором с синхронизированными по времени каналами, получает естественное преимущество. Выполнение относительных измерений между каналами на анализаторе спектра в принципе возможно, но требует применения нескольких приборов и специальной схемы, обеспечивающей их синхронизацию. Если необходимо более 4 каналов, лучшим решением может быть отказ от обеих обсуждаемых технологий и переход к массиву дигитайзеров. Без лишних затрат и дополнительных компонентов, необходимых анализаторам спектра и осциллографам, дигитайзеры позволяют создать компактное и недорогое решение для анализа по множеству каналов. Недостатком обычно являются дополнительные трудозатраты на настройку массива и обработку данных.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В таблице приведено сравнение современных анализаторов и осциллографов. Очевидно, что в результате применения ЦОС в анализаторах спектра и осциллографах, грань между этими двумя технологиями размывается до такой степени, что в некоторых приложениях наилучшим анализатором спектра может оказаться осциллограф, а наилучшим осциллографом – анализатор спектра. В любом случае, современные приборы значительно мощнее своих предшественников десятилетней давности. ©