

Осциллограф. Основные сведения Учебное пособие


ROHDE & SCHWARZ



Осциллограф. Основные сведения

Версия 1.1

Опубликовано Rohde & Schwarz USA, Inc.

8661 A Robert Fulton Dr., Columbia, MD 21046

R&S® является зарегистрированным торговым знаком компании Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

Фирменные названия являются торговыми знаками их владельцев.

Содержание

Общие сведения	4	Анализ технических характеристик осциллографа.....	18
Где всё это началось	4	Полоса частот	18
Маяки цифровой эры.....	4	Эффективное число битов (ENOB).....	18
Типы цифровых осциллографов.....	5	Каналы.....	19
Цифровые стробоскопические осциллографы5		Частота дискретизации.....	19
Стробоскопические осциллографы реального		Глубина памяти.....	19
масштаба времени.....	5	Типы запуска (синхронизации)	19
Осциллографы смешанных сигналов.....	6	Время нарастания	20
Основные компоненты цифровых осциллографов... 6		Амплитудно-частотная характеристика	20
Система вертикального отклонения	6	Погрешность усиления (по вертикали) и временной	
Система горизонтального отклонения.....	7	развертки (по горизонтали)	21
Система запуска (синхронизации)	7	Разрешающая способность АЦП по вертикали	21
Запуск по аналоговому сигналу	8	Чувствительность по вертикали	21
Запуск по цифровому сигналу	9	Дисплей и интерфейс пользователя	21
Процедура запуска.....	10	Коммуникационные возможности	21
Режимы запуска	11		
Связь по запуску и		Основные типы измерений с использованием	
функция удержания	11	осциллографа.....	22
Система отображения и интерфейс пользователя . 12		Измерения напряжения	22
		Измерения фазового сдвига	22
Пробники	13	Измерения времени	22
Активные пробники	14	Измерение ширины и времени нарастания импульсов	
Пассивные пробники	14	22
Дифференциальные пробники.....	15	Анализ последовательных шин данных	22
Токовые пробники.....	15	Анализ спектра, статистические данные и	
Высоковольтные пробники	15	математические функции	22
Характеристики пробников.....	15		
Нагрузка цепи	15	Заключение	23
Заземление.....	16	Глоссарий.....	24
Рекомендации по выбору пробников.....	17		



Рисунок 1 – Лауреат Нобелевской премии по физике К.Ф. Браун

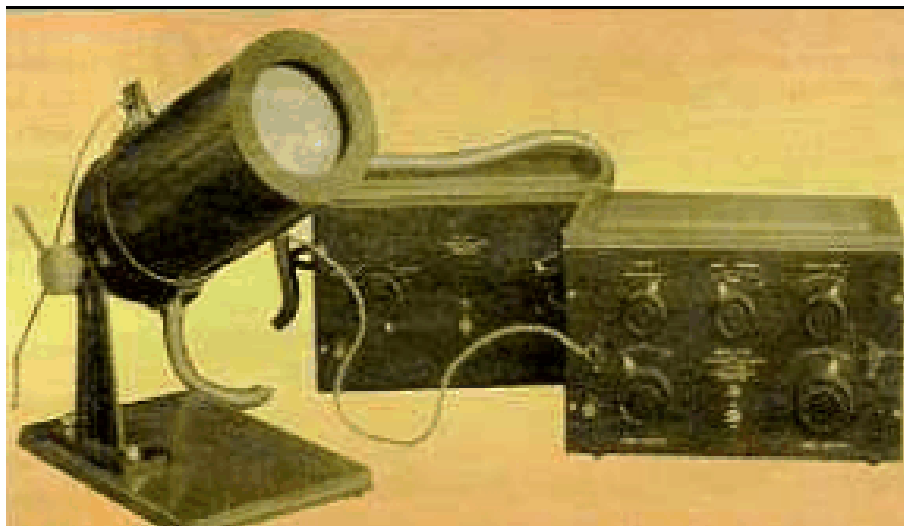


Рисунок 2 – Самый первый осциллограф

Общие сведения

Осциллограф заслуженно может быть назван одним из самых полезных приборов, когда-либо созданных для использования инженерами по радиоэлектронике. За более чем пять десятилетий с момента создания современного аналогового осциллографа были разработаны сотни полезных документов и написаны тысячи статей, освещающие принципы и методы работы и содержащие общие сведения и примеры использования осциллографа в конкретных областях применения. Задачей настоящего пособия является описание цифровых осциллографов, которые практически полностью вытеснили своих аналоговых предшественников в подавляющем большинстве приложений. Приведенные сведения охватывают принципы работы осциллографа, переход от аналоговой концепции к цифровой, типы цифровых осциллографов и их ключевых подсистем, основные сравнительные характеристики и возможности измерения.

Где всё это началось

Лауреат Нобелевской премии по физике немец К.Ф. Браун (рисунок 1) совершенно случайно изобрел электронно-лучевой осциллограф в 1897 году. Он приложил осциллирующий сигнал к горизонтальным, а испытательный сигнал – к вертикальным пластинам электрода покрытой люминесцентным составом электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Пластины спроецировали приложенные электрические колебания на маленький люминесцентный экран. Это открытие положило начало созданию измерительного прибора (рисунок 2), который постепенно улучшался в течение последующих 50-ти лет. Инженер Говард Воллум (Howard Vollum) в 1947 году модернизировал прибор, впервые введя возможность управления функцией развертки посредством сигнала запуска, что сделало осциллограф чрезвычайно полезным прибором.

Ранние модели осциллографов, не оснащенные функцией запуска (синхронизации), начинали отображать осциллограмму входного напряжения при превышении этим напряжением регулируемого порогового значения.

Функция запуска позволила стабилизировать периодическое колебание на экранах электронно-лучевых осциллографов, накладывая множественные повторяющиеся фрагменты поверх исходной кривой. При отсутствии этой функции осциллограф отображает множественные копии в различных местах экрана, что приводит к беспорядочной некогерентности или мельканию осциллограммы. Осциллографы продолжали совершенствоваться в обоих направлениях в течение многих лет, идя в ногу со стремительным прогрессом в области быстродействующих аналоговых и цифровых полупроводниковых приборов и прикладного ПО.

Маяки цифровой эры

Цифровые осциллографы начали свой путь к всеобщему признанию в начале 1980-х годов, реализуя преимущества ускоренного аналого-цифрового преобразования и наличия памяти для записи и отображения осциллограмм (рисунок 3). Даже самые первые модели цифровых осциллографов обеспечивали гибкость, достаточную для реализации функций запуска, анализа и отображения, недоступных

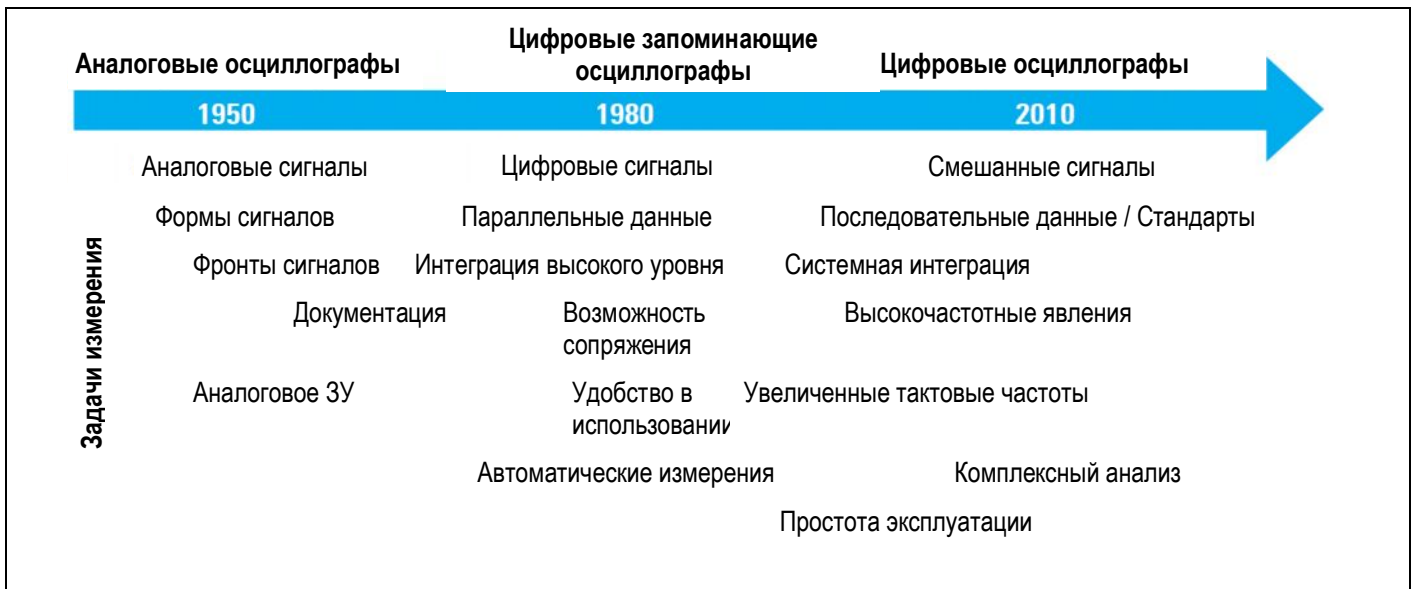


Рисунок 3 – Встающие перед осциллографом задачи измерения

при работе с аналоговыми осциллографами. Прогресс в области полупроводниковых приборов и прикладного ПО явился основополагающим фактором для преобразования структуры компонентов прибора из преимущественно аналоговой в преимущественно цифровую форму. Выгоды от обработки сигналов в цифровой области аналогичны оным для любых других потребительских, коммерческих или промышленных продуктов, однако основные преимущества от этого получают именно осциллографы. По сути, теперь они могут не только оперировать сигналами недоступными ранее способами, но и, среди прочего, выполнять глубокий анализ, одновременно обеспечивая соответствие постоянно растущим требованиям высокоскоростных потоков данных. Пользователи получили возможность производить захват событий, происходящих при выполнении определенных условий, а также анализировать состояние системы до их возникновения. Теперь осциллографы могут являться частью автоматизированных испытательных систем, а благодаря управлению посредством ЛВС или Интернета результаты измерений могут предоставляться пользователям в соседних помещениях, городах или даже на других континентах. Одной из основных вех в истории архитектуры цифровых осциллографов стало внедрение в 2009 году функции цифрового запуска, реализованной компанией Rohde & Schwarz, что позволило устранить ограничения (такие как дрожание), присущие сигналам запуска аналогового типа. Все это будет более подробно описано в последующих разделах.

Типы цифровых осциллографов

Цифровые осциллографы выполняют две основные задачи: сбор и анализ данных. В ходе сбора данных дискретизированные сигналы сохраняются в память, после чего выполняется анализ и вывод результатов на дисплей. Ниже рассматриваются лишь наиболее распространенные в настоящее время типы цифровых осциллографов.

Цифровые стробоскопические осциллографы

Цифровые стробоскопические осциллографы дискретизируют сигнал перед выполнением какого-либо преобразования, такого как ослабление или усиление. Конструктивные особенности осциллографов обеспечивают возможность работы в очень широком частотном диапазоне, правда, они же и в некоторой степени ограничивают динамический диапазон (приблиз. размахом 1 В). В отличие от некоторых других типов цифровых осциллографов, цифровой стробоскопический осциллограф может осуществлять захват сигналов, частоты составляющих которых значительно превышают частоту дискретизации прибора. Это свойство позволяет применять такие осциллографы для измерения сигналов, обладающих крайне малым периодом повторения, что выгодно отличает их от осциллографов других типов. Как следствие, цифровые стробоскопические осциллографы используются в сверхширокополосных областях применения, таких как оптоволоконные системы, что позволяет окупить их высокую стоимость.

Стробоскопические осциллографы реального масштаба времени

Преимущества дискретизации в реальном времени проявляются при обработке сигналов, ширина полосы которых не превышает половины максимального значения частоты дискретизации осциллографа. Этот метод позволяет прибору осуществлять захват очень большого числа отсчетов в одном цикле развертки, обеспечивая прецизионную точность отображения. В настоящее время только этот метод позволяет производить захват однократных импульсов переходных процессов. В эту категорию изделий попадают и осциллографы серии &S[®]RTO.

Встраиваемые на уровне плат системы, как правило, охватывают обработку однобитных сигналов, синхронизированные и несинхронизированные параллельные и последовательные шины, а также стандартизированные или собственные форматы передачи.

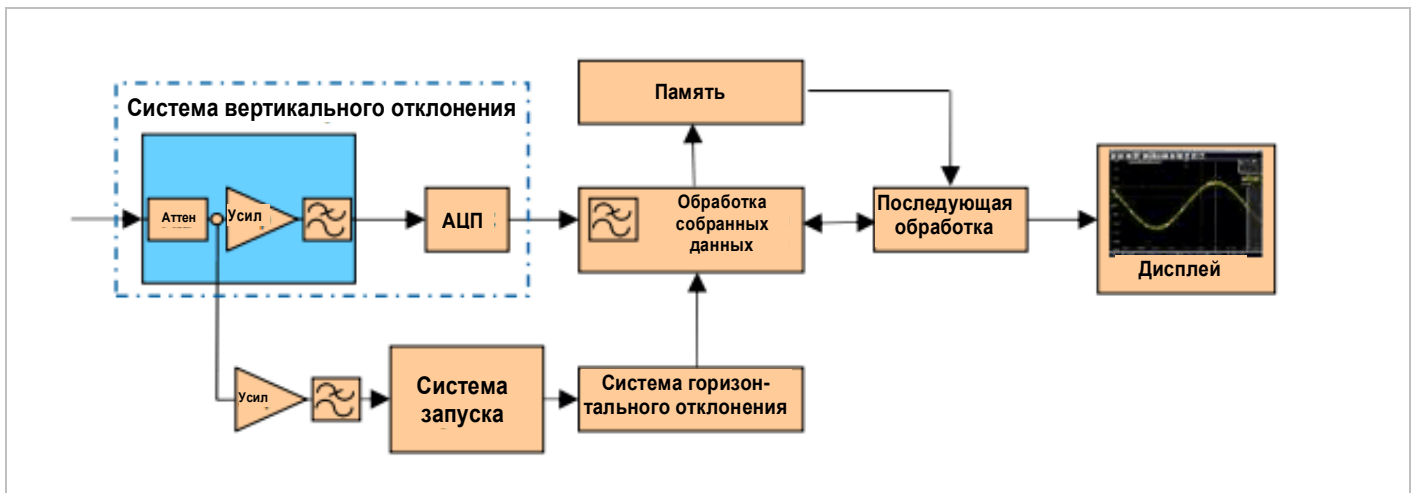


Рисунок 4 – Система вертикального отклонения

Для всех этих направлений необходимо проведение анализа, который, как правило, требует использования комплексных измерительных установок и множества приборов. Кроме того, зачастую возникает необходимость отображения как аналогового, так и цифрового сигналов. В связи с этим ряд современных осциллографов оснащены особыми опциями, которые превращают цифровой осциллограф в комплексный прибор, обладающий функционалом логического анализатора. Это особенно полезно в контексте отладки цифровых цепей, что стало возможным благодаря наличию функции запуска по цифровому сигналу, высокой разрешающей способности, функции сбора данных и средств анализа.

Осциллографы смешанных сигналов

Осциллографы смешанных сигналов расширяют функциональные возможности цифровых осциллографов благодаря поддержке функций логического и протокольного анализа, которые упрощают измерительную установку и обеспечивают одновременное отображение аналоговых колебаний, цифровых сигналов и данных протокольного анализа на экране одного прибора. Разработчики аппаратных средств применяют осциллографы смешанных сигналов для анализа целостности сигнала, а разработчики ПО используют их для анализа содержимого сигнала. Типовой осциллограф смешанных сигналов содержит два или четыре аналоговых и множество цифровых каналов. Аналоговые и цифровые каналы осуществляют сбор данных синхронно, что позволяет согласовывать их во времени и анализировать в одном приборе.

Основные компоненты цифровых осциллографов

Каждый цифровой осциллограф содержит четыре базовых функциональных блока – систему вертикального отклонения, систему горизонтального отклонения, систему запуска (синхронизации) и систему отображения. Чтобы по достоинству оценить функциональные возможности цифрового осциллографа, нужно иметь

представление о поддерживаемых функциях и их роли в обработке сигналов. Большая часть передней панели цифрового осциллографа выделена под функции систем вертикального и горизонтального отклонения, а также под функцию запуска, поскольку они охватывают основной объем требуемых операций регулирования. Функции системы вертикального отклонения отвечают за ослабление и усиление сигнала посредством управляющего параметра «вольт на деление», который изменяет значение ослабления или усиления для обеспечения соразмерного отображения сигнала на дисплее. Функции системы горизонтального отклонения связаны с временной разверткой прибора и устанавливают временной масштаб по горизонтальной оси посредством управляющего параметра «секунд на деление». Система запуска реализует базовую функцию стабилизации сигнала, иницируя сбор данных прибором, и позволяет пользователям выбирать особые типы запуска и видоизменять механизмы их работы. Наконец, система отображения содержит само отображение и соответствующие средства управления, а также ПО, требуемое для реализации ряда функций отображения.

Система вертикального отклонения

Эта подсистема осциллографа (рисунок 4) позволяет пользователю располагать и масштабировать осциллограмму по вертикальной оси, выбирать коэффициент связи по входу, а также изменять параметры сигнала для соответствия требуемому типу отображения на дисплее. Пользователь может с прецизионной точностью располагать осциллограмму по вертикальной оси отображения и осуществлять ее масштабирование. Дисплеи всех осциллографов содержат координатную сетку, разбивающую видимую область на 8 или 10 вертикальных делений, каждое из которых соответствует некоторой части полного напряжения. Иначе говоря, осциллографы, координатная сетка дисплеев которых содержит 10 делений, позволяют отобразить сигнал напряжением 50 В делениями с шагом в 5 В.

Выбор 8, 10 или другого числа делений является произвольным; для простоты обычно используется разбиение на 10 делений: на 10 делить легче, чем на 8. На масштаб отображения также оказывают влияние пробники, которые могут как вовсе не ослаблять сигналы (1X пробники), так и ослаблять их в 10 (10X пробники) или даже 1000 раз. Описание пробников приводится в следующих разделах настоящего пособия.

Упомянутая ранее связь по входу, по сути, определяет путь сигнала от захвата пробником до попадания в прибор. Связь по постоянному току обеспечивает значение согласования на входе 1 МОм или 50 Ом. При выборе 50 Ом входной сигнал непосредственно подается на усилитель системы вертикального отклонения осциллографа, что позволяет максимально расширить полосу частот. При выборе режима связи по постоянному или переменному току (и соответствующего значения согласования 1 МОм) перед усилителем системы вертикального отклонения подключается дополнительный ограничивающий усилитель, который, как правило, сужает ширину полосы частот до 500 МГц в обоих случаях. Преимуществом такого высокого импеданса является предоставление защиты от высоких напряжений. При выборе значения «ground» (земля) на передней панели прибора система вертикального отклонения отключается, и на дисплее отображается нулевой уровень 0 В.

Другие цепи, относящиеся к системе вертикального отклонения, содержат ограничитель ширины полосы частот, который, наряду со снижением уровня шума на отображаемой осциллограмме, ослабляет высокочастотные составляющие сигнала. В ряде осциллографов также реализована функция цифровой обработки сигналов с применением выравнивающих фильтров с произвольной АЧХ, что позволяет вывести ширину полосы частот прибора за пределы исходного диапазона входного каскада посредством придания определенной формы ФЧХ и АЧХ канала осциллографа. Однако частота дискретизации при этом должна соответствовать критерию Найквиста – как минимум в два раза превышать частоту наивысшей составляющей спектра сигнала. В связи с этим частота дискретизации прибора жестко устанавливается на максимальное значение и не может быть уменьшена с целью отображения сигнала в расширенном временном интервале без отключения фильтра.

Система горизонтального отклонения

Система горизонтального отклонения в большей степени связана со сбором данных, чем система вертикального отклонения, и влияет на такие показатели производительности, как частота дискретизации и емкость памяти, а также на другие, непосредственно связанные со сбором данных и преобразованием сигналов. Временной промежуток между соседними отсчетами называется интервалом дискретизации, а сами отсчеты представляют собой хранящиеся в памяти численные значения, предназначенные для формирования итоговой осциллограммы. Временной промежуток между соседними точками осциллограммы носит название интервал построения осциллограммы;

поскольку одна точка осциллограммы может формироваться несколькими отсчетами, несколько точек порой могут оказаться взаимосвязанными и иметь одинаковое значение.

Функционал меню режима сбора данных обычного осциллографа весьма ограничен в связи с возможностью отображения лишь одной осциллограммы на канал; для выбора доступен только тип децимации или один из типов арифметических операций над осциллограммой. Однако некоторые осциллографы поддерживают одновременное отображение трех осциллограмм на канал, при этом для каждой из осциллограмм представлена возможность комбинирования типа децимации и типов арифметических операций над осциллограммой. Доступны следующие типовые режимы:

- **Режим дискретизации (Sample mode):** точка осциллограммы формируется одним отчетом для каждого интервала построения осциллограммы.
- **Режим высокой разрешающей способности (High Res mode):** отображение среднего значения по отсчетам, входящим в интервал построения осциллограммы.
- **Режим поиска пиков (Peak detect mode):** отображение минимальной и максимальной точек осциллограммы для каждого интервала.
- **Режим отображения среднеквадратического значения (RMS):** отображение среднеквадратического значения (СКЗ) по отсчетам, входящим в интервал построения осциллограммы. Это значение пропорционально мгновенному значению мощности.

Типовые режимы арифметических операций над осциллограммой включают:

- **Режим огибающей (Envelope mode):** на основании осциллограмм, захваченных при возникновении как минимум двух событий запуска, осциллограф формирует границу раздела (огибающую), которая представляет наибольшие и наименьшие значения осциллограммы.
- **Режим усреднения (Average mode):** формирование среднего значения по всем отсчетам, входящим в интервал построения осциллограммы

Система запуска (синхронизации)

Система запуска является одним из основополагающих элементов любого цифрового осциллографа, поскольку она обеспечивает захват возникающих событий сигналов с целью проведения подробного анализа и гарантирует устойчивое отображение повторяющихся осциллограмм. Точность и гибкость работы системы запуска определяют степень погрешности отображения и анализа сигнала.

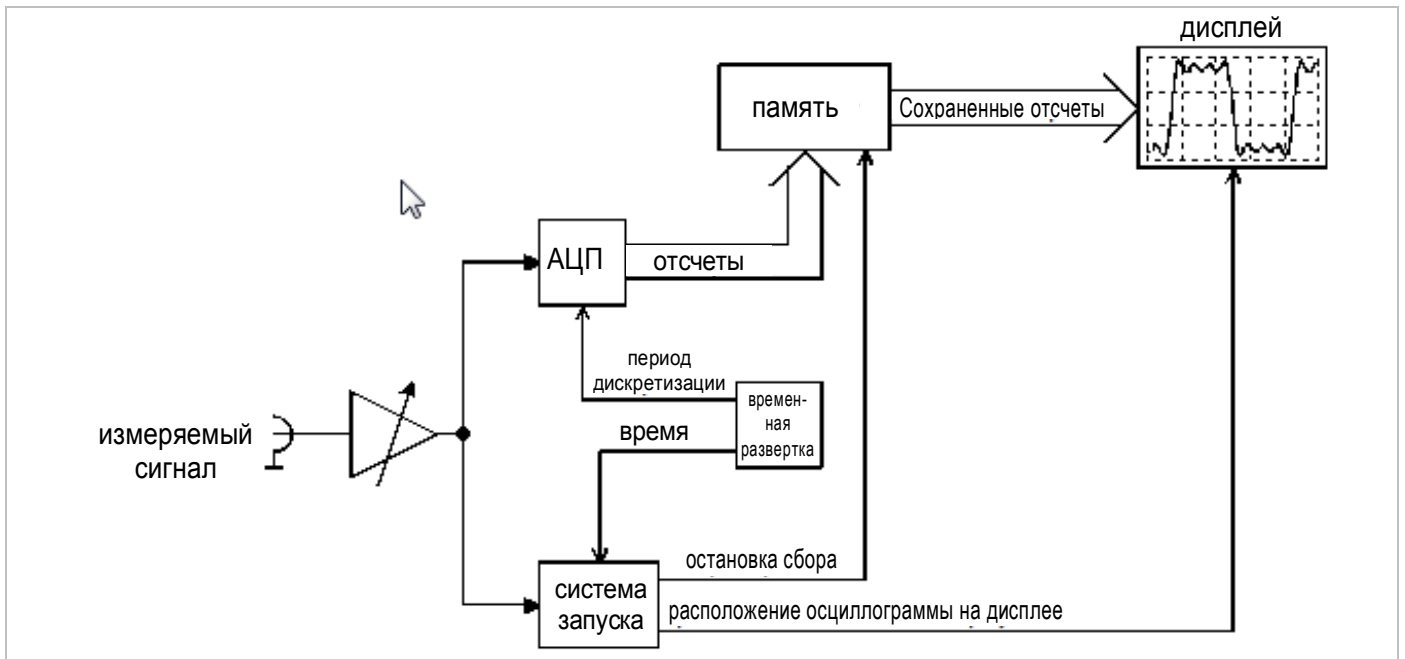


Рисунок 5 – Запуск по аналоговому сигналу

Как было указано выше, применение запуска по цифровому сигналу позволяет пользователям осциллографов получить ощутимые преимущества в отношении погрешности измерения, частоты взятия отсчетов и функциональных возможностей.

Запуск по аналоговому сигналу

Функция запуска осциллографа (рисунок 5) обеспечивает устойчивое отображение осциллограммы при непрерывном измерении повторяющихся сигналов. Являясь реакцией на возникновение определенного события, запуск может успешно применяться для выделения и отображения особых параметров сигнала, таких как недостиженные «рантовые» логические уровни и искажения сигналов, вызванные перекрестными помехами, медленно нарастающими фронтами или некорректной временной синхронизацией каналов. Со временем число событий запуска значительно увеличилось, а возможности функции запуска существенно расширились.

Несмотря на то, что «цифровые» осциллографы по сути подразумевают дискретизацию измеряемого сигнала и его последующее сохранение в виде непрерывной последовательности числовых значений, функция запуска до недавних пор реализовывалась исключительно в аналоговых цепях обработки исходного измеряемого сигнала. Входной усилитель приводит амплитуду измеряемого сигнала в соответствие рабочему диапазону АЦП и дисплея; преобразованный сигнал с выхода усилителя параллельно распределяется и подается в аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и систему запуска.

В первом тракте АЦП дискретизирует измеряемый сигнал и заносит числовые значения в область памяти для хранения собранных данных, а во втором система запуска анализирует сигнал на предмет совпадения с действительными событиями запуска, такими как превышение порога запуска при работе в режиме запуска по «перепаду». При совпадении с действительными условиями запуска АЦП перестает дискретизировать сигнал, после чего собранные данные обрабатываются и отображаются в виде осциллограммы. Превышение уровня запуска результатами измерения сигнала влечет за собой возникновение действительного события запуска. Однако для обеспечения точного отображения сигнала требуется прецизионная настройка точки срабатывания сигнала запуска. В противном случае отображаемая осциллограмма, возможно, не будет пересекать точку запуска (точку пересечения уровня и позиции запуска).

Это может быть вызвано рядом причин. Во-первых, сигнал в системе запуска сравнивается с порогом запуска с помощью компаратора; длительность фронтов сигнала на выходе компаратора должна быть измерена с высокой точностью с использованием преобразователя «время-цифровой код» (TDC). Если TDC не может обеспечить надлежащую точность, произойдет смещение отображаемой осциллограммы относительно точки запуска, что повлечет за собой изменение смещения для каждого события запуска и приведет к возникновению дрожания (джиттера) сигнала запуска.

Другая причина заключается в наличии источников погрешностей в обоих трактах обработки измеряемого сигнала.

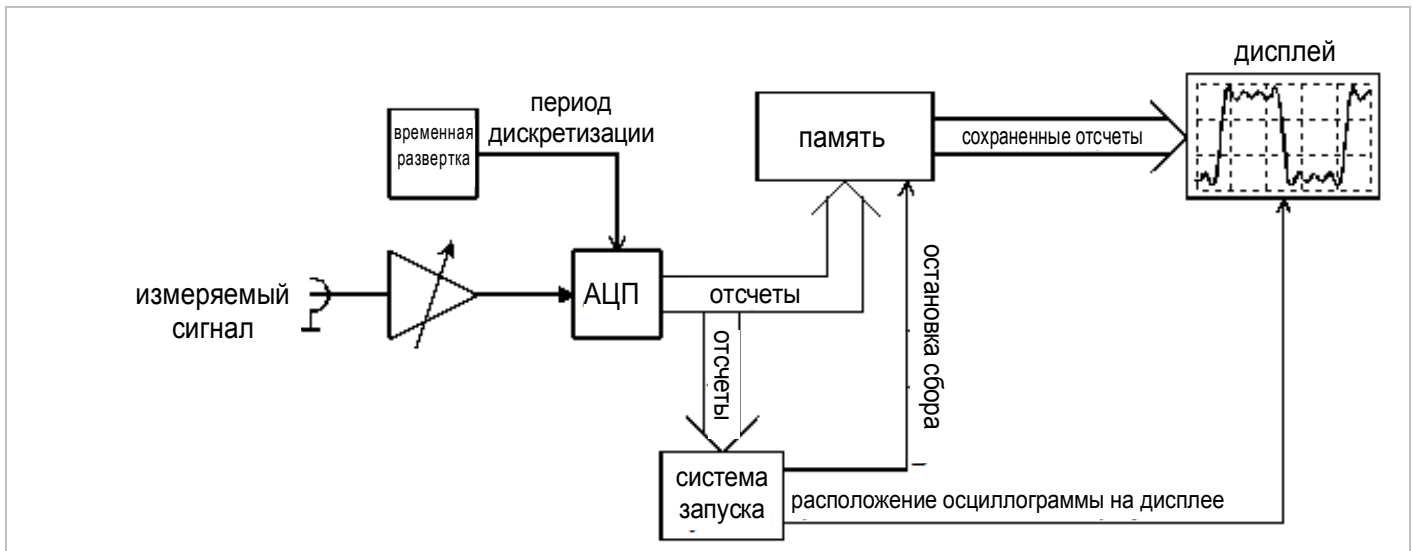


Рисунок 6 – Запуск по цифровому сигналу

Сигнал обрабатывается в двух различных трактах (тракт сбора данных АЦП и тракт системы запуска), в каждом из которых сигнал подвергается различным линейным и нелинейным искажениям. Это приводит к появлению систематического несоответствия между отображаемым сигналом и заданной точкой запуска. В худшем случае запуск не будет инициироваться действительными событиями запуска, даже если последние отображаются на дисплее, или будет реагировать на события запуска, которые не могут быть захвачены в тракте сбора данных и отображены на дисплее.

Последней причиной является наличие в обоих трактах источников помех, вызываемых применением усилителей с различными уровнями шумов. Это приводит к появлению задержек и колебаний амплитуды, порождаемых смещениями положения запуска (дрожанием) на отображении. Все эти погрешности могут быть устранены применением запуска по цифровому сигналу.

Запуск по цифровому сигналу

В отличие от запуска по аналоговому сигналу, система запуска по цифровому сигналу (рисунок 6) оперирует непосредственно отсчетами АЦП и не распределяет сигнал по двум трактам, а обрабатывает его, обеспечивая сбор данных и отображение. Это позволяет полностью устранить искажения, присущие системам запуска по аналоговому сигналу. Для определения точки запуска система цифрового запуска (система запуска по цифровому сигналу) использует алгоритмы прецизионной цифровой обработки сигналов, позволяющие обнаруживать действительные события запуска и с высокой точностью измерять значения в точках, соответствующих временным меткам.

Для обеспечения эффективного мониторинга измеряемого сигнала необходимо решить задачу реализации функции обработки сигналов в реальном времени. Например, в системах цифрового запуска приборов серии R&S® RTO реализован алгоритм 8-разрядной дискретизации с использованием АЦП с частотой взятия отсчетов 10 млрд отсчетов/с и скоростью обработки данных 80 Гбит/с.

Поскольку система цифрового запуска использует те же оцифрованные данные, что и тракт сбора данных, можно добиться запуска по событиям сигналов в пределах диапазона АЦП. Компаратор производит сравнение сигнала с заданным порогом запуска для выбранного события запуска. В простейшем случае (запуск по перепаду) возникновение события фиксируется при превышении сигналом порога запуска в требуемом направлении – по переднему или заднему фронту сигнала. В системах цифрового запуска последний характеризуется собранными отсчетами, при этом частота дискретизации должна как минимум в два раза превышать частоту наивысшей составляющей спектра сигнала. Только при соблюдении этого условия можно добиться полного восстановления сигнала.

Запуск, основанный исключительно на отсчетах АЦП, является малоэффективным, поскольку в таком случае возможен пропуск события пересечения порога запуска, поэтому в системах запуска реализован алгоритм увеличения разрешающей способности по времени посредством повышающей дискретизации сигнала до частоты 20 млрд отсчетов/с с использованием интерполятора. Компаратор сравнивает полученные на выходе интерполятора значения отсчетов для определения порога запуска; при обнаружении события запуска происходит изменение уровня сигнала на выходе компаратора.

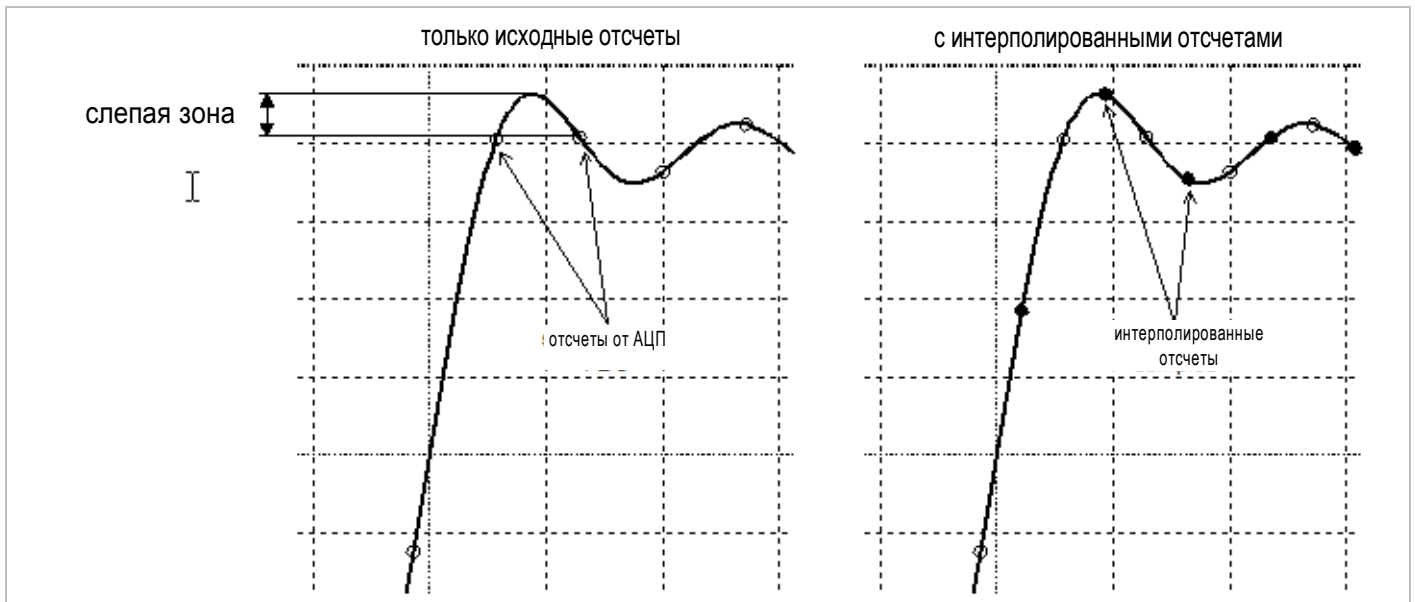


Рисунок 7 – Пропуск в «слепой» зоне

На рисунке 7 приведен пример сужения «слепой» зоны сигнала благодаря расширению разрешающей способности посредством увеличения частоты дискретизации в два раза. В левой части рисунка взятие отсчетов осциллограммы не охватывает выброс на фронте импульса, поэтому последний не будет обнаружен и не вызовет превышения порога запуска при обработке отсчетов АЦП. В правой части рисунка частота дискретизации увеличена в два раза с помощью интерполяции, позволяя обнаружить выброс на фронте импульса и инициировать запуск. Максимальное значение частоты составляет 3,5 ГГц, что позволяет системе запуска по цифровому сигналу обнаруживать частотные составляющие с помощью АЦП, поддерживающего работу на скорости до 10 млрд отсчетов/с.

Поскольку некоторые события запуска, такие как запуск по глитчу или по ширине импульса, основаны на соответствии временным условиям, запуск по цифровому сигналу может быть с высокой точностью инициирован этими событиями благодаря возможности определения точек пересечения порога в реальном масштабе времени. Время срабатывания событий запуска может быть задано с шагом 1 пс, а минимальная ширина обнаружения импульса может быть установлена на значение 100 пс.

Характерные преимущества цифрового запуска приведены в таблице 1.

Процедура запуска

Ждущая развертка запускается в указанной точке, обеспечивая возможность отображения как периодических сигналов, таких как синусоидальные или прямоугольные колебания, так и аperiodических сигналов, таких как одиночные импульсы или импульсы, повторяющиеся с переменной частотой. Самым распространенным типом запуска является запуск по перепаду (фронту), который инициируется при превышении напряжением сигнала некоторого заданного значения.

Для запуска может быть выбран как передний, так и задний фронт сигнала. Запуск по глитчу позволяет инициировать запуск прибора по импульсу, длительность которого больше или меньше некоторого заданного временного интервала. Характерной областью применения запуска такого типа является выявление случайных или периодических ошибок, обнаружение которых связано со значительными трудностями.

Запуск по ширине (длительности) импульса в контексте задачи обнаружения импульсов определенной ширины во многом схож с запуском по глитчу и позволяет выявлять импульсы как отрицательной, так и положительной полярности, а также задавать положение запуска по горизонтальной оси. Преимуществом этого типа запуска является предоставление возможности отображения событий, произошедших до или после запуска, что позволяет выявлять причины возникновения запуска, например, при обнаружении ошибки. Если установить задержку по горизонтальной оси равной нулю, событие запуска будет расположено по центру экрана; при этом события, произошедшие до или после события запуска, будут отображаться в левой или правой частях экрана, соответственно.

Помимо перечисленных выше, существуют и другие типы запуска, предназначенные для применения в конкретных приложениях и позволяющие обнаруживать искомые события. Например, в зависимости от используемого прибора, пользователь может инициировать запуск по амплитуде, времени (ширина импульса, глитч, скорость нарастания напряжения, время установки/удержания и время простоя) и логическому состоянию или шаблону. К другим функциям запуска относятся запуск по последовательным шаблонам, запуск типа A+B и запуск по сигналу параллельной или последовательной шины.

Таблица 1 – Преимущества запуска по цифровому сигналу

Низкий уровень дрожания (джиттера) при обработке сигналов в реальном времени	Использование одних и тех же значений отсчетов для сбора данных и обработки сигналов запуска позволяет добиться чрезвычайно низкого уровня дрожания сигнала запуска (СКЗ ниже 1 пс). В отличие от систем запуска с «программным расширением», реализованным с использованием алгоритмов постобработки, системы с запуском по цифровому сигналу не требуют выдерживания «слепого» временного интервала после каждого цикла сбора данных. Это позволяет прибору R&S®RTO достичь максимальной скорости сбора данных и скорости анализа 1 млн. осциллограмм в секунду.
Оптимальная чувствительность запуска	Чувствительность запуска по аналоговому сигналу ограничена одним делением по вертикальной оси, а для обеспечения устойчивого запуска по зашумленным сигналам можно выбрать более высокое значение гистерезиса при работе прибора в режиме «noise reject» (подавление шума). Однако применение запуска по цифровому сигналу позволяет оптимизировать чувствительность по отношению к соответствующим параметрам сигнала благодаря наличию возможности настройки значения гистерезиса в диапазоне от 0 до 5 делений. Это позволяет осуществлять высокоточный запуск с шагом 1 мВ/дел без ограничения полосы частот.
Отсутствие пропусков событий запуска	При работе с запуском по аналоговому сигналу после возникновения события запуска требуется выдержать некоторый временной интервал, позволяющий привести схему запуска в рабочую готовность; лишь после этого может быть инициирован новый запуск. В течение этого временного интервала осциллограф не реагирует на новые события запуска, что приводит к их пропуску. Применение запуска по цифровому сигналу позволяет обрабатывать отдельные события запуска через 400 пс интервалы с разрешающей способностью 250 фс.
Адаптивная фильтрация сигналов запуска	Специализированная интегральная схема (ASIC), реализующая функции сбора данных и запуска в приборах серии R&S®RTO, обеспечивает возможность гибкого задания частоты среза цифрового ФНЧ в режиме реального времени и применяется для обработки сигналов запуска и/или измеряемых сигналов. Низкочастотная фильтрация сигнала запуска при захвате и отображении неискаженного фильтрацией измеряемого сигнала подавляет лишь высокочастотные помехи.
Распознавание запуска при использовании функции компенсации сдвига по фазе	Временные соотношения между входными каналами осциллографа играют важную роль при проведении измерений и соблюдении условий запуска при параллельной обработке двух и более сигналов. При работе с запуском по аналоговому сигналу используется функция компенсации сдвига по фазе для устранения задержек представленных на разных входах сигналов, обрабатываемых в тракте сбора данных после блока АЦП. Это приводит к сокрытию задержек и влечет за собой неустойчивое отображение обрабатываемых системой запуска сигналов. Запуск по цифровому сигналу использует одни и те же оцифрованные и обработанные данные, поэтому отображаемые осциллограммы и обрабатываемые системой запуска сигналы остаются согласованными во времени даже при использовании функции компенсации сдвига по фазе.

Запуск цифровых осциллографов может осуществляться по обычному и отложенному событиям, позволяя осуществлять управление режимом обнаружения этих событий и осуществлять сброс запуска для повторной инициации последовательности запуска по истечении заданного промежутка времени, при переходе в определенное состояние или при появлении соответствующего события. Это позволяет обнаруживать требуемые события даже в самых сложных сигналах.

Цифровые осциллографы оснащены функцией управления положением запуска, которая позволяет задавать положение запуска по горизонтальной оси на отображении осциллограммы. Управляя этим положением, пользователь может захватывать отображение сигнала, соответствующее одному до события запуска. Положение запуска определяет длительность отображения сигнала до и после точки запуска. Система управления крутизной запуска осциллографа позволяет определить точку сигнала, в которой произойдет запуск (иначе говоря, выбрать запуск по переднему или заднему фронту).

Режимы запуска

Режим запуска определяет условия, при которых осциллограф начнет отображение осциллограммы. В осциллографах представлено два режима запуска: ждущий (normal) и автоматический (auto). При работе в ждущем режиме осциллограф запускает отображение осциллограммы лишь при достижении определенной позиции сигнала. В автоматическом режиме развертка будет запускаться даже при отсутствии событий запуска.

Связь по запуску и функция удержания

Некоторые модели осциллографов поддерживают возможность выбора типа связи по запуску (по переменному (AC) или постоянному (DC) току), а в ряде других реализованы функции подавления сигнала на высоких и низких частотах, а также функция подавления шумов. Расширенные настройки позволяют удалить шумовые и другие частотные составляющие из сигнала запуска, предотвращая возникновение ложного запуска.

Обеспечение запуска в требуемой точке сигнала порой связано с некоторыми трудностями, для преодоления которых в ряде приборов реализована функция «удержания запуска», позволяющая установить некоторый временной интервал после возникновения события запуска, в течение которого прибор не будет реагировать на новые события запуска, что особенно полезно при запуске по сигналам сложной формы.

Система отображения и интерфейс пользователя

Как следует из названия, система отображения осуществляет управление всеми параметрами представления сигнала пользователю. Отдельные элементы системы координат дисплея образуют координатную сетку или визирное перекрестие. Конструкция цифровых осциллографов и выполняемые ими задачи весьма сложны, что накладывает определенные требования на интерфейс пользователя: он должен охватывать все функциональные возможности и при этом обеспечивать простоту управления. Например, сенсорный дисплей приборов серии R&S[®]RTO оборудован органами управления с цветовой маркировкой, содержит меню с линейно-организованной структурой и оснащен клавишами для часто используемых функций. В приборах серии R&S[®]RTM нажатие одной единственной кнопки активирует функцию «быстрого измерения», предназначенную для отображения характеристик текущего сигнала. Помимо этого, система отображения содержит полупрозрачные диалоговые окна, перемещаемые измерительные окна, настраиваемую панель инструментов и пиктограммы предварительного просмотра с отображением осциллограмм в реальном масштабе времени.



Рисунок 8 – Различные типы пробников и аксессуары для пробников

Пробники

Основным назначением пробников является передача в осциллограф сигнала из цепи с обеспечением максимально возможного уровня информационной прозрачности. Пробник – это не просто обычный «аксессуар» для осциллографа, это связующее звено между прибором и испытуемым устройством или цепью. Его электрические параметры, способ подключения и обеспечиваемое взаимодействие между осциллографом и цепью оказывают значительное влияние на выполнение измерения.

Идеальный пробник должен обеспечивать простоту подключения, надежность и безопасность контакта, не ухудшать и не искажать передаваемый сигнал, обладать линейной ФЧХ и не привносить ослабления, поддерживать работу в неограниченной полосе частот, обеспечивать высокую помехоустойчивость и не нагружать источник сигнала. На практике невозможно обеспечить соответствие всем этим требованиям, однако в ряде случаях предлагаемых характеристик будет более чем достаточно для удовлетворения потребностей любого измерения. На практике зачастую случается так, что доступ к измеряемому сигналу сильно затруднен, его импеданс варьируется в широком диапазоне значений, вся измерительная установка обладает высокой чувствительностью к помехам и является частотно-зависимой, полоса частот ограничена, а различия в распространении сигналов порождают некоторое временное рассогласование (фазовый сдвиг) между несколькими измерительными каналами.

К счастью, производители осциллографов делают все возможное для минимизации проблем, связанных с применением пробников, что позволяет упростить и повысить надежность подключения пробников к исследуемой цепи. Например, работать с осциллографом одной рукой, одновременно удерживая пробник в другой, всегда было непросто. Активные пробники осциллографов серии R&S® RTO позволяют пользователи переключаться между функциями осциллографа с помощью кнопки на пробнике, которой можно назначить различные функции.

Прибор также оснащен встроенным вольтметром R&S® ProbeMeter, позволяющим проводить прецизионные измерения по постоянному току, которые превышают по точности измерения с использованием традиционных каналов осциллографа.

Двумя базовыми типами пробников являются пробники напряжения и токовые пробники переменного и постоянного/переменного тока. Однако существуют и другие типы пробников (рисунок 8), предназначенные для проведения особых измерений, в том числе логические пробники для анализа логических состояний цифровых цепей. Пробники для зондирования окружающей среды предназначены для работы в широком температурном диапазоне, а температурные пробники позволяют измерять температуру компонентов и контрольных точек исследуемых цепей, работающих в условиях высоких температур. Помимо этого, существуют пробники, предназначенные для использования в измерительных станциях на уровне подложки кристалла, оптические пробники, которые преобразуют оптические сигналы в электрические и позволяют отображать их на экране осциллографа, а также пробники для измерения сверхвысоковольтных сигналов.



Рисунок 9 – Активные пробники

Пассивные пробники

Являясь самым простым и дешевым типом пробников, пассивные пробники обладают всеми необходимыми возможностями измерения. Основу этих пробников составляют провода и соединители, а при необходимости внесения ослабления – еще и резисторы и конденсаторы. Пассивные пробники не содержат активных компонентов, что позволяет им с присущей надежностью функционировать без необходимости получения электропитания от прибора.

Пробники 1X («однократные») обладают динамическим диапазоном, идентичным диапазону осциллографа, а пробники с ослаблением расширяют (с помощью операции умножения) динамический диапазон прибора посредством уменьшения уровня сигнала в 10, 100 и более раз. Наиболее универсальным типом пробников является пробник 10X, поскольку он в меньшей степени нагружает источник сигнала и поддерживает более широкий диапазон напряжений. Как правило, пробник именно этого типа по умолчанию поставляется с основной массой приборов.

Пассивный высокоимпедансный пробник 1X подключается к 1 МОм входу осциллографа и обладает высокой чувствительностью (вносит малое ослабление); пассивный высокоимпедансный пробник 10X, также подключаемый к 1 МОм входу осциллографа, обеспечивает более широкий динамический диапазон, обладая увеличенным входным сопротивлением и более низким емкостным сопротивлением по сравнению с пробниками 1X. Пассивный низкоимпедансный пробник 10X, подключаемый к 50 Ом входу осциллографа, обладает низким уровнем отклонения значения импеданса при изменении частоты, но существенно нагружает источник сигнала из-за низкого номинального импеданса 50 Ом.

Пробник 1X может оказаться полезным при исследовании низкоамплитудных сигналов, однако если сигнал представляет собой совокупность составляющий с малыми и средними амплитудами, целесообразнее воспользоваться переключаемым пробником 1X/10X.

Полоса частот пассивных пробников, как правило, варьируется в диапазоне от менее 100 до 500 МГц. При работе с 50 Ом оборудованием, обрабатывающим высокоскоростные (высокочастотные) сигналы, требуется наличие 50 Ом пробника, полоса частот которого может составлять несколько гигагерц, а время нарастания сигнала быть равным 100 пс или меньше.

Пассивные пробники поддерживают функцию низкочастотной настройки, используемую при подключении пробника к осциллографу. Низкочастотная коррекция обеспечивает соответствие емкостного сопротивления пробника входной емкости осциллографа. Функция высокочастотной настройки используется только при обработке сигналов, частота которых превышает 50 МГц. Пассивные пробники различных поставщиков, предназначенные для измерения на высоких частотах, настраиваются на заводе, поэтому пользователям необходимо осуществлять лишь низкочастотную настройку. Активные пробники не требуют проведения таких видов настройки, поскольку их характеристики и функции коррекции задаются в заводских условиях.

Активные пробники

Преимущества активных пробников (рисунок 9) заключаются в незначительной нагрузке источника сигнала, настраиваемом смещении по постоянному току для наконечника пробника, обеспечивающем высокую разрешающую способность при обработке низкоуровневых сигналов переменного тока, которые накладываются на постоянные уровни напряжений, и автоматическом распознавании прибором, устраняющем необходимость в проведении ручной настройки. Активные пробники доступны в несимметричном и дифференциальном исполнении. Активные пробники используют активные компоненты, такие как полевые транзисторы, что обеспечивает очень низкую входную емкость и позволяет добиться высокого входного импеданса, уровень которого остается неизменным в широком диапазоне частот. Кроме того, они позволяют измерять сигналы цепей с неизвестным импедансом и поддерживают использование удлиненных заземляющих проводов. Благодаря чрезвычайно низкой нагрузке источника сигнала они незаменимы при подключении к высокоимпедансным цепям, неприемлемо нагружаемым пассивными пробниками.

Однако встроенный в активные пробники буферный усилитель несколько ограничивает рабочий диапазон напряжений, а импеданс активных пробников зависит от частоты сигнала. Кроме того, несмотря на способность работы с напряжениями в тысячи вольт, активные пробники все же являются активными приборами и потому не обладают той механической надежностью, которая присуща пассивным пробникам.

Дифференциальные пробники

Хотя для измерения дифференциального сигнала можно воспользоваться отдельными пробниками, оптимальным решением будет применение дифференциального пробника. Дифференциальный пробник использует встроенный дифференциальный усилитель, предназначенный для реализации операции вычитания двух сигналов, что позволяет ему занимать всего один канал осциллографа, обеспечивая значительно более высокое значение коэффициента ослабления синфазного канала CMRR в более широком частотном диапазоне по сравнению с несимметричными пробниками. Дифференциальные пробники могут использоваться в приложениях, использующих как несимметричную, так и дифференциальную передачу сигналов.

Токовые пробники

Принцип работы токовых пробников основан на измерении напряженности электромагнитного поля при протекании тока через проводник. Затем измеренная напряженность преобразуются в соответствующее напряжение для проведения измерения и анализа в осциллографе. Использование пробников совместно с математическими и измерительными функциями осциллографа обеспечивает возможность проведения широкого спектра измерений мощности.

Высоковольтные пробники

Максимальное напряжения универсальных пассивных пробников, как правило, ограничено значением 400 В. Если в цепи предполагается наличие напряжений уровня 20 кВ, можно воспользоваться специальными пробниками, обеспечивающими безопасность измерения таких напряжений. Несомненно, обеспечение безопасности при проведении измерений на таких высоких напряжениях является задачей первостепенной важности, которая может быть решена благодаря применению высоковольтных пробников с увеличенной длиной кабелей.

Характеристики пробников

Нагрузка цепи

Основополагающей и наиважнейшей характеристикой пробника по отношению к цепи является вносимая им нагрузка, которая может быть резистивного, емкостного и индуктивного типов. Резистивная нагрузка отвечает за ослабление амплитуды, сдвиг смещения по постоянному току и изменение напряжения смещения (bias). Резистивная нагрузка имеет особое значение, если входное сопротивление пробника идентично сопротивлению измеряемой цепи, поскольку часть протекающего в цепи тока поступает в пробник.

Преимущества АЦП без чередования

Измерительный сигнал с выхода пробника в первую очередь поступает на АЦП осциллографа, метод обработки сигнала которого определяет продуктивность работы последующих элементов обработки. АЦП осциллографов, как правило, реализуются на базе нескольких параллельно чередующихся преобразователей, система которых и образует устройство. Однако использование вместо этого одиночного АЦП имеет ярко выраженные преимущества, которые были реализованы компанией Rohde & Schwarz в приборах серии RTO.

Даже при чередовании лишь нескольких преобразователей крайне важно обеспечить минимально возможный уровень изменения уровня шумов, фазовых и частотных характеристик. Кроме того, временные параметры чередования будут иметь ключевое значение, если интервалы измерения составляют десятки или единицы пикосекунд, при этом распределяемый в каждый преобразователь сигнал тактовой частоты дискретизации должен обладать чрезвычайно устойчивыми фазовыми характеристиками во всем частотном диапазоне прибора. Реализация всего вышесказанного является крайне непростой задачей. Положения фаз каждого входящего в АЦП преобразователя на несколько градусов отличаются друг относительно друга, поэтому при чередовании пяти преобразователей будут получены пять различных тактовых частот дискретизации, что повлечет за собой возникновение дополнительных составляющих в окрестности основной частоты.

Уровень этих частотных составляющих, как правило, находится на 40 или 50 дБ ниже предела шкалы (тем не менее, они остаются четко различимыми). Составляющие возникают периодически, что не позволяет усреднить их, как это было бы сделано с шумом. Появление частотных составляющих вызвано временным и/или амплитудным рассогласованием. Вследствие присутствия как в частотной, так и во временной области, они могут принимать вид шума, что вызвано наличием большого числа составляющих на разных частотах, совокупность которых выглядит как случайный сигнал.

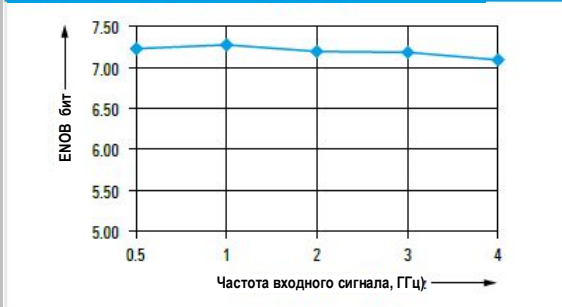
Именно поэтому некоторые производители осциллографов используют множество преобразователей, которые, будучи объединенными в систему, порождают шумоподобный сигнал, который может быть обнаружен и в некоторой степени ослаблен.

(продолжение на странице 15)

(продолжение, начало на странице 15)

Однако это приводит к смешиванию широкополосного информационного сигнала на входе осциллографа с помеховым сигналом преобразователей и порождает дополнительные помехи. Одним словом, общий уровень шума осциллографа (шум + искажения) ограничивает эффективную разрядность АЦП. Поскольку именно чередование нескольких преобразователей вносит основной вклад в общий уровень шума, самым очевидным способом устранения этой проблемы является использование одного АЦП вместо нескольких.

Эффективная разрядность (ENOB)



Стабильно высокая эффективная разрядность АЦП осциллографов серии R&S®RTO гарантирует высокоточное представление сигналов, одновременно обеспечивая сверхвысокий динамический диапазон.

Вот почему компания Rohde & Schwarz реализовала именно этот подход в приборах серии R&S®RTO. Применяемое устройство представляет собой одиночный параллельный преобразователь с разрешающей способностью 8 битов, выполняющий дискретизацию на скорости 10 млрд отсчетов/с и обладающий эффективной разрядностью 7 (из 8-ми возможных). Результатом использования преобразователя является уменьшение уровня собственных шумов системы приблизительно на 6 дБ, приводящее к увеличению отношения сигнал/шум и расширению динамического диапазона, что позволяет с легкостью различать низкоуровневые сигналы.

Кроме того, это позволяет повысить точность измерения в частотной области таких параметров, как мощность канала, общий уровень нелинейных искажений и мощность по соседнему каналу, что стало возможным благодаря предотвращению искажения спектра собственным шумом осциллографа. Эти преимущества были реализованы в специализированных интегральных схемах (ASIC), что позволило значительно увеличить скорость работы прибора на этапе перехода от первичных целочисленных значений с выхода АЦП к осциллограмме измеряемого сигнала. Например, для сбора данных и построения осциллограммы, содержащей 40 млн. отсчетов, обычному осциллографу может потребоваться несколько минут, тогда как прибор серии R&S®RTO выполнит эти операции за считанные доли секунды.

Это, в свою очередь, приводит к уменьшению напряжения цепи в точке контакта с пробником. Порой это не оказывает влияния на корректность работы цепи, но в ряде случаев может приводить к появлению ошибок. Для уменьшения влияния резистивной нагрузки рекомендуется использовать пробники, сопротивление которых в 10 раз превышает сопротивление измеряемой цепи.

Емкостная нагрузка уменьшает скорость нарастания сигнала, сужает полосу частот и увеличивает задержку распространения. Причиной ее возникновения является емкостное сопротивление наконечника пробника. Емкостная нагрузка приводит к появлению частотно-зависимых погрешностей измерения и является большой проблемой при выполнении измерений длительности задержки и времени нарастания сигнала. Своим появлением она обязана емкостному сопротивлению пробника, выступающему при работе на ВЧ в роли ФНЧ, который шунтирует высокочастотный информационный сигнал на землю, тем самым значительно уменьшая входной импеданс пробника на ВЧ. Во избежание этого рекомендуется использовать пробники, наконечники которых обладают низким емкостным сопротивлением.

Влияние индуктивной нагрузки приводит к искажению измеряемого сигнала. Причиной ее возникновения является индуктивное сопротивление контура, образованного наконечником пробника и его проводом заземления. Низкочастотные помехи, вызываемые вносимой в провод заземления индуктивной нагрузкой и емкостным сопротивлением наконечника пробника, могут быть минимизированы с помощью эффективно-го заземления, которое позволяет вынести частоту НЧ-помех за пределы полосы частот прибора. Рекомендуется использовать провод заземления минимально возможной длины, что позволяет уменьшить размер контура и тем самым снизить индуктивность. Более низкое значение индуктивности обеспечивает снижение уровня помех, накладываемых поверх осциллограммы измеряемого сигнала.

Заземление

Обеспечение надлежащего заземления является задачей первостепенной важности при проведении измерений с помощью осциллографа и позволяет добиться высокой точности измерения, гарантируя безопасность пользователя, особенно при работе с высокими напряжениями. Заземление прибора должно быть выполнено с помощью сетевого шнура. Не рекомендуется работать с прибором при отключенном защитном заземлении. Это может повлечь за собой появление нежелательных сетевых помех, если сигнальная земля ИУ подключена к шине заземления через другую электрическую сеть, образуя контур заземления. Общепринятой практикой является развязка сигнальной земли и сетевой шины заземления и обеспечение подключения к сигнальной земле в точке, расположенной как можно ближе к сигнальному контакту.

Рекомендации по выбору пробников

При выборе подходящего пробника напряжения следует руководствоваться такими параметрами, как полоса частот, требуемая для захвата сигнала без внесения искажений, и минимальное значение импеданса, позволяющее минимизировать нагрузку цепи. Номинальная полоса частот осциллографа достижима только при входном импедансе 50 Ом и в ограниченном диапазоне входных напряжений. Полоса частот прибора должна как минимум в пять раз превышать максимальную частоту следования импульсов измеряемого сигнала, что позволяет охватить все частотные составляющие, тем самым обеспечивая целостность сигнала.

Номинальное значение импеданса по постоянному току слишком мало для проведения измерений по переменному току. С ростом частоты происходит уменьшение импеданса, что особенно заметно проявляется при использовании пассивных пробников. Наличие необходимости удержания входного импеданса на уровне, как минимум в 10 раз превышающем значение импеданса источника на наивысшей частоте сигнала, делает задачу выбора пробника весьма тривиальной. Порой это помогает ограничить выбор одной или двумя моделями пробников, параметры которых наилучшим образом удовлетворяют требованиям измерительной установки. Активные пробники позволяют в полной мере оценить преимущества использования всей полосы частот осциллографа в диапазоне СВЧ.

Следует помнить, что наивысшим значением импеданса на НЧ обладают пассивные пробники 10х, которые в принципе не приносят смещений по постоянному току и не приводят к появлению помех. Активные пробники обеспечивают неизменность импеданса на частотах порядка нескольких сотен килогерц и наивысшее значение импеданса на частотах до нескольких сотен мегагерц. Низкоимпедансные пробники обеспечивают постоянное значение импеданса на частотах вплоть до 1 ГГц. И хотя порой ключевым требованием является значение импеданса на одной конкретной частоте, обеспечение низкого, но постоянного значения импеданса позволяет избежать искажения сигналов, содержащих множество частотных составляющих.

Одним словом, использование активных пробников показано при измерении сигналов, частоты составляющих которых превышают 100 МГц, поскольку низкая входная емкость позволяет добиться более высокого значения резонансной частоты. Длина кабелей активных пробников должна быть минимальной, что позволит обеспечить работу в широкой полосе частот. Кроме того, при нестабильном нулевом уровне может потребоваться дифференциальный пробник.

При проведении измерений с помощью пассивных пробников важно использовать модели, рекомендованные к применению для конкретных приборов, даже если кажется, что пробник обладает более широкой полосой частот, чем это необходимо. Низкое значение входной емкости позволяет добиться более высокого значения резонансной частоты. Длина провода заземления должна быть минимальной, что позволит снизить индуктивность контура заземления. Следует быть особенно внимательным при измерении времени нарастания крутых фронтов сигналов, поскольку резонансная частота может быть значительно меньше полосы частот системы. Импеданс пробника должен примерно в десять раз превышать импеданс измеряемой точки цепи, что позволит избежать ее чрезмерной нагрузки.

Анализ технических характеристик осциллографа

Как и любое другое электронное измерительное оборудование, цифровые осциллографы обладают набором основных характеристик. Некоторые из них очевидны, однако другие могут привести в замешательство в связи с особенностями их задания различными производителями или по ряду других причин. Как следствие, приведенные ниже определения являются в некоторой степени обобщенными.

Полоса частот

Максимальная ширина полосы частот является преобладающей характеристикой, указываемой каждым производителем цифровых осциллографов. Она определяет частотный диапазон, сигналы которого могут быть с приемлемой точностью измерены осциллографом. Если полоса частот прибора не отвечает требованиям конкретной области применения, он становится непригодным для проведения точных измерений, поскольку собранных им данных будет недостаточно для полноценного отображения сигнала. Полоса частот осциллографа определяется наименьшей частотой, на которой входной сигнал ослабляется на 3 дБ, то есть частотой, на которой амплитуда синусоидального колебания будет уменьшена до 70,7 % от исходного значения.

Выбор подходящей полосы частот для заданной области применения может оказаться непростой задачей. Самым очевидным способом ее решения является выбор прибора с самой широкой полосой частот. Однако цена за использование осциллографов со сверхширокой полосой частот может оказаться непомерно высокой. Кроме того, расширение полосы частот приводит к увеличению уровня шума и сужению динамического диапазона, что может повлечь за собой возрастание погрешности измерения в той же степени, что и несоответствующая полоса частот. Как следствие, оптимальным будет выбор осциллографа с минимально возможной шириной полосы частот, обеспечивающей полноценное измерение сигналов при работе в соответствующих областях применения.

Основным назначением осциллографов является измерение цифровых импульсов. Идеальным импульсом с бесконечной полосой частот считается прямоугольный сигнал. Частотный спектр такого сигнала состоит из составляющей сигнала на основной частоте и нечетных гармоник. Амплитуда гармоник в частотной области имеет вид функции $\sin(x)/x$, поэтому уровень третьей гармоники находится на 13,5 дБ ниже уровня основной составляющей, а уровень пятой гармоники – на 27 дБ ниже. Седьмая гармоника, уровень которой меньше на 54 дБ, находится ниже уровня собственных шумов большинства осциллографов. Общим правилом при выборе полосы частот осциллографа является так называемое «правило пятой гармоники», основанное на спектре прямоугольного сигнала. Однако в ряде случаев следование этому правилу приводит к выбору чрезмерно широкой полосы частот.

Упомянутый выше спектр относится к прямоугольным сигналам идеальной формы, однако на практике все цифровые сигналы обладают конечным временем нарастания, при этом отличие их спектра от спектра идеального прямоугольного сигнала заключается в уменьшенных амплитудах гармоник высокого порядка. Нередко уровень пятой гармоники находится значительно ниже уровня собственных шумов осциллографа, что позволяет сузить ширину требуемой полосы частот. Как правило, это справедливо для сигналов, передающих информацию на скоростях от 3 Гбит/с и выше, таких как сигналы для последовательной передачи данных, время нарастания которых составляет 30 % от длительности битового интервала. В этом случае для проведения точных измерений можно использовать полосу частот, менее чем в пять раз превышающую частоту основной составляющей.

Достижимая полоса частот также зависит от используемого пробника, не являющегося идеальным устройством и потому обладающего собственной полосой частот, которую необходимо учитывать при проведении измерений. Следует помнить, что полоса частот пробника всегда должна быть как минимум в 1,5 раза шире полосы частот осциллографа. Например, для работы с осциллографом, обладающим полосой частот 1 ГГц, рекомендуется использовать пробник, полоса частот которого составляет 1,5 ГГц, что позволит обеспечить полноценное функционирование. Более высокое значение полосы пробника играет важную роль в контексте обеспечения нахождения измеряемых сигналов на плоском участке АЧХ пробника. В «обычных» осциллографах, полоса частот которых составляет 1 ГГц, ширина этого участка, как правило, составляет одну треть от максимальной ширины полосы частот пробника, т.е. 300 МГц.

Строго говоря, основная масса измеряемых сигналов намного сложнее обычных синусоидальных колебаний. Эти сигналы содержат множество частотных составляющих, таких как гармоники. Например, для отображения цифровых сигналов осциллограф должен обладать полосой частот, ширина которой примерно в пять раз превышает тактовую частоту. При отображении аналоговых сигналов требуемая полоса частот осциллографа определяется наивысшей частотой прибора, к которому он подключается.

Эффективное число битов (ENOB)

Эффективное число битов (ENOB) – это характеристика, с пониманием которой могут возникнуть

некоторые проблемы, поскольку она может относиться как к битам разрешающей способности АЦП, так и к «эффективному» числу битов, которое может быть достигнуто в рамках прибора. Первая характеристика всегда имеет более высокое значение, при этом ни одно из значений ENOB не приводится в техническом паспорте осциллографа. Тем не менее, следует понимать, что обозначает эта аббревиатура. Значение ENOB определяется рядом факторов и меняется в зависимости от частоты, шума входного каскада, нелинейных искажений и искажений, вызванных применением чередования, а также ряда других факторов. Поставщики осциллографов указывают «сырое» значение ENOB (например, более 7 битов из 8 доступных для приборов серии R&S®RTO), которое в большинстве случаев недостижимо. (см. врезку «Преимущества АЦП без чередования» на стр. 15).

Каналы

Когда-то основная масса цифровых осциллографов содержали 2 или 4 канала, однако в наши дни их число может достигать 20, что вызвано необходимостью измерения не только аналоговых, но и сложных цифровых сигналов. Для покупателей осциллографов очень важна возможность точного расчета характеристик ожидаемого числа каналов, поскольку это является хорошей альтернативой использованию аппаратных средств для внешнего запуска. К примеру, при использовании во встроенных приложениях отладки осциллографа смешанных сигналов он будет чередовать 16 логических временных каналов с 2 или 4 традиционными каналами.

Частота дискретизации

Частота дискретизации осциллографа определяется числом отсчетов, которые могут быть собраны за одну секунду, и должна как минимум в 2,5 раза превышать ширину полосы частот осциллографа. Новейшие модели цифровых осциллографов поддерживают чрезвычайно высокие значения частоты дискретизации и обладают полосой частот свыше 6 ГГц, поэтому их основной задачей является работа с одиночными высокочастотными кратковременными событиями. Это стало возможным благодаря применению алгоритма избыточной дискретизации на частотах, которые могут более чем в пять раз превышать номинальную полосу частот. Заявленная производителями осциллографов максимальная частота дискретизации зачастую может быть достижима только при использовании лишь одного или двух каналов. Если одновременно задействуется большее число каналов, частота дискретизации будет снижена. Поэтому число каналов, которые могут быть задействованы без ущерба для максимальной частоты дискретизации прибора, является фактором первостепенной важности. Как и для любых других систем, в которых аналоговые сигналы преобразуются в цифровые, более высокое значение частоты дискретизации позволяет добиться более высокой разрешающей способности, что в случае цифровых осциллографов обеспечивает улучшенное отображение результатов измерения.

Глубина памяти

Важность этой характеристики обусловлена тем, что при увеличении частоты дискретизации также возрастает и объем памяти, требуемой для хранения собранных данных. Чем больше объем памяти прибора, тем больше осциллограмм может быть записано при работе на максимальной частоте дискретизации. По сути, долговременные интервалы сбора данных требуют значительной глубины памяти, однако выбор наибольшего значения глубины памяти может привести к снижению частоты обновления данных на экране осциллографа.

Классические осциллографы в ходе сбора (захвата) данных непрерывно сохраняют, обрабатывают и отображают данные. По сути, в это время прибор является «слепым» по отношению к характеристикам измеряемого сигнала. При работе на самых высоких частотах дискретизации длительность времени простоя может превышать 99,5 % от общего времени сбора данных, поэтому непосредственно на измерения остается менее 0,5 % времени, скрывая возможные сбои сигнала. Вероятно, наиболее острая потребность в отношении подходящей глубины памяти испытывается при измерении случайного или редко возникающего события, поскольку при недостаточной глубине памяти чрезвычайно возрастает вероятность его пропуска. Помимо быстродействующей памяти, осциллографы серии R&S®RTO содержат специализированную интегральную схему (ASIC), осуществляющую параллельную обработку нескольких процессов и существенно снижающую длительность времени простоя, позволяя достичь скорости анализа порядка 1 млн. осциллограмм в секунду, что в 20 раз превышает скорость работы других приборов.

Типы запуска (синхронизации)

К счастью для потенциального покупателя, основная масса осциллографов поставляется с широкими традиционными возможностями запуска, часть которых предназначена специально для работы в широко распространенных областях применения. Это особенно важно в связи с многообразием типов запуска, без ряда которых невозможно обеспечить полноценную работу с некоторыми приложениями. Фактически, каждый цифровой осциллограф поддерживает запуск по перепаду и глитчу, а также запуск по шаблонам. Осциллографы смешанных сигналов поддерживают запуск как по логическим каналам, так и по каналам осциллографа. Инженерам, работающим с общепринятыми интерфейсами последовательной шины, требуются протоколы запуска для SPI, UART/RS-232, CAN/LIN, USB, I2C, FlexRay и других интерфейсов, поэтому теоретические требования к запуску учитываются в ходе определения технических характеристик осциллографа.

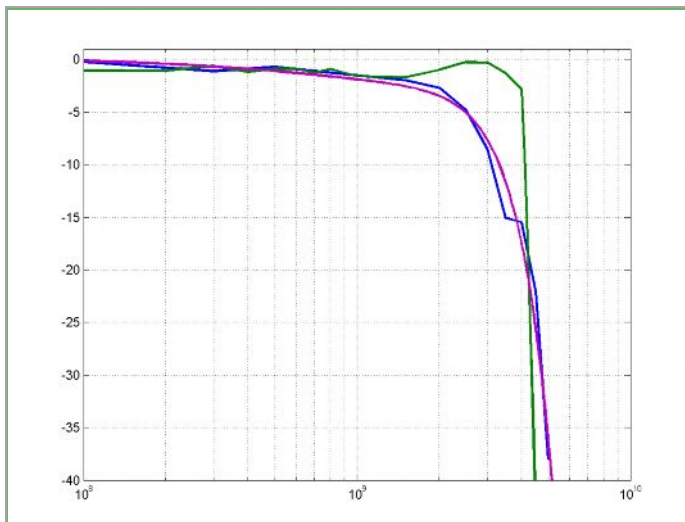


Рисунок 10 – АЧХ гауссовской формы прибора R&S®RTO1024 (синяя) и АЧХ осциллографа с максимально плоской вершиной (зеленая), наложенные на идеальную гауссовскую АЧХ (фиолетовая); график наглядно демонстрирует высокую степень сходства с идеальной АЧХ.

Время нарастания

Абсолютное большинство современных приложений требуют проведения измерений времени нарастания сигнала. В особенности это касается измерения цифровых сигналов, время нарастания которых крайне мало, что делает этот показатель важным, как никогда. Время нарастания сигнала осциллографа, по сути, определяет фактическое значение эффективного частотного диапазона прибора. Осциллограф с более высокой скоростью нарастания предоставляет более точную информацию о фронтах ВЧ-сигналов. С точки зрения пробника отклик на единичное ступенчатое воздействие определяет минимальную длительность импульса, который может быть передан пробником на вход осциллографа. Вообще для этой характеристики правило звучит следующим образом: для проведения высокоточных измерений времени нарастания и спада импульса время нарастания полной системы, то есть осциллографа и пробника, должно быть в 3-5 раз меньше ожидаемой длительности фронтов сигналов.

Амплитудно-частотная характеристика

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) – это, казалось бы, всего лишь очередная характеристика осциллографа, однако именно она вносит основной вклад в его быстродействие, хотя и не указывается производителями в техническом паспорте прибора. Долгое время она оставалась в тени, главным образом потому, что работа с аналоговыми сигналами и осциллографами всегда подразумевала наличие АЧХ с гауссовской формой. Однако АЧХ цифровых осциллографов может иметь максимально плоскую форму или соответствовать характеристикам фильтра Чебышева, Баттерворта, Гаусса и др., при этом каждый тип АЧХ оказывает различное влияние на выбросы или низкочастотные помехи, которые вносят определенный вклад в возникновение погрешностей амплитуды и

времени нарастания, поэтому очень важно иметь полное представление об этой «загадочной» характеристике.

Все сигналы представляют собой совокупность синусоидальных колебаний различных частот и фаз, представляемых в частотной области в виде спектральных линий, каждая из которых по отдельности взвешивается АЧХ осциллографа. Несомненно, было бы очень полезно знать, с какими именно коэффициентами АЧХ осуществляет взвешивание каждой из составляющих сигнала, однако об этом можно лишь догадываться, поскольку в техническом паспорте прибора указаны только полоса частот на уровне 3 дБ и время нарастания.

Каждый производитель имеет свое собственное представление о том, какой должна быть «идеальная» АЧХ. Некоторые уверены, что наилучшие результаты могут быть получены при максимально плоской АЧХ, поскольку она остается неизменной на всем протяжении полосы частот прибора вплоть до частоты среза, после которой начинается резкое падение. Использование такого типа АЧХ также позволяет расширять частотный диапазон прибора, следствием чего является очень высокая крутизна спада характеристики.

Реализация АЧХ максимально плоской формы требует значительных компромиссов. К примеру, применение такой АЧХ приводит к появлению проблем на переходной частоте, поскольку невозможно сделать АЧХ идеально плоской, одновременно обеспечив отсутствие «выбросов» кривой АЧХ на высоких частотах. АЧХ фильтров Баттерворта, Чебышева и других типов также имеют некоторую неравномерность в полосе пропускания, даже при использовании современных цифровых фильтров.

Компания Rohde & Schwarz уверена, что традиционная АЧХ гауссовской формы является наилучшим компромиссом между несовместимыми характеристиками и обеспечивает наивысшую общую точность, сводя к минимуму низкочастотные помехи и выбросы. Она обладает уникальной возможностью реализации как во временной, так и в частотной областях, в обоих случаях обеспечивая отсутствие низкочастотных помех. АЧХ 2 ГГц-осциллографа R&S®RTO, наряду с максимально плоской АЧХ 4 ГГц-осциллографа (рисунок 10), наглядно демонстрируют высокую степень сходства формы АЧХ прибора R&S®RTO с гауссовской кривой «из учебника». На рисунке 11 приводится сравнение переходных характеристик обоих осциллографов, наглядно демонстрирующее, что выбросы прибора R&S®RTO находятся на уровне примерно 1 %, тогда как выбросы осциллографа с максимально плоской АЧХ – на уровне 8 %. Применение АЧХ с нормальным распределением приводит к необходимости компромисса в виде более узкой полосы частот по уровню 3 дБ, поскольку АЧХ такого типа обладает высокой крутизной спада. Тем не менее, она обеспечивает самую высокую точность (особенно на фронтах сигналов), предотвращает возникновение низкочастотных помех и демонстрирует

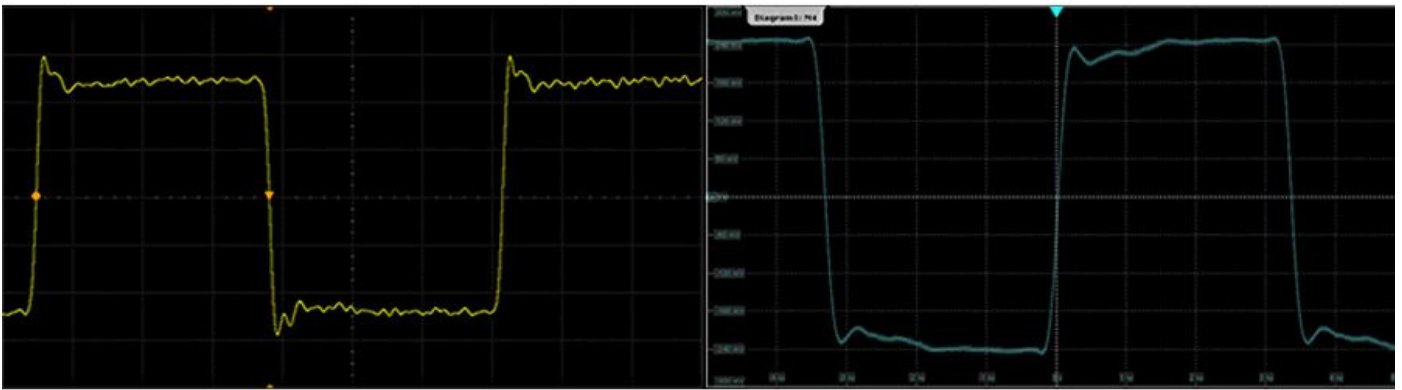


Рисунок 11 – Переходные характеристики двух осциллографов, показывающие, что прибор R&S® RTO1024 демонстрирует выбросы на уровне примерно 1 %, тогда как его аналог с максимально плоской АЧХ – на уровне 8 %.

выбросы на уровне менее 1 %, что значительно ниже среднего по отрасли значения – от 5 до 10 % или более. Уменьшение уровня выбросов (максимальный размах амплитуды, выраженный в процентах от общей амплитуды) играет крайне важную роль, поскольку в ином случае характеристики ИУ будут искажены, что приведет к невозможности проведения точных измерений.

Погрешность усиления (по вертикали) и временной развертки (по горизонтали)

Низкий уровень погрешности усиления осциллографа является основным фактором обеспечения высокой точности изменения амплитуды входного сигнала системой вертикального отклонения, а погрешность временной развертки определяет способность системы горизонтального отклонения отображать временные характеристики сигнала.

Разрешающая способность АЦП по вертикали

Разрешающая способность по вертикали – это показатель точности, с которой АЦП преобразует аналоговое напряжение в цифровой двоичный код. Например, 8-разрядный АЦП преобразует сигнал в 256 дискретных уровней напряжения, распределенных в соответствии с параметром «вольт на деление». При выбранном значении параметра 1 мВ/деление значение младшего разряда составляет 39 мкВ. Эта характеристика отличается от эффективного числа битов, поскольку не учитывает неидеальность характеристик АЦП и входного каскада осциллографа.

Чувствительность по вертикали

Способность усилителя вертикального отклонения увеличивать напряжение сигнала носит название чувствительности по вертикали и обычно составляет около 1 мВ на вертикальное деление экрана. Не все осциллографы обладают чувствительностью, равной 1 мВ на деление, и многие из них полагаются на ПО, позволяющее компенсировать недостаток чувствительности, что приводит к уменьшению эффективного числа битов осциллографа.

Кроме того, для устранения этого недостатка зачастую применяется ограничение ширины полосы частот, особенно при более низких значениях напряжения на деление шкалы.

Дисплей и интерфейс пользователя

В то время как отдельные характеристики определяют быстродействие осциллографа, дисплей и интерфейс пользователя отвечают за удобство в использовании и наглядность отображения результатов. Производители осциллографов сходятся во мнении о том, каким должен быть дисплей прибора. В наши дни, как правило, применяется жидкокристаллический тонкопленочный дисплей (TFT LCD) с высоким разрешением, иногда оснащенный системой светодиодной подсветки. Однако интерфейс пользователя в значительной степени зависит от производителя осциллографа, изменяясь с каждым новым поколением приборов. Такие показатели, как простота проведения измерений пользователем, а также скорость и точность, позволяющие интерпретировать полученные результаты, являются субъективными, поэтому при выборе осциллографа крайне желательно в полной мере изучить каждый из рассматриваемых вариантов.

Коммуникационные возможности

В наши дни цифровые осциллографы оснащаются широким спектром интерфейсов связи, начиная с традиционных GPIB и RS-232 и заканчивая Ethernet и USB. Еще не так давно единственным вариантом обмена данными являлось применение компакт-диска с многократной записью (CD-RW), в настоящее же время это намного проще выполняется с помощью простого USB-флэш накопителя, а за удаленную передачу данных теперь отвечает Интернет. Все это также открывает возможности для загрузки обновлений встроенного ПО, опций и других функций. Кроме того, наличие Ethernet-интерфейса обеспечивает возможность управления прибором и обмена данными с любым адресатом, имеющим доступ в Интернет, что позволяет сделать осциллограф частью более крупной автоматизированной испытательной системы.

Основные типы измерений с использованием осциллографа

Как аналоговый, так и цифровой осциллограф представляет собой универсальную единицу контрольно-измерительного оборудования. Несмотря на то, что основным назначением осциллографа является измерение и отображение напряжений, его функциональные возможности простираются гораздо дальше. Помимо приведенных ниже, существуют и другие типы измерений, используемые в конкретных областях применения, описание которых приводится в указаниях по применению и других документах, широко доступных в Интернете. Они охватывают описанные здесь автоматические измерения, а также обнаружение сигналов, проведение анализа в коммерческих и оборонительных системах и многие другие области.

Измерения напряжения

Базовое измерение напряжения – это, фактически, тот самый основной этап, по прохождении которого становятся доступны многие другие типы вычислений. Например, измерение размаха напряжения используется для расчета разности напряжений в точках осциллограммы с самым высоким и самым низким уровнями, а измерение среднеквадратического значения (СКЗ) напряжения впоследствии может быть использовано для определения уровня мощности.

Измерения фазового сдвига

Осциллограф предлагает удобный способ измерения фазового сдвига с помощью функции «XY mode» (режим XY). Для проведения измерения один входной сигнал подается на систему вертикального, а второй – на систему горизонтального отклонения. Результатом является образование фигур Лиссажу, показывающих относительные фазы и частоты переменных напряжений. Их форма позволяет определять разность фаз и соотношение частот двух сигналов.

Измерения времени

Осциллограф может применяться для проведения измерений временных интервалов по горизонтальной шкале, что используется для расчета характеристик импульсов. Иными словами, частота – это обратная к периоду величина, поэтому для определения частоты необходимо поделить 1 на известное значение периода. Четкость отображения информации может быть улучшена путем увеличения масштаба требуемого участка сигнала.

Измерение ширины и времени нарастания импульсов

Измерение ширины (длительности) и времени нарастания импульсов играет ключевую роль во многих областях применения, поскольку наиболее важные характеристики этих импульсов могут исказиться, что приведет к снижению эффективности функционирования или полному отказу цифровых цепей. Ширина импульса определяется как время нарастания от 50 % от уровня полного размаха амплитуды до его максимального значения и обратного снижения до уровня 50 %.

Измерение ширины импульсов отрицательной полярности позволяет определить время снижения от 50 % от уровня полного размаха амплитуды до его минимального значения и последующего обратного нарастания до уровня 50 %. Еще одним параметром импульсных сигналов является их время нарастания, которое определяется как время увеличения амплитуды импульса от 10 % до 90 % от значения полного напряжения. Эти отраслевые нормативы гарантируют отсутствие неравномерностей в верхних точках фронтов импульсов.

Анализ последовательных шин данных

Анализ последовательных протоколов передачи данных, таких как I2C, SPI, UART / RS-232, CAN, LIN, FlexRay и другие, является еще одним часто используемым набором измерений, выполняемых с помощью осциллографа. Эти возможности измерения, как правило, входят в состав одной или нескольких опций ПО и могут быть добавлены при возникновении соответствующих потребностей.

Анализ спектра, статистические данные и математические функции

Помимо статистических функций, таких как построение гистограммы и вычисление средних значений, к измеряемым сигналам могут быть применены математические функции. Это позволяет упростить анализ осциллограммы, обеспечивая отображение данных с большей степенью информативности. Объединение и преобразование опорных осциллограмм и других данных в расчетную осциллограмму позволяет получить требуемое приложением представление данных.

Основная масса осциллографов оснащена математическими функциями, позволяющими складывать, вычитать, перемножать и делить сигналы различных каналов. Среди других базовых математических функций стоит упомянуть преобразование Фурье, обеспечивающее частотное представление сигнала на экране осциллографа, а также функцию определения абсолютного значения, которая показывает соответствующее значение напряжения осциллограммы.

Программная реализация математических операций, тестирования по маске, гистограмм, отображения спектра и автоматических измерений потребляет вычислительные ресурсы, что приводит к увеличению интервалов времени простоя и замедлению скорости отклика прибора. Компания Rohde & Schwarz воплотила накопленный опыт работы в области анализа спектра, реализовав все эти функции аппаратно, что в сочетании с малошумящими входными каскадами и высоким эффективным числом битов АЦП обеспечило возможность проведения полнофункционального анализа спектра на базе БПФ.

Высокое быстродействие функции БПФ и высокая скорость сбора данных обеспечивают отображение спектра в режиме реального времени. Это позволяет

добиться четкости отображения быстрых изменений сигнала, помех и низкоуровневых наложенных сигналов.

Функции тестирования по маске приборов серии R&S®RTO также были реализованы аппаратно, что позволило добиться неизменно высокой скорости сбора данных даже при обработке достаточно большого числа осциллограмм, требуемых для получения статистических данных. Доступность сохраненных осциллограмм для проведения анализа позволяет быстро обнаруживать сбои сигнала и выявлять причины их возникновения с высокой степенью достоверности.

Заключение

Осциллограф – в высшей степени универсальный прибор, который используется в самых разнообразных средах разработки. По сути, чем выше эффективность работы систем горизонтального и вертикального отклонения, тем с большей точностью будет отображен сигнал. Кроме того, гибкие возможности запуска позволяют настраивать осциллограф на захват случайных или редко возникающих сигналов. Пробник (или набор пробников) соответствующего типа незаменим для переноса исследуемого сигнала в измерительную систему. Как уже говорилось ранее, цифровые осциллографы находят свое применение в различных областях, а их производители неизменно предоставляют указания по применению и другие важные документы с описанием приборов.

Помимо прочего, в этих документах содержится большой объем информации по каждой освещенной в настоящем пособии теме, что в ряде случаев может оказаться полезным. Поэтому после приобретения осциллографа в первую очередь необходимо получить как можно больше информации о работе прибора в требуемых областях применения.

А

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП): входящее в состав осциллографа устройство, преобразующее входные аналоговые сигналы в цифровой двоичный код; эффективность работы этого устройства определяет быстроедействие осциллографа.

Аналоговый сигнал: непрерывный электрический сигнал, амплитуда или частота которого варьируется в ответ на изменение напряжения.

В

Временная развертка (подсистема): электрическая схема прибора, управляющая временной разверткой.

Время нарастания сигнала: значение, определяемое как время увеличения амплитуды импульса от 10 % до 90 % полного напряжения.

Г

Глитч: кратковременное и, как правило, нежелательное событие, которое исчезает само по себе, что делает процесс устранения причины его возникновения крайне сложной задачей.

Горизонтальная развертка: процесс, запускаемый системой горизонтального отклонения прибора и формирующий отображение осциллограммы.

Д

Деление: ячейка координатной сетки, формируемая вертикальными и горизонтальными линиями на дисплее осциллографа.

Дискретизация: процесс захвата дискретных отсчетов входного сигнала, которые впоследствии преобразуются в цифровую форму, сохраняются в памяти и обрабатываются осциллографом.

Дискретизация в реальном масштабе времени: режим дискретизации осциллографа, позволяющий производить сбор очень большого числа отсчетов в рамках единичного запуска.

З

Запуск (подсистема): подсистема осциллографа, определяющая условия отображения первого экземпляра сигнала.

К

Координатная сетка: вертикальные и горизонтальные линии на дисплее осциллографа.

Кратковременное событие: одиночный импульс, однократно возникающий в ходе сбора данных сигнала (также известно как однократное событие).

Крутизна: отношение вертикального участка отображаемой кривой к горизонтальному, которое является положительным при возрастании и отрицательным при снижении кривой в направлении слева направо.

Н

Нагрузка цепи: следствие взаимодействия пробника с испытуемым прибором или цепью. Степень этого взаимодействия определяет влияние пробника на прибор и цепь.

О

Огибающая: граница раздела, сформированная наибольшими и наименьшими точками сигнала, полученными по большому числу экземпляров осциллограмм в ходе сбора данных.

Однократный импульс: захваченное осциллографом кратковременное событие, однократно возникающее в потоке сигнала.

Осциллограф смешанных сигналов: цифровой осциллограф, оснащенный двумя или четырьмя аналоговыми каналами и 16-ю цифровыми каналами, и обладающий функционалом логического анализатора.

Отсчеты: данные, формируемые АЦП и используемые для расчета точек осциллограммы.

П

Полоса частот: частотный диапазон осциллографа, ограничивающийся точкой, в которой уровень его АЧХ уменьшается на 3 дБ (т.е. это полоса частот по уровню -3 дБ).

Предварительный запуск: способность цифровых осциллографов осуществлять захват характеристик сигнала до и после события запуска.

Пробник: устройство для ввода данных в осциллограф, подключаемое к испытуемому прибору или цепи.

Р

Разрешающая способность по вертикали: точность, с которой АЦП и осциллограф преобразуют входной аналоговый сигнал в цифровую форму.

Режим поиска пиков: режим сбора данных цифрового осциллографа, позволяющий отображать критически важные и сложные для обнаружения сигналы.

Режим сбора данных: метод получения точек осциллограммы из отсчетов; в число стандартных входят режим дискретизации, режим поиска пиков, режим высокой разрешающей способности, режим усреднения и режим огибающей.

Т

Точка осциллограммы: напряжение сигнала в некоторой временной точке, рассчитанное с использованием значений отсчетов.

Точность масштабирования: способность системы вертикального отклонения осциллографа ослаблять или усиливать сигнал.

У

Удержание запуска: определяемый пользователем минимальный временной интервал между запусками, используемый при необходимости осуществления запуска по началу сигнала, а не по случайному участку осциллограммы.

Уровень запуска: значение напряжения, которое должно быть достигнуто входным сигналом для инициации запуска.

Усреднение: операция, выполняемая системой цифровой обработки сигналов осциллографа и позволяющая уменьшить уровень шума в сигнале и на отображении.

Ц

Цифровой сигнал: сигнал, информационные данные которого представляют собой последовательность битов, в противоположность аналоговому сигналу, представляющему собой непрерывный диапазон напряжений.

Цифровой стробоскопический осциллограф: осциллограф, позволяющий анализировать сигналы, частоты которых превышают частоту дискретизации прибора.

Ч

Частота дискретизации: частота, с которой цифровой осциллограф дискретизирует сигнал, измеряемая в числе отсчетов в секунду.

Частотная характеристика: кривая, характеризующая точность представления осциллографом амплитуды входного сигнала в некотором частотном диапазоне. Идеальная характеристика обладает равномерно плоской вершиной, однако на практике это недостижимо.

Чувствительность по вертикали: коэффициент, характеризующий возможность усиления сигнала усилителем вертикального отклонения.

Э

Эффективное число битов (ENOB): фактическое число битов АЦП или цифрового осциллографа, определяющее разрешающую способность после преобразования аналогового сигнала в цифровую форму. Эффективное число битов АЦП, как правило, меньше заявленного.

О компании Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz представляет собой независимую группу компаний, специализирующуюся на производстве электронного оборудования. Компания Rohde & Schwarz является ведущим поставщиком решений в области контрольно-измерительного оборудования, теле- и радиовещания, радиоконтроля и радиолокации, а также систем защищенной радиосвязи.

Rohde & Schwarz успешно работает уже 75 лет, представительства и сервисные центры компании находятся в более чем 70 странах. Головной офис компании расположен в Мюнхене, Германия.

Контакты в регионах

I Северная Америка | 1 888 837 8772

customer.support@rsa.rohde-schwarz.com

I Европа, Африка и Ближний Восток | +49 89 4129 123 45

customersupport.asia@rohde-schwarz.com

I Латинская Америка | +1 410 910 7988

customersupport.la@rohde-schwarz.com

I Азия/Тихоокеанский регион | +65 65 13 04 88

customersupport.asia@rohde-schwarz.com

Представительство в Москве:

115093, г.Москва ул.Павловская, 7, стр.1, этаж 5

тел. +7 (495) 981 35 60

факс + 7 (495) 981 35 65

info.russia@rohde-schwarz.com

www.rohde-schwarz.ru

www.rohde-schwarz-scopes.com