

Выбираем осциллограф

Часть 1

Андрей Антонов (г. Волгоград)

В статье представлены основные типы цифровых осциллографов и описано их функциональное предназначение, а также особенности архитектуры, на основе которой реализован тот или иной тип измерительного прибора.

Типы осциллографов

Осциллограф – это графическое устройство, формирующее график электрического сигнала, как правило, временную зависимость напряжения. По горизонтальной оси такого графика мы можем наблюдать время, по вертикальной оси – напряжение или, как говорят, осциллограф формирует временную развёртку сигнала. Используя различную яркость изображения на экране осциллографа, можно графически выразить ещё одну величину исследуемого сигнала – его интенсивность, как показано на рисунке 1.

Осциллограф – это измерительный прибор, который позволяет [1]:

- наблюдать форму исследуемого сигнала и динамику её изменения;
- определять временные параметры сигнала и значения напряжения;
- определять частоту осциллирующего сигнала;
- наблюдать сдвиг фаз, возникающий при прохождении различных участков изучаемой электрической цепи;
- наблюдать искажения сигнала, вносимые каким-то участком цепи;
- выяснять постоянную (DC) и переменную (AC) составляющие сигнала;
- выяснять соотношение сигнал/шум и то, является ли шум стационарным, или же он изменяется с течением времени.

Все электронные устройства можно условно разделить на две катего-

рии: аналоговые и цифровые. Аналоговое оборудование работает с непрерывно изменяющимися физическими величинами, например напряжениями, в то время как цифровые устройства работают с дискретными двоичными числами, представляющими значения напряжения.

Аналогично на два типа можно разделить осциллографы: аналоговый и цифровой. Исторически появившись раньше, аналоговые осциллографы постепенно уходят в прошлое. Но, тем не менее, нельзя не отметить преимущества аналогового прибора, в котором отсутствуют шумы, имеющие цифровую природу, такие как, например шум аналого-цифрового преобразователя, проявляющийся в ступенчатости осциллограммы. Аналоговые приборы наиболее точно передают форму исследуемого сигнала.

В отличие от аналогового, цифровой осциллограф использует аналого-цифровой преобразователь для получения значения напряжения в виде цифровой информации. Цифровой осциллограф захватывает сигнал, производя выборку из него и тем самым создавая ряд образцов (сэмплов) сигнала, которые накапливаются и запоминаются, пока не будет получено достаточное их количество для формирования формы сигнала на экране. Пример цифрового осциллографа показан на рисунке 2.

Если осциллограф выполнен в виде портативного устройства, то, зачастую, он совмещается с мультиметром. Такие приборы называют скопметрами. Пример такого прибора показан на рисунке 3. Неоспоримыми преимуществами таких устройств являются независимость от питающей сети, компактность, мобильность и универсальность.

Зачастую цифровые осциллографы могут содержать в одном корпусе дополнительные устройства, расширяющие их функциональные возможности. Это могут быть, например, цифровой анализатор, функциональный генератор или же генератор цифровых последовательностей.

Осциллографы на базе ПК, или как их ещё называют, USB-осциллографы (см. рис. 4), становятся всё более популярными, поскольку они дешевле традиционных. Используя компьютер, они получают большой цветной дисплей, быстрый процессор, возможности сохранения данных на диск и работы на клавиатуре. Другим большим их преимуществом является возможность быстрого экспорта данных в электронные таблицы. Среди USB-приставок часто попадаются настоящие «комбайны», совмещающие несколько устройств в одном корпусе: осциллограф, цифровой анализатор, генератор сигналов произвольной формы и генератор цифровых последовательностей. За удобство и универсальность «комбайнов» приходится расплачиваться худшими характеристиками, нежели у их автономных собратьев.

Большинство современных цифровых осциллографов позволяют задать автоматические параметрические

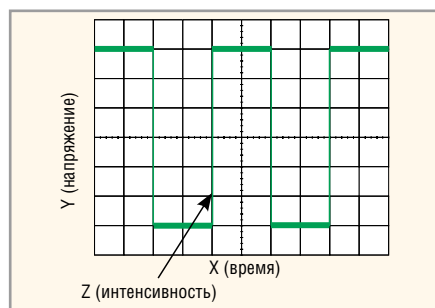


Рис. 1. Электрический сигнал на экране осциллографа



Рис. 2. Цифровой осциллограф



Рис. 3. Скопметр

измерения, упрощая тем самым процесс измерения.

Преимущества цифровых осциллографов перед аналоговыми собратьями:

- портативность и небольшой вес;
- возможность измерения одиночного сигнала;
- возможность проведения измерений «на экране»;
- цветной дисплей;
- возможность хранения, печати данных;
- возможность цифровой обработки данных;
- возможность обработки данных с использованием внешнего компьютера;
- возможность применения к сигналам цифровых фильтров.

Цифровые осциллографы могут быть классифицированы как: цифровые запоминающие осциллографы, осциллографы с цифровым люминофором, осциллографы смешанных областей, осциллографы смешанных сигналов, цифровые стробоскопические осциллографы [2].

ЦИФРОВЫЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

Цифровые запоминающие осциллографы (Digital Storage Oscilloscope) часто называют просто цифровыми осциллографами. Они, как правило, содержат растровый дисплей, в отличие от экранов с люминофором в аналоговых предшественниках.

Цифровые осциллографы позволяют захватывать и просматривать события, которые могут произойти только однажды, как в случае переходных процессов. Поскольку информация о сигнале преобразуется в цифровой вид как последовательность двоичных значений, она может быть проанализирована, сохранена, показана визуально, распечатана на физическом носителе и обработана как самим осциллографом, так и при помощи внешнего компьютера. Сигнал не обязательно должен быть непрерывным – он может отображаться на экране, даже когда пропадает. В отличие от аналоговых приборов, цифровые осцилло-

графы обеспечивают постоянное хранение сигнала и дают возможности для его расширенной обработки. Однако цифровые осциллографы обычно не отражают градации интенсивности в реальном времени.

Цифровые осциллографы содержат некоторые блоки, которые можно встретить и в аналоговых приборах, но в них дополнительно имеются и блоки обработки данных, используемые для накопления и отображения данных осциллограммы.

АРХИТЕКТУРА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Цифровые запоминающие осциллографы используют архитектуру последовательной обработки для захвата и отображения сигнала на экране, как это показано на рисунке 5.

Так же, как и в аналоговых устройствах, первым (входным) контуром цифрового осциллографа является усилитель вертикального отклонения. Этот блок позволяет регулировать диапазон амплитуды. Далее идёт аналого-цифровой преобразователь (АЦП) в системе горизонтальной развертки, который производит выборку образцов сигнала в дискретные моменты времени и преобразует напряжение сигнала в эти моменты в цифровые значения, называемые точками выборки. Этот процесс ещё называют оцифровкой сигнала.

Схема синхронизации системы горизонтальной развертки определяет, как часто АЦП производит выборку. Эта скорость называется частотой выборки и выражается числом выборок в секунду (выб/с). Точки выборки, полученные АЦП, сохраняются в памяти выборок (Acquisition Memory) как точки формы сигнала. Несколько точек выборки могут являться одной точкой сигнала. Все вместе точки сигнала составляют одну запись сигнала. Число точек сигнала, используемое для создания записи сигнала, называется длиной записи. Система запуска определяет начальную и конечную точки записи.

Сигнальный тракт цифрового осциллографа включает в себя микропроцессор, который обрабатывает сигнал,



Рис. 4. Осциллограф-приставка к ПК

управляет отображением на экране, считывает параметры, задаваемые органами управления прибора и выполняет ещё множество различных функций. Затем сигнал поступает в память дисплея и отображается на экране осциллографа.

В зависимости от характеристик конкретной модели осциллографа, возможна дополнительная обработка точек выборки, улучшающая отображение. Также возможно наличие в устройстве претриггера, позволяющего наблюдать события до момента запуска.

ОСЦИЛЛОГРАФЫ С ЦИФРОВЫМ ЛЮМИНОФОРОМ

Осциллограф с цифровым люминофором (Digital Phosphor Oscilloscope) использует новый принцип в архитектуре осциллографа. Эта архитектура даёт уникальные возможности захвата и отображения для точного воспроизведения сигнала.

В то время как цифровой запоминающий осциллограф использует архитектуру последовательной обработки для захвата, отображения и анализа сигналов, осциллограф с цифровым люминофором использует параллельную архитектуру обработки для выполнения этих функций, как это показано на рисунке 6.

Эта архитектура использует специализированную ПЛИС для получения изображений форм сигналов, обеспечивая высокую скорость захвата, которая приводит к более высокому уровню визуализации сигнала. Такая реа-

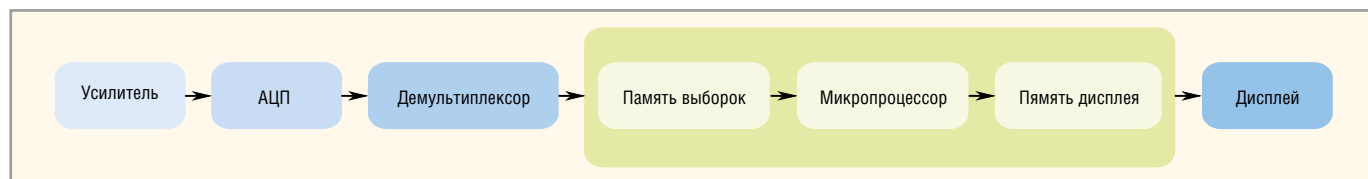


Рис. 5. Архитектура последовательной обработки цифрового запоминающего осциллографа

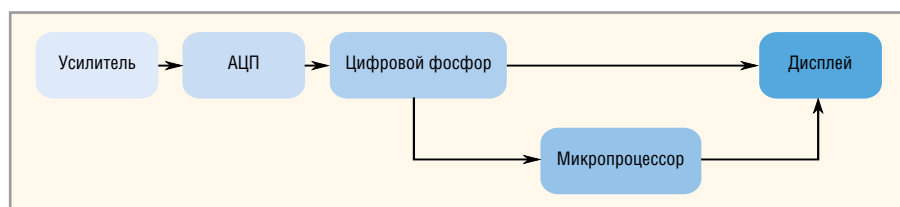


Рис. 6. Архитектура параллельной обработки в осциллографе с цифровым люминофором

лизация увеличивает вероятность обнаружения переходных процессов, происходящих в цифровых системах (маленькие импульсы, выбросы), а также даёт дополнительные возможности для анализа.

АРХИТЕКТУРА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Первый узел осциллографа с цифровым люминофором идентичен узлу аналогового прибора – это усилитель вертикального отклонения. Второй контур аналогичен контуру цифрового запоминающего осциллографа – это АЦП. Существенные отличия от предшественников можно увидеть после аналого-цифрового преобразования.

Для любого осциллографа – аналогового, цифрового запоминающего или с цифровым люминофором – всегда существует время задержки, в течение которого прибор обрабатывает последние запомненные данные, возвращает систему в исходное состояние и ожидает следующего события запуска. В течение этого времени осциллограф «слеп» к любым изменениям входного сигнала. Вероятность обнаружить редкое событие уменьшается по мере роста времени задержки.

Необходимо отметить, что невозможно определить вероятность захвата, основываясь на скорости обновления изображения на дисплее. Если полагаться только на скорость обновления, то легко ошибиться, полагая, что осциллограф захватывает всю необходимую информацию о сигнале, когда, в действительности, это не так.

Цифровой запоминающий осциллограф обрабатывает захваченные сигналы последовательно. Скорость работы его микропроцессора ограничивает скорость захвата сигнала и, поэтому, является узким местом в этом процессе. Осциллограф с цифровым люминофором записывает оцифрованные данные сигнала в базу данных цифрового люминофора. Каждую 1/30 секунды, так же быстро, как человеческий глаз может это воспринимать, снимок изображения сигнала, который хранит-

ся в базе данных, передаётся прямо в систему отображения. Эта прямая характеристика сигнальных данных и прямое копирование в память дисплея из базы данных позволяют избежать узкого места в обработке данных, присущего другой архитектуре. Результатом этого является обновление изображения в реальном времени. Детали сигнала, скачкообразные события и динамические характеристики сигнала захватываются в реальном времени. Микропроцессор осциллографа с цифровым люминофором работает параллельно с его интегрированной системой захвата для управления отображением, автоматизации измерений и управления прибором, так что он не влияет на скорость захвата осциллографа.

Осциллограф с цифровым люминофором обладает лучшим свойством аналогового осциллографа – отображает сигнал в трёх измерениях: время, амплитуда и распределение амплитуды с течением времени. И всё это в реальном времени.

В отличие от аналогового осциллографа, использующего физический люминофор, осциллограф с цифровым люминофором использует чисто электронный цифровой люминофор, который, на самом деле, является постоянно обновляемой базой данных. Эта база данных имеет отдельную информационную «ячейку», сопоставленную с каждым отдельным пикселем на экране осциллографа. Каждый раз, при запуске осциллографа, сигнал записывается в базу данных цифрового люминофора. Интенсивность накапливается в ячейках, где сигнал проходит чаще всего.

Когда база данных цифрового люминофора выводится на экран осциллографа, дисплей показывает интенсивность области осциллограмм, пропорционально частоте возникновения сигнала в каждой точке – так же, как изменяется яркость в аналоговом осциллографе. Осциллограф с цифровым люминофором также позволяет выделить события в зависимости от частоты их появления, используя для этого контрастные цвета на экране, что

выгодно отличает его от аналогового осциллографа.

Осциллографы с цифровым люминофором стирают границы между технологиями цифровых и аналоговых осциллографов. Они одинаково хорошо подходят для исследования высоко- и низкочастотных сигналов, периодических сигналов, наблюдения переходных процессов и для наблюдения за изменением сложных сигналов в реальном времени. Только осциллограф с цифровым люминофором обеспечивает визуализацию интенсивности в режиме реального времени – возможность, которая отсутствует у обычных цифровых запоминающих осциллографов.

Такой тип осциллографов идеально подходит для задач, связанных с поиском неисправностей в электронных устройствах, а также для тестирования различных устройств с целью поиска редко возникающих явлений.

ОСЦИЛЛОГРАФЫ СМЕШАННЫХ ОБЛАСТЕЙ

Осциллографы смешанных областей (Mixed Domain Oscilloscope) совмещают в себе радиочастотный анализатор спектра с осциллографом смешанных сигналов или осциллографом с цифровым люминофором, позволяя получать коррелированные картинки цифровых, аналоговых и радиочастотных сигналов. Например, осциллограф смешанных сигналов позволяет наблюдать коррелированные по времени изображения сигнала протокола, состояние логики, модулируемый аналоговый и радиочастотный сигналы в проектах встраиваемых систем. Это помогает лучше понять суть происходящих явлений при наблюдении различных аспектов одного и того же процесса.

Понимание временной задержки между командой микропроцессора и событием радиочастотного сигнала во встраиваемом устройстве упрощает тестовые настройки и позволяет производить сложные измерения на лабораторном столе. Для встраиваемых радиомодулей, таких как Zigbee, можно производить запуск при появлении радиочастотного события и наблюдать задержку командной строки микроконтроллера, декодирующего управляющие строки SPI, токопотребление и напряжение в момент включения и результирующие спектральные изменения (см. рис. 7).

На одном экране имеются коррелированные по времени виды всех обла-

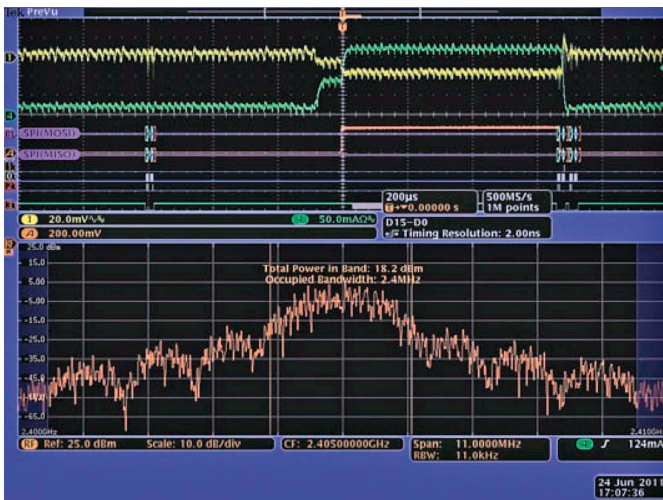


Рис. 7. Изображение на экране осциллографа смешанных областей [2]

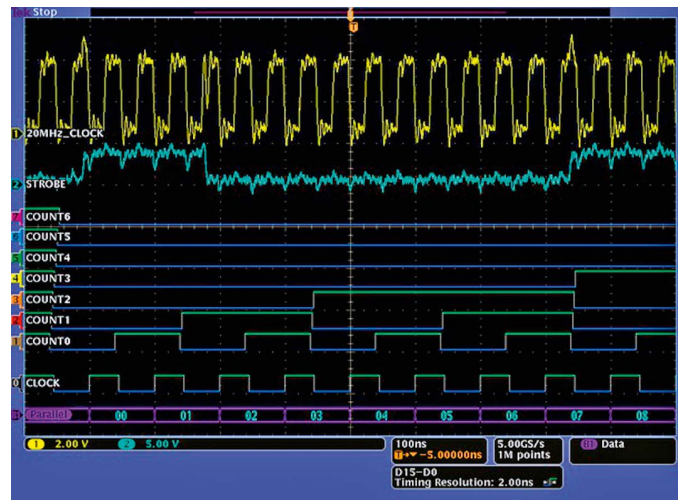


Рис. 8. Одновременное исследование аналоговых и цифровых сигналов на экране осциллографа смешанных сигналов [3]

тей радиосигнала: цифровой (протокол), аналоговой и радиочастотной.

Осциллографы смешанных сигналов

Осциллографы смешанных сигналов (Mixed Signal Oscilloscope) сочетают в себе возможности цифровых запоминающих осциллографов или осциллографов с цифровым люминофором с функциональностью многоканального (как правило, 16-канального) логического анализатора, включая возможности декодирования протоколов последовательных/параллельных шин и расширенными возможностями триггера.

Цифровые каналы такого осциллографа рассматривают сигнал в виде высоких и низких логических уровней, точно так, как это делают цифровые схемы. Это означает, что пока колебания, выбросы и «дрожание» сигнала на уровне земли не вызывают логических переключений, эти аналоговые эффекты прибором не рассматриваются. Так же, как и логический анализатор, осциллограф смешанных сигналов использует пороговое значение напряжения для определения того, представляет ли сигнал высокий или низкий логический уровень.

Широкие возможности наблюдения и анализа как аналоговых, так и цифровых представлений сигнала (см. рис. 8), а также расширенные функции триггера делают осциллограф смешанных

сигналов идеальным средством для проверки и отладки цифровых схем.

Цифровой стробоскопический осциллограф

В отличие от архитектур цифрового запоминающего осциллографа и осциллографа с цифровым люминофором, архитектура цифрового стробоскопирующего осциллографа использует перестраиваемый аттенуатор/усилитель и стробоскопический смеситель (мост сэмплирования), как это показано на рисунке 9. Выборка входного сигнала осуществляется до того, как производится его ослабление или усиление. После моста дискретизации может использоваться узкополосный усилитель, поскольку сигнал уже преобразован в каскаде сэмплирования, в результате чего значительно повышается пропускная способность прибора.

Платой за высокую пропускную способность является ограниченность динамического диапазона стробоскопического осциллографа из-за отсутствия аттенуатора/усилителя в сэмплирующем каскаде на входе прибора. Стробоскопический смеситель должен обладать возможностью постоянно обрабатывать динамический диапазон входного сигнала. Поэтому динамический диапазон большинства стробоскопических осциллографов ограни-

чен величиной размаха амплитуды в 1 В в отличие от цифровых запоминающих осциллографов и осциллографов с цифровым люминофором, которые могут обрабатывать сигналы с размахом 50–10 В.

К тому же, перед сэмплирующим мостом нельзя установить защитные диоды, поскольку это ограничит пропускную способность. Также это уменьшает величину безопасного входного напряжения для стробоскопического осциллографа примерно до 3 В, по сравнению с 500 В для других типов осциллографов.

При измерении высокочастотных сигналов, запоминающий осциллограф или осциллограф с цифровым люминофором не в состоянии собрать достаточно элементов выборки сигнала за одно его колебание. Цифровой стробоскопический осциллограф является идеальным инструментом для точного захвата сигналов, частотные составляющие которых намного превышают скорость выборки осциллографа. Этот тип осциллографа способен работать с гораздо более быстрыми сигналами, чем любой другой осциллограф. Для периодических сигналов этого достигают за счёт высокой пропускной способности и на порядок более высокоскоростного тактирования, чем у других осциллографов. Последовательные стробоскопические осциллографы обладают полосой пропускания до 80 ГГц.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.robotosha.ru/electronics/why-need-oscilloscope.html.
2. www.tektronix.com/oscilloscopes.
3. www.tek.com

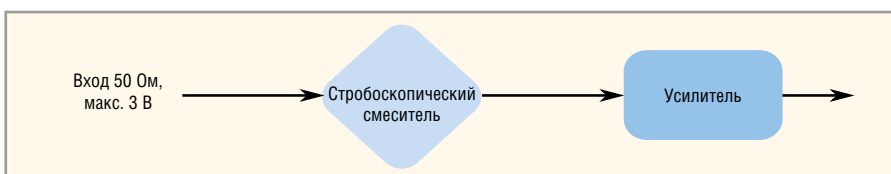


Рис. 9. Архитектура стробоскопического осциллографа