

Keysight Technologies

Основы осциллографических измерений



Рекомендации по применению

В этих Рекомендациях по применению приведен обзор основ использования осциллографов. Здесь вы сможете узнать, что представляют собой осциллографы и как они работают. Мы рассмотрим области применения осциллографов, основные виды выполняемых измерений и их характеристики. Кроме того, мы уделим внимание различным типам пробников, а также обсудим их достоинства и недостатки.

Введение

Электронные технологии проникают во все области нашей жизни. Миллионы и миллиарды людей ежедневно пользуются мобильными телефонами, телевизорами, компьютерами и другими электронными устройствами. По мере совершенствования электронных технологий увеличивается быстродействие этого оборудования. Сегодня в большинстве современных устройств используются высокоскоростные цифровые интерфейсы.

Инженеры должны иметь возможность правильно проектировать и достоверно тестировать компоненты своих высокоскоростных цифровых устройств. Контрольно-измерительное оборудование, которое используется инженерами в процессе разработки и испытаний, должно быть пригодно для работы в условиях высоких частот и высоких скоростей передачи данных. И осциллограф является примером именно такого рода приборов.

Осциллографы — это мощные инструменты, которые доказали свою полезность при проектировании и тестировании электронных устройств. Эти приборы крайне необходимы для оценки состояния системы, с их помощью становится возможным определить, какие из компонентов работают корректно, а какие являются источником ошибок. Кроме того, они помогают узнать, функционирует ли новый компонент так, как было спроектировано. Осциллографы намного более функциональны по сравнению с мультиметрами, потому что они позволяют вам увидеть, как на самом деле выглядят электронные сигналы.

Осциллографы используются в самых различных сферах — от автомобильной промышленности до университетских научно-исследовательских лабораторий и оборонной и аэрокосмической отраслей. Специалисты доверяют осциллографам, которые помогают им более эффективно выявлять неполадки устройств и создавать продукты с широкими функциональными возможностями.

Содержание

Введение	2
Сигналы	3
Свойства волны	3
Формы сигналов	4
Сравнение аналоговых сигналов с цифровыми ..	5
Что такое осциллограф и для чего он нужен инженерам?	6
Целостность сигналов	6
Как выглядит осциллограф	7
Назначение осциллографов	8
Типы осциллографов	9
Где используются осциллографы	11
Основные органы управления осциллографом и виды измерений	12
Органы управления на передней панели	12
Функциональные клавиши	15
Основные виды измерений	16
Основные математические функции	17
Основные технические характеристики осциллографов	18
Полоса пропускания	18
Количество каналов	18
Частота дискретизации	19
Объем памяти	20
Скорость обновления сигналов на экране	21
Возможности подключения осциллографов	21
Осциллографические пробники	22
Нагрузка на цепь	22
Пассивные пробники	22
Активные пробники	22
Токовые пробники	23
Принадлежности для пробников	23
Заключение	23

Сигналы

Осциллограф предназначен для представления электрических, оптических и прочих сигналов в графическом виде. Исследуя отображаемые на экране осциллографа сигналы, можно определить, правильно ли функционирует тот или иной компонент электронной системы. Поэтому для понимания принципов работы осциллографа необходимо знать теоретические основы анализа сигналов.

Свойства волны

Сигналы представляют собой волны или импульсы. Свойства волны могут быть описаны с помощью следующих основных параметров.

Амплитуда

В инженерных приложениях обычно используются две основных характеристики амплитуды.

Одна из них, которая называется «максимальная амплитуда» (или «пиковое значение» или «размах»), представляет собой максимальное смещение или отклонение переменной величины от ее среднего значения. Другую характеристику называют «среднеквадратичным значением» (СКЗ или RMS) амплитуды. Для вычисления СКЗ напряжения сигнала нужно возвести в квадрат каждое из N значений напряжения за период времени T и найти их среднее значение, из которого затем извлечь квадратный корень.

Для синусоидального сигнала среднеквадратичное значение равно пиковому значению, умноженному на $0,707$.

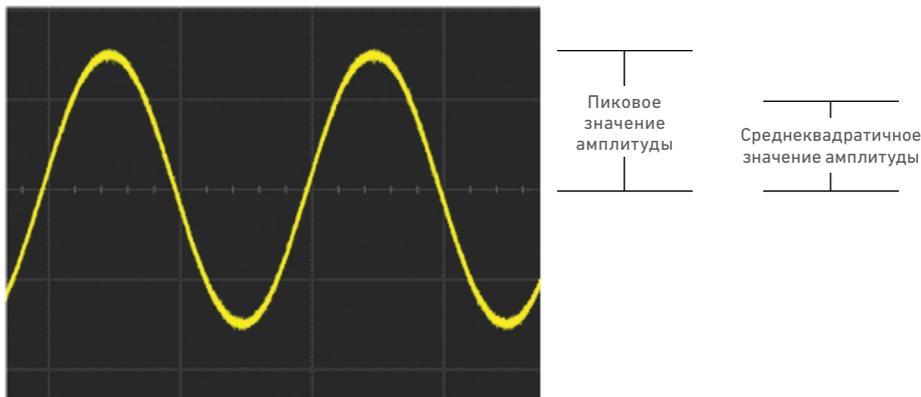


Рис. 1. Пиковое и среднеквадратичное значение амплитуды.

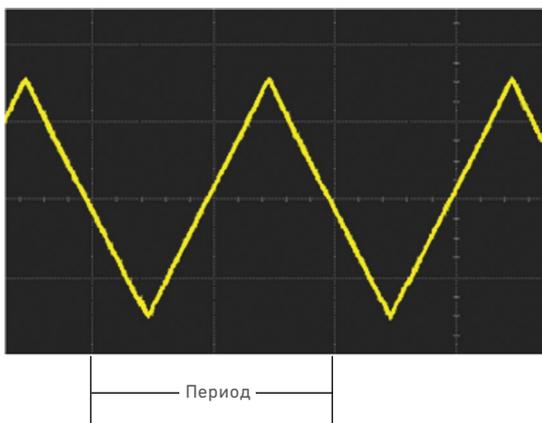


Рис. 2. Период треугольного сигнала.

Фазовый сдвиг

Фазовым сдвигом называется величина горизонтального (т.е. по оси времени) смещения между двумя схожими во всем прочем сигналами. Он измеряется в градусах или радианах. Для синусоидального сигнала один период составляет 360 градусов. Таким образом, если два синусоидальных сигнала отличаются на половину периода, то их относительный фазовый сдвиг составляет 180 градусов.

Период

Период сигнала — это промежуток времени, в течение которого сигнал полностью повторяется. Период измеряется в секундах.

Частота

Каждый периодический сигнал имеет свою частоту. Частота равна количеству повторений сигнала в единицу времени (в секунду, если частота измеряется в герцах). Частота является величиной, обратной периоду сигнала.

Сигналы (продолжение)

Формы сигналов

Форма сигнала — это графическое отображение волны. Форма сигнала позволяет получить значительный объем информации о поведении исследуемого сигнала. Так, к примеру, она может показать, насколько резко меняется напряжение, изменяется ли оно линейно или остается постоянным. Существует множество стандартных форм сигналов, но в этом разделе будет рассказано только о тех, которые используются чаще других.

Синусоидальные сигналы

Синусоидальные сигналы ассоциируются, как правило, с источниками переменного тока, такими как электрические розетки в вашем доме. Пиковое значение амплитуды синусоидального сигнала не всегда является величиной постоянной. Если пиковое значение амплитуды с течением времени непрерывно уменьшается, то такой сигнал называется затухающим.

Меандр/прямоугольные сигналы

Меандр — это сигнал, который периодически скачкообразно изменяется между двумя различными значениями, при этом длительности интервалов с высоким и низким уровнем равны. Прямоугольный сигнал отличается от меандра тем, что у него длительность сегментов с высоким и низким уровнем не равны между собой.

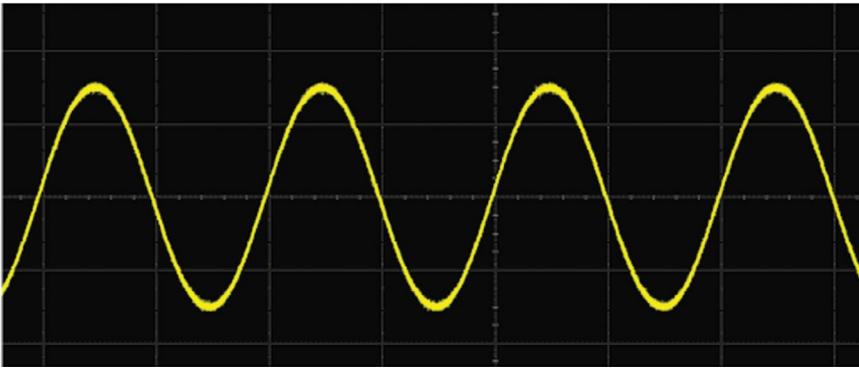


Рис. 3. Синусоидальный сигнал.

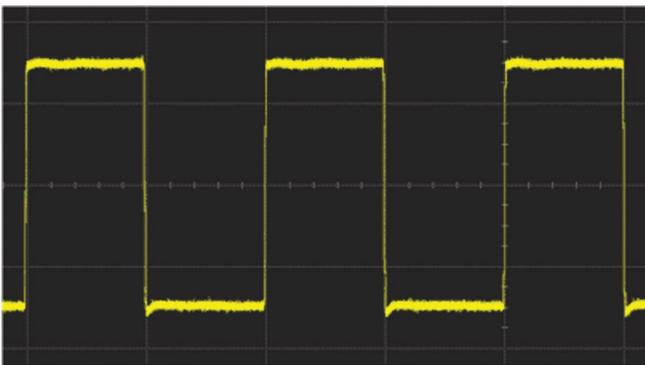


Рис. 4. Меандр.

Сигналы (продолжение)

Треугольные/пилообразные сигналы

В треугольном сигнале напряжение изменяется по линейному закону. Фронты треугольного сигнала имеют наклон, потому что сигнал или линейно возрастает, или линейно уменьшается до определенного значения. Пилообразный сигнал похож на треугольный, однако у него один из фронтов нарастает или спадает относительно медленно. При этом другой фронт нарастает (спадает) практически мгновенно.

Импульсные сигналы

Импульсный сигнал представляет собой резкое однократное отклонение напряжения от постоянного значения. Представьте, что вы щелкнули выключателем, чтобы включить в комнате свет, а затем быстро выключили его. Серия из нескольких импульсов образует последовательность импульсов. Если воспользоваться нашей аналогией, то это будет выглядеть, как будто вы снова и снова быстро включаете и выключаете свет.

Импульс является обычной формой глитча (импульсной помехи) или ошибки в сигнале. Кроме того, импульс может быть также полезным сигналом, если этот сигнал переносит единичный объем информации (один бит).

Сложные сигналы

Некоторые сигналы могут представлять собой комбинацию перечисленных выше форм сигналов. Они необязательно должны быть периодическими и могут иметь очень сложный профиль.

Сравнение аналоговых сигналов с цифровыми

Аналоговые сигналы могут иметь любое значение в пределах некоторого диапазона. Здесь полезно представить себе аналоговые часы. За двенадцать часов стрелки описывают по циферблату полный круг. В течение этого времени стрелки движутся непрерывно. Никаких скачков и дискретности показаний. Теперь сравним их с цифровыми часами. Цифровые часы просто показывают

нам время в числовом виде: часы и минуты. Следовательно, показания времени дискретизированы с интервалом в одну минуту. В течение одной секунды это может быть сначала 11:54, а затем скачком изменится на 11:55. Цифровые сигналы таким же образом дискретны и квантованы. Как правило, дискретные сигналы могут принимать два возможных значения: высокое или низкое, 1 или 0 и т.д. Поэтому значения сигналов скачком меняются между этими двумя вероятными состояниями.

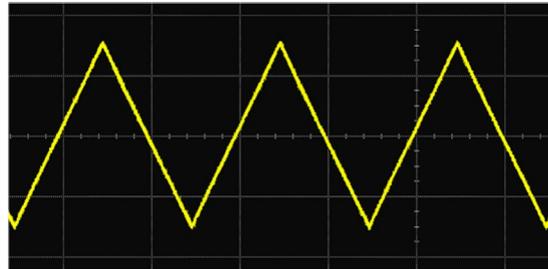


Рис. 5. Треугольный сигнал.



Рис. 6. Пилообразный сигнал.

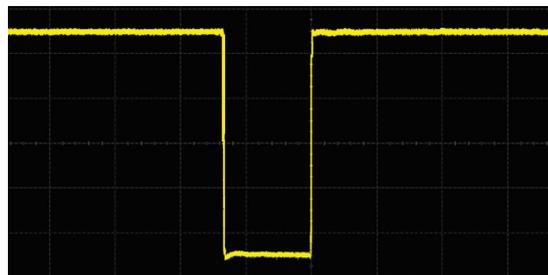


Рис. 7. Импульсный сигнал.

Что такое осциллограф и для чего он нужен инженерам?

Целостность сигналов

Основным назначением осциллографа является точное визуальное представление сигналов. По этой причине целостность сигнала является очень важной характеристикой. Понятие целостности сигнала относится к способности осциллографа воспроизводить форму сигнала так, чтобы он максимально точно отображал исходный сигнал. Осциллограф с низкой целостностью сигнала бесполезен, потому что бессмысленно выполнять измерения, если осциллограмма на экране

осциллографа отличается по форме и характеристикам от реального сигнала. При этом, однако, важно помнить, что осциллограмма на экране прибора никогда не будет точным представлением реального сигнала вне зависимости от того, насколько хорош осциллограф. Это происходит потому, что при подключении осциллографа к схеме, сам осциллограф становится частью этой схемы. Другими словами, имеет место некоторое влияние нагрузки. Производители приборов стремятся свести к минимуму воздействие нагрузки, но оно, в той или иной степени, существует всегда.

Что такое осциллограф и для чего он нужен инженерам? (продолжение)

Как выглядит осциллограф

В большинстве случаев современные цифровые осциллографы похожи на осциллограф, показанный на рисунке 8. Вместе с тем, на рынке представлены самые различные модели осциллографов, поэтому ваш прибор может выглядеть совсем иначе. Несмотря на это, есть некоторые характерные признаки, свойственные большей части такого рода приборов. Передняя панель большинства осциллографов может быть разделена на несколько основных частей: входы каналов, дисплей, органы управления системой горизонтального отклонения, органы управления системой вертикального отклонения и органы управления системой синхронизации (запуска). Если ваш осциллограф работает под управлением операционной системы, отличной от Microsoft Windows, то он, скорее всего, будет иметь набор функциональных клавиш для управления меню на экране.

Сигналы подаются на осциллограф через входы каналов, которые являются разъемами для подключения пробников. Дисплей — это просто экран, на котором отображаются исследуемые сигналы. Блоки органов управления системами горизонтального и вертикального отклонения содержат регуляторы и клавиши, с помощью которых осуществляется настройка параметров горизонтальной (которая обычно представляет собой ось времени) и вертикальной (которая представляет напряжение) оси при отображении сигналов на экране дисплея. Органы управления системой запуска указывают осциллографу, при каких условиях он должен начинать захватывать данные.

Пример того, как выглядит задняя панель осциллографа, показан на рисунке 9.

Как можно заметить, многие осциллографы имеют такие же возможности подключения, как и персональные компьютеры. Здесь и приводы CD-ROM, CD-RW и DVD-RW, и USB порты, и последовательные порты, а также разъемы для подключения внешнего монитора, мыши и клавиатуры.



Рис. 8. Передняя панель осциллографа Keysight серии InfiniiVision 2000 X.



Рис. 9. Задняя панель осциллографа Keysight серии Infiniium 9000.

Что такое осциллограф и для чего он нужен инженерам? (продолжение)

Назначение осциллографов

Осциллограф — это контрольно-измерительный прибор, который используется для отображения графика зависимости одной переменной от другой. Например, можно построить на дисплее график зависимости напряжения (ось Y) от времени (ось X). На рисунке 10 показан пример такого графика. Это может быть полезным, если вы хотите проверить какой-либо электронный компонент и определить, насколько корректно он функционирует. Если вы знаете, какая форма сигнала должна быть на выходе данного компонента, вы можете использовать осциллограф, чтобы удостовериться, что компонент на самом деле выдает правильный сигнал. Обратите внимание, что оси X и Y разбиты на деления и образуют сетку. Сетка позволяет проводить визуальные измерения параметров сигнала, хотя при использовании современных осциллографов большинство из этих измерений могут быть сделаны автоматически и более точно самим осциллографом.

Возможности осциллографа не ограничиваются только построением графика зависимости напряжения от времени. Осциллограф имеет несколько входов, называемых каналами, и каждый из них способен работать независимо. Поэтому вы можете подключить канал 1 к одному устройству, а канал 2 — к другому. В этом случае осциллограф позволяет построить график зависимости напряжения, измеренного на канале 1, от напряжения, измеряемого на канале 2. Такой режим называется режимом XY осциллографа. Этот режим полезен для графического представления вольт-амперных характеристик или построения фигур Лиссажу, по форме которых можно судить о разности фаз и отношении частот двух сигналов. На рисунке 11 показаны примеры фигур Лиссажу и значения разности фаз и отношения частот, которым они соответствуют.

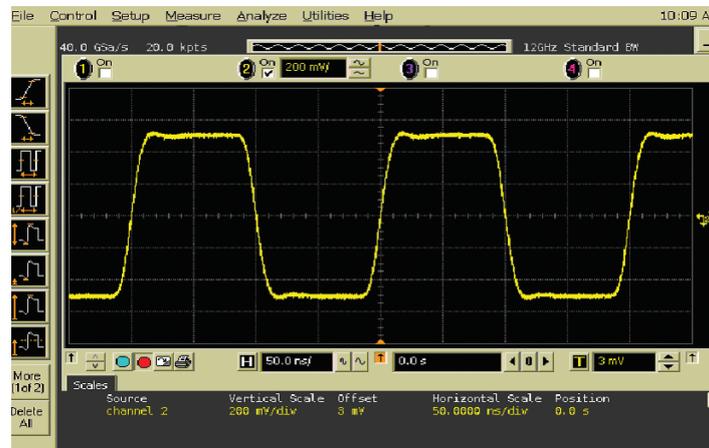


Рис. 10. Изображение зависимости напряжения прямоугольного сигнала от времени на экране осциллографа.

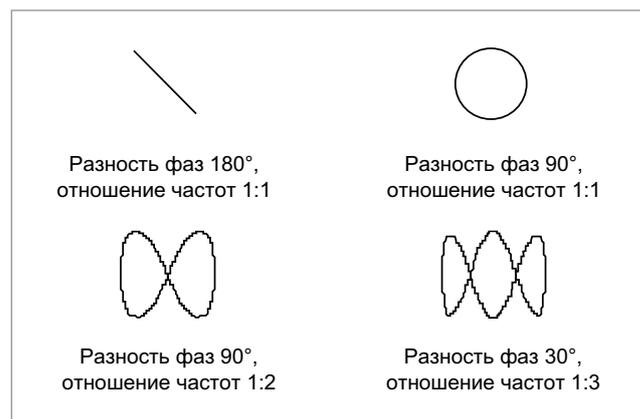


Рис. 11. Фигуры Лиссажу.

Что такое осциллограф и для чего он нужен инженерам? (продолжение)

Типы осциллографов

Аналоговые осциллографы

Первые осциллографы были аналоговыми, в которых для отображения сигнала использовались электронно-лучевые трубки. Фотолюминоесцентный люминофор, которым покрыт экран, светится при попадании на него электрона, и по мере того как загорается каждый последующий участок люминофора, вы можете видеть изображение сигнала. Система синхронизации (запуска) осциллографа необходима для того, чтобы изображение сигнала на экране выглядело стабильным. По окончании вывода на экран всей осциллограммы осциллограф ждет наступления следующего определенного события запуска (например, пересечения нарастающим фронтом сигнала заданного значения напряжения), а затем запускает развертку снова. Несинхронизированный запуск развертки бесполезен, потому что изображение сигнала на экране будет нестабильным (это верно также и для цифровых запоминающих осциллографов DSO и осциллографов смешанных сигналов MSO, о которых будет рассказано ниже).

Аналоговые осциллографы полезны, в первую очередь, потому, что свечение люминофора исчезает не мгновенно. Вы можете наблюдать несколько осциллограмм, которые накладываются друг на друга, что позволяет отслеживать глитчи и другие аномалии сигнала. Поскольку отображение сигнала происходит, когда электрон сталкивается с экраном, яркость отображаемой осциллограммы непосредственно связана с интенсивностью реального сигнала. Это позволяет рассматривать осциллограмму как трехмерный график (то есть, ось X — время, ось Y — напряжение, ось Z — интенсивность).

Недостаток аналоговых осциллографов состоит в том, что они не позволяют зафиксировать изображение на

экране и хранить осциллограмму в течение длительного периода времени. Поскольку вещество люминофора быстро гаснет, часть сигнала может теряться. Кроме того, вы не можете выполнять автоматические измерения параметров сигнала. Вместо этого обычно приходится выполнять измерения с использованием сетки на дисплее. Аналоговые осциллографы могут отображать не все типы сигналов, так как существует верхний предел скорости вертикальной и горизонтальной развертки электронного луча. И хотя аналоговые осциллографы до сих пор используются многими инженерами, их не часто можно увидеть в продаже. Им на смену пришли более современные цифровые осциллографы.

Цифровые запоминающие осциллографы (DSO)

Цифровые запоминающие осциллографы (DSO или ЦЗО) были созданы для того, чтобы можно было компенсировать недостатки, присущие аналоговым осциллографам. В цифровом осциллографе подаваемый на вход сигнал оцифровывается с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП). На рисунке 12 показан пример архитектуры одного из цифровых осциллографов компании Keysight Technologies, Inc.

Аттенюатор предназначен для масштабирования сигнала. Усилитель вертикального отклонения обеспечивает дополнительное масштабирование сигнала перед его подачей на АЦП. Аналого-цифровой преобразователь производит выборку и оцифровку входного сигнала. Эти данные затем сохраняются в памяти прибора. Система синхронизации осуществляет поиск событий запуска, а блок временной развертки определяет длительность интервала времени, отображаемого на экране осциллографа. Микропроцессор выполняет заданную пользователем дополнительную пост-обработку, после чего сигнал, наконец, воспроизводится на экране осциллографа.

Наличие данных в цифровой форме позволяет осциллографу выполнить множество измерений различных параметров сигнала. Кроме того, сигналы могут храниться в памяти сколь угодно долго. Данные могут быть распечатаны или переданы на компьютер с помощью флеш-накопителя или диска DVD-RW, а также через интерфейсы LAN и USB. В настоящее время программное обеспечение позволяет управлять осциллографом с компьютера с использованием виртуальной передней панели.

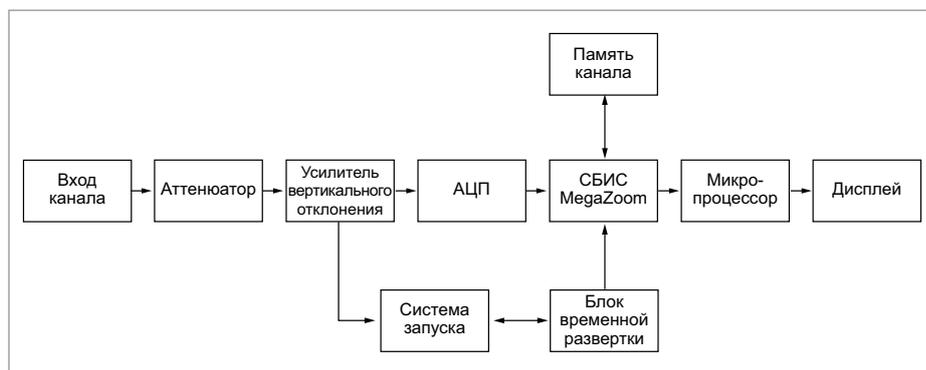


Рис. 12. Архитектура цифрового осциллографа.

Что такое осциллограф и для чего он нужен инженерам? (продолжение)

Осциллографы смешанных сигналов (MSO)

В цифровых осциллографах входной сигнал является аналоговым, и аналого-цифровой преобразователь производит его оцифровку. Вместе с тем, по мере развития технологий цифровой электроники существенно возросла необходимость одновременного наблюдения аналоговых и цифровых сигналов. В результате производители осциллографов начали выпускать осциллографы смешанных сигналов, которые способны отображать и аналоговые, и цифровые сигналы, и осуществлять запуск по ним. Как правило, типовой осциллограф смешанных сигналов содержит два или четыре аналоговых и большее количество цифровых каналов (рис. 13).

Преимущество осциллографов смешанных сигналов состоит в том, что они позволяют осуществлять запуск по комбинации аналоговых и цифровых сигналов и отображать их в едином масштабе времени.

Портативные/ручные осциллографы

Как следует из названия, портативный осциллограф — это осциллограф, который достаточно мал, чтобы его можно было носить с собой. Если вам нужно использовать осциллограф во многих местах, например, переносить его с одного рабочего места в лабораторию на другое, то портативный осциллограф идеально подходит для вас. На рисунке 14 показан пример портативного прибора — осциллограф Keysight InfiniiVision серии X.

Преимущество портативных осциллографов состоит в том, что

они легкие и компактные, быстро включаются и выключаются, а также просты и удобны в использовании. Казалось бы, портативные осциллографы не могут быть такими же производительными, как их более крупные собратья, но осциллографы Keysight серий InfiniiVision 2000 X и 3000 X опровергают это предположение. Они обеспечивают компактность и мобильность, обычно присущие портативным осциллографам, но при этом достаточно производительны, чтобы отвечать большей части современных требований по отладке электронных устройств в полосе пропускания до 6 ГГц.

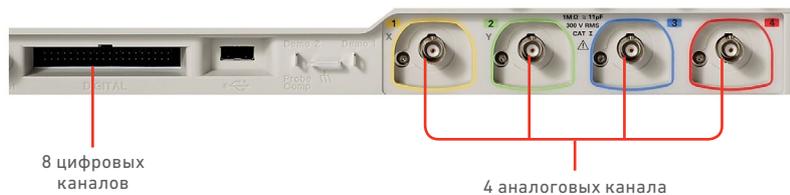


Рис. 13. Входные разъемы на передней панели осциллографа смешанных сигналов: четыре аналоговых канала и восемь или шестнадцать цифровых каналов.

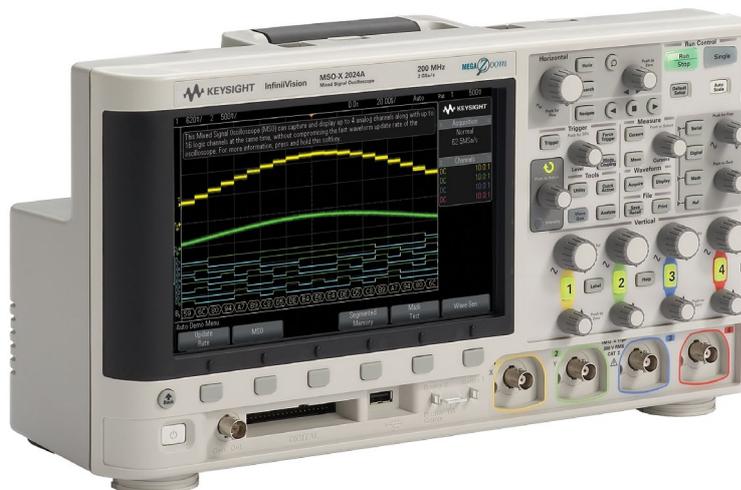


Рис. 14. Портативный осциллограф Keysight серии InfiniiVision 2000 X.

Что такое осциллограф и для чего он нужен инженерам? (продолжение)

Типы осциллографов

Осциллографы эконом-класса

Осциллографы эконом-класса имеют невысокую цену, но их функциональные возможности и технические характеристики существенно ниже, чем у высокопроизводительных осциллографов. Такие приборы обычно можно увидеть в учебных лабораториях ВУЗов. Главным достоинством этих осциллографов является их низкая цена. За относительно небольшую сумму денег вы получаете очень удобный и практичный инструмент.

Высокопроизводительные осциллографы

Высокопроизводительные осциллографы обладают наилучшими из доступных сегодня техническими характеристиками. Такие приборы используются инженерами, которым требуется широкая полоса пропускания, высокая частота дискретизации и скорость обновления сигналов на экране, большой объем памяти и широкий спектр измерительных возможностей. На рисунке 15 показан пример высокопроизводительного осциллографа — осциллограф Keysight серии Infiniium 90000A.

Главное преимущество высокопроизводительных осциллографов состоит в том, что эти приборы позволяют с высокой эффективностью выполнять анализ самых разнообразных сигналов, а также предоставляют множество прикладных программ и инструментов, которые делают процедуру анализа проще и быстрее. Основными недостатками высокопроизводительных осциллографов являются их цена и размер.

Где используются осциллографы

Если направление деятельности организации связано с электронной промышленностью (в том числе, радиоэлектронной) или она занимается метрологическим обеспечением электронных устройств, то, скорее всего, в ее приборном парке есть осциллографы. Поэтому осциллографы широко распространены в самых различных областях.

- Автомеханики используют осциллографы для диагностики неисправностей в электронных системах автомобилей.
- В учебных лабораториях ВУЗов осциллографы используются для обучения студентов основам электроники.
- Ученые во всем мире в ходе исследований используют осциллографы в качестве основного инструмента.
- Производители мобильных телефонов пользуются осциллографом для проверки целостности сигналов.
- В оборонной и аэрокосмической отраслях осциллографы используются для тестирования радиолокационных систем и средств связи.
- Инженеры широко используют осциллографы в процессе разработки и тестирования новых технологий.
- Осциллографы используются также для тестирования устройств и систем на соответствие требованиям стандартов. В качестве примера можно привести интерфейсы USB и HDMI, в которых выходные сигналы должны отвечать требованиям соответствующих спецификаций.

Это всего лишь небольшая часть возможных областей использования осциллографов — поистине универсальных и мощных приборов.

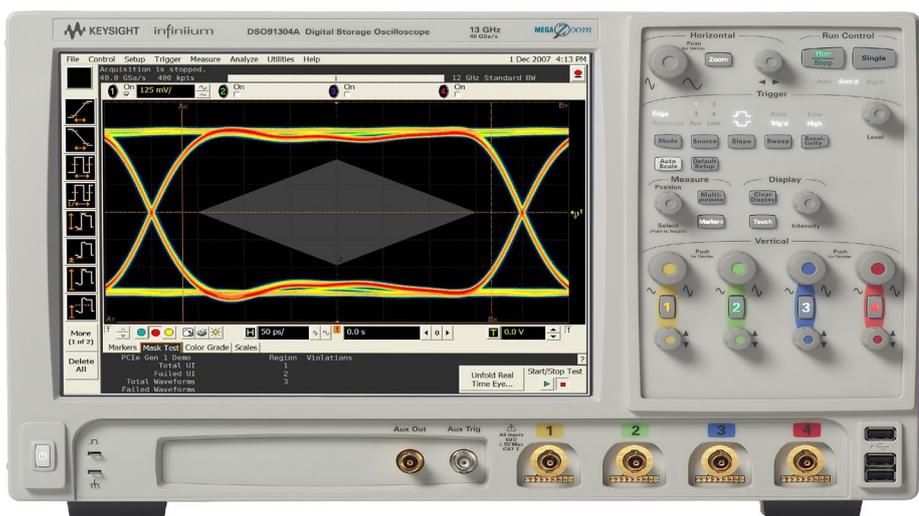


Рис. 15. Осциллограф Keysight серии Infiniium 90000A.

Основные органы управления осциллографом и виды измерений

Органы управления на передней панели

Как правило, для управления осциллографом используются регуляторы и клавиши на передней панели. В дополнение к органам управления на передней панели многие современные высокопроизводительные осциллографы теперь оснащаются операционными системами, в результате чего они ведут себя как компьютеры. Вы можете подключить к осциллографу мышь и клавиатуру и использовать их для настройки органов управления с помощью выпадающих меню и кнопок на дисплее. Кроме того, некоторые осциллографы имеют сенсорные экраны, поэтому для доступа к меню вы можете использовать стилус или прикосновение пальцами.

Перед началом измерений...

Когда вы приступаете к работе с осциллографом, прежде всего проверьте, что используемый входной канал включен. Для установки осциллографа в исходное состояние по умолчанию нажмите клавишу [Default Setup] (Настройки по умолчанию), если она есть. Затем, при ее наличии, нажмите клавишу [Autoscale] (Автоматическое масштабирование). Это позволяет автоматически настроить вертикальный и горизонтальный масштаб, так, чтобы сигнал отображался на дисплее наилучшим образом. Эти настройки могут рассматриваться в качестве отправной точки, и в них затем можно вносить необходимые изменения. Если сигнал вдруг будет потерян, или возникнут проблемы с отображением сигнала, рекомендуется повторить эти шаги. Передние панели большинства осциллографов включают, по крайней мере, четыре основных блока: органы управления системами вертикального и горизонтального отклонения, органы управления системой запуска и органы управления входными каналами.

Органы управления системой вертикального отклонения

Органы управления системой вертикального отклонения осциллографа обычно объединяются в блок, который обозначен как «Vertical». Эти элементы позволяют настраивать параметры отображения сигнала по вертикальной оси дисплея. Так, например, среди них есть регуляторы, с помощью которых задается число вольт на деление (коэффициент отклонения) по оси Y сетки экрана. Вы можете растягивать осциллограмму по вертикали, уменьшая значение коэффициента отклонения, или, наоборот, сжимать ее, увеличивая эту величину. Кроме того, в блок «Vertical» входят органы управления положением (смещением) сигнала по вертикали. Эти регуляторы позволяют просто перемещать всю осциллограмму вверх или вниз по дисплею. На рисунке 16 показан блок органов управления системой вертикального отклонения осциллографа Keysight серии InfiniiVision 2000 X.

Органы управления системой горизонтального отклонения

Органы управления системой горизонтального отклонения на передней панели осциллографа обычно объединяются в блок, который обозначен как «Horizontal». Эти органы управления обеспечивают настройку горизонтального масштаба осциллограммы. Один из элементов этого блока позволяет задавать масштаб по оси X — число секунд на деление (или коэффициент развертки). Уменьшая величину коэффициента развертки, вы можете уменьшить интервал времени, отображаемый на экране. Еще один регулятор этого блока предназначен для управления положением (смещением) осциллограммы по горизонтали. Он позволяет перемещать осциллограмму по экрану слева направо и наоборот точно в нужное положение. На рисунке 17 показан блок органов управления системой горизонтального отклонения осциллографа Keysight серии InfiniiVision 2000 X.



Рис. 16. Блок органов управления системой вертикального отклонения осциллографа Keysight серии InfiniiVision 2000 X.



Рис. 17. Блок органов управления системой горизонтального отклонения осциллографа Keysight серии InfiniiVision 2000 X.

Основные органы управления осциллографом и виды измерений (продолжение)

Органы управления системой запуска

Как уже упоминалось ранее, система запуска обеспечивает стабильное, удобное для работы представление сигнала и позволяет синхронизировать систему захвата осциллографа с той частью осциллограммы, которую необходимо исследовать. Органы управления этой системой позволяют подобрать вертикальный уровень запуска (например, напряжение, при котором должен запускаться процесс захвата данных осциллографом) и выбирать между различными возможностями запуска. Ниже рассматриваются примеры наиболее распространенных типов запуска.

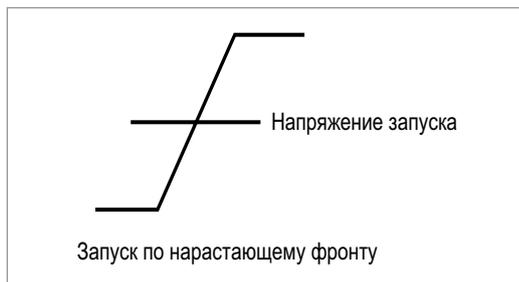


Рис. 18. При использовании запуска по нарастающему фронту запуск осциллографа осуществляется при достижении напряжения сигнала заданного порогового значения.

Запуск по фронту сигнала

Запуск по фронту сигнала является наиболее часто используемым видом запуска. Событие запуска наступает, когда входной сигнал пересекает заданный пороговый уровень напряжения. Вы можете выбрать запуск по нарастающему или по спадающему фронту сигнала. На рисунке 18 показано графическое представление запуска по нарастающему фронту.

Запуск по импульсной помехе (глитчу)

Запуск по глитчу позволяет осуществлять запуск по событиям или импульсам, длительность которых больше или меньше некоторого заданного промежутка времени. Эта функция очень полезна для поиска случайных импульсных помех или ошибок. Если такие аномалии проявляются не очень часто, то увидеть их бывает довольно затруднительно. Между тем, запуск по глитчу позволяет успешно захватывать большую часть из этих ошибок. На рисунке 19 показана импульсная помеха, захваченная с помощью осциллографа Keysight серии InfiniiVision 6000.



Рис. 19. Редкая случайная импульсная помеха, захваченная с помощью осциллографа Keysight серии InfiniiVision 6000.

Основные органы управления осциллографом и виды измерений (продолжение)

Запуск по длительности импульса

Запуск по длительности импульса похож на запуск по глитчу и используется для обнаружения импульсов определенной длительности. Вместе с тем, это более общий вид запуска, так как он дает возможность осуществлять запуск по импульсам любой заданной длительности. При этом может быть выбрана полярность импульса — положительная или отрицательная. Кроме того, можно установить положение запуска по горизонтальной оси. Это позволяет увидеть события, которые произошли до события запуска или после него. Так, например, можно настроить запуск по глитчу, а затем, обнаружив ошибку, исследовать сигнал, предшествующий событию запуска, чтобы найти причину возникновения этой импульсной помехи. Если установить задержку по горизонтальной оси равной нулю, то событие запуска будет расположено в центре экрана. События, произошедшие непосредственно перед событием запуска, будут отображаться в левой части экрана, а те, которые произошли после события запуска, — в правой. Кроме того, пользователь может настроить режим входа запуска, а также установить источник сигнала, по которому будет осуществляться запуск. При этом совсем не обязательно запуск должен осуществляться по исследуемому сигналу, для этого можно использовать любой другой сигнал, имеющий отношение к данной измерительной задаче. На рисунке 20 показан блок органов управления системой запуска осциллографа.

Органы управления входными каналами

Как правило, осциллограф имеет два или четыре аналоговых канала. Они пронумерованы, при этом для каждого канала обычно имеется отдельная кнопка, которая позволяет включать или отключать соответствующий канал. На передней панели может располагаться специальный переключатель (или функциональная клавиша), который позволяет задавать тип входа: закрытый (AC) или открытый (DC). Если выбран режим открытого входа, входной сигнал не подвергается обработке и подается непосредственно на усилитель системы вертикального отклонения осциллографа. В режиме закрытого входа фильтруется постоянная составляющая сигнала, и осциллограмма центрируется относительно уровня приблизительно 0 вольт («земля»). Кроме того, с помощью клавиши выбора может быть задан импеданс пробника для каждого канала. Органы управления позволяют также установить тип дискретизации входного сигнала. Используется два основных метода дискретизации сигнала: дискретизация в режиме реального времени и дискретизация в эквивалентном масштабе времени.

Дискретизация в режиме реального времени

При дискретизации в режиме реального времени осциллограф захватывает выборки сигнала с частотой, достаточной для точного отображения формы сигнала. Некоторые современные высокопроизводительные осциллографы способны захватывать одиночные сигналы с частотой до 63 ГГц, оцифровывая их в режиме реального времени.

Дискретизация в эквивалентном масштабе времени

Дискретизация в эквивалентном масштабе времени позволяет построить форму сигнала по данным нескольких захватов. Одна часть сигнала оцифровывается в процессе первого захвата данных, другая часть — в ходе второго захвата и так далее. Затем все эти данные собираются воедино для воссоздания формы сигнала. Режим дискретизации в эквивалентном масштабе времени особенно полезен для изучения высокочастотных сигналов, которые слишком быстры для использования дискретизации в режиме реального времени (частота более 63 ГГц).



Рис. 20. Блок органов управления системой запуска осциллографа Keysight серии InfiniiVision 2000 X.

Основные органы управления осциллографом и виды измерений (продолжение)

Функциональные клавиши

Функциональными клавишами оснащены осциллографы, операционная система которых основана не на ОС Windows (см. рис. 8, на котором показаны функциональные клавиши). Эти клавиши позволяют перемещаться по меню, отображаемому на дисплее осциллографа. На рисунке 21 показано, как выглядит всплывающее меню, когда нажата функциональная клавиша. Показанное на рисунке конкретное меню предназначено для выбора режима запуска. Вы можете циклически перемещаться по пунктам меню, непрерывно нажимая на функциональную клавишу или вращая поворотный регулятор на передней панели.

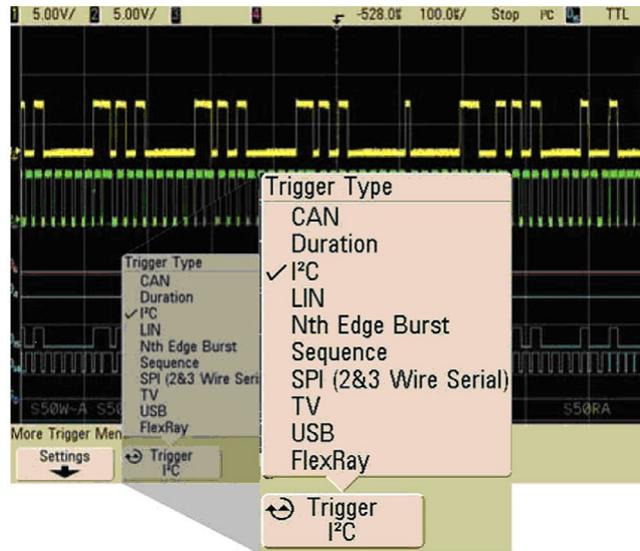


Рис. 21. Меню выбора типа запуска появляется при нажатии на функциональную клавишу, расположенную под соответствующим пунктом меню запуска.

Основные органы управления осциллографом и виды измерений (продолжение)

Основные виды измерений

Цифровые осциллографы позволяют выполнять широкий спектр измерений параметров сигналов. Виды и степень сложности доступных измерений зависят от набора функциональных возможностей вашего осциллографа. На рисунке 22 показан чистый дисплей осциллографа Keysight. Обратите внимание, что клавиши/иконки расположены вертикально с левой стороны экрана. Используя мышь, вы можете перетаскивать эти иконки на осциллограмму; при этом будут выполняться соответствующие виды измерений. Использование иконок очень удобно, потому что они сами показывают, какое измерение выполняется.

Большинство современных осциллографов позволяют выполнять все основные виды измерений.

Полный размах (амплитуда) напряжения

При выполнении этого вида измерений определяется разность между самым низким и самым высоким значением напряжения сигнала в течение некоторого периода времени.

Среднеквадратичное значение напряжения

При выполнении этого вида измерений определяется среднеквадратичное значение напряжения сигнала. Эта величина может использоваться затем для вычисления мощности.



Рис. 22. Чистый дисплей осциллографа Keysight.

Время нарастания

Этот вид измерений позволяет определять интервал времени, в течение которого напряжение сигнала меняется от самого низкого до самого высокого предельного значения. Обычно измеряется время, необходимое для перехода с 10% до 90% от полного размаха сигнала.

Длительность импульса

При измерении длительности положительного импульса вычисляется промежуток времени, в течение которого напряжение сигнала возрастает от уровня, соответствующего 50% от амплитуды, до его максимального значения, а затем уменьшается до уровня 50%. При измерении длительности отрицательного импульса вычисляется промежуток времени, в течение которого напряжение сигнала снижается от уровня, соответствующего 50% от амплитуды, до его минимального значения, а затем возрастает до уровня 50%.

Период

Этот вид измерений служит для определения периода, т.е. интервала времени, через который периодический сигнал повторяет свои значения.

Частота

Данный вид измерений служит для определения частоты, т.е. величины, обратной периоду.

Этот перечень приведен здесь для того, чтобы дать вам общее представление о том, какие виды измерений можно выполнять с помощью осциллографа. Вместе с тем, следует иметь в виду, что большинство осциллографов обеспечивают намного большее количество измерительных функций.

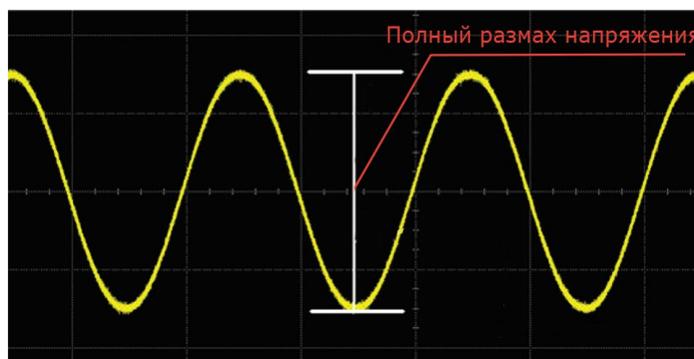


Рис. 23. Измерение амплитуды сигнала.



Рис. 24. Пример измерения времени нарастания (показано измерение по уровню 0-100% вместо обычно используемого 10-90%).

Основные органы управления осциллографом и виды измерений (продолжение)

Основные математические функции

Помимо описанных выше видов измерений существует множество других математических операций функций, которые можно производить над сигналами. Ниже приведены примеры таких операций.

Преобразование Фурье

Эта математическая функция позволяет видеть гармонические компоненты (частоты), из которых состоит исследуемый сигнал.

Абсолютное значение

Эта математическая функция показывает абсолютное значение величины сигнала, выраженное в единицах напряжения.

Интегрирование

Эта математическая функция позволяет вычислить интеграл исследуемого сигнала.

Сложение и вычитание

Эти математические функции позволяют складывать или вычитать мгновенные значения исследуемых осциллограмм и отображать на дисплее результирующий сигнал.

Хотелось бы еще раз отметить, что это — лишь небольшая часть измерительных возможностей, доступных при использовании современных цифровых осциллографов.

Основные технические характеристики осциллографов

Многие характеристики осциллографа оказывают значительное влияние на производительность прибора и, соответственно, на вашу способность выполнять точные измерения параметров разрабатываемых устройств. В этом разделе рассматриваются самые важные из этих характеристики. Кроме того, здесь вы ознакомитесь с терминологией, используемой в осциллографии, а также узнаете, как принять обоснованное решение по выбору осциллографа, наилучшим образом отвечающего потребностям тестирования.

Полоса пропускания

Полоса пропускания является самой важной характеристикой осциллографа, так как именно она дает представление о диапазоне прибора в частотной области. Иначе говоря, она определяет частотный диапазон, который осциллограф способен корректно отображать и правильно измерять параметры сигналов. Полоса пропускания измеряется в герцах. Если полоса пропускания не достаточно широка, то осциллограф не сможет точно представить реальный сигнал. Так, например, в этом случае амплитуда сигнала может быть искажена, фронты осциллограммы окажутся не вполне чистыми, а некоторые детали сигнала могут быть потеряны. Полоса пропускания осциллографа — это самое низкое значение частоты, на которой входной сигнал ослабляется на 3 дБ. Другими словами полосу пропускания можно определить так: если на вход осциллографа подается чистый синусоидальный сигнал, то полоса пропускания будет равна минимальной частоте, на которой измеренная амплитуда составляет 70,7% от фактической амплитуды сигнала.

Для получения более подробной информации советуем ознакомиться с рекомендациями по применению «Выбор осциллографа с оптимальной полосой пропускания для решения конкретных прикладных задач».

Количество каналов

Термин «канал» означает независимый вход осциллографа. Количество каналов в осциллографе может изменяться в пределах от двух и до двадцати. Обычно в осциллографе два или четыре канала. Каналы могут различаться также в зависимости от типа подаваемого сигнала. Некоторые осциллографы имеют только аналоговые каналы, и такие приборы называются «цифровые запоминающие осциллографы» (DSO). Другие, которые называются «осциллографы смешанных сигналов» (MSO), содержат как аналоговые, так и цифровые каналы. Так, например, осциллографы смешанных сигналов Keysight серии InfiniiVision могут иметь до двадцати каналов, из которых шестнадцать — цифровые, а четыре — аналоговые каналы.

Очень важно, чтобы в осциллографе было достаточное для решения данной прикладной задачи количество каналов. Если используется двухканальный прибор, но при этом требуется отображать четыре сигнала одновременно, то это, очевидно, может привести к проблемам.

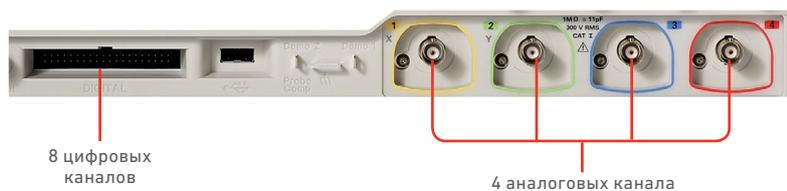


Рис. 25. Аналоговые и цифровые каналы осциллографа Keysight серии InfiniiVision 2000 X.

Основные технические характеристики осциллографов (продолжение)

Частота дискретизации

Частота дискретизации осциллографа — это количество выборок, которые осциллограф может захватить за одну секунду. Рекомендуется, чтобы частота дискретизации осциллографа была, по крайней мере, в 2,5 раза больше полосы пропускания прибора. В идеале частота дискретизации должна быть в 3 и более раза больше полосы пропускания.

Нужно быть очень осторожным при оценке заявляемых производителем характеристик приборов, в том числе, частоты дискретизации осциллографа. Производители, как правило, указывают максимальное значение частоты дискретизации, которое может обеспечить осциллограф, но иногда эта максимальная скорость оцифровки доступна только при использовании одного или двух каналов. Если одновременно используется большее число каналов, то частота дискретизации может уменьшаться. Поэтому было бы целесообразно проверить, сколько каналов можно использовать, сохраняя при этом указанное максимальное значение частоты дискретизации. Если частота дискретизации слишком низкая, сигнал может не совсем точно отображаться на экране осциллографа. В качестве примера представьте, что вы хотите посмотреть форму сигнала, но частота дискретизации такова, что захватывается всего две точки на период (рис. 26).

Теперь рассмотрим тот же сигнал, но захваченный при более высокой частоте дискретизации, обеспечивающей оцифровку семи точек за период (рис. 27).

Понятно, что чем больше выборок захватывается за секунду, тем более точно будет отображаться сигнал. Если бы мы продолжили увеличивать частоту дискретизации для сигнала, рассмотренного в ранее приведенном примере, то выборки, в конечном счете, выглядели бы практически непрерывными. На самом деле, чтобы заполнить промежутки между выборками, в осциллографах, как правило, используется интерполяция $\sin(x)/x$.

Для получения более подробной информации, касающейся частоты дискретизации в осциллографах, советуем ознакомиться с рекомендациями по применению «Сопоставление частоты дискретизации осциллографа и достоверности оцифровки: как выполнять самые точные измерения цифровых сигналов».

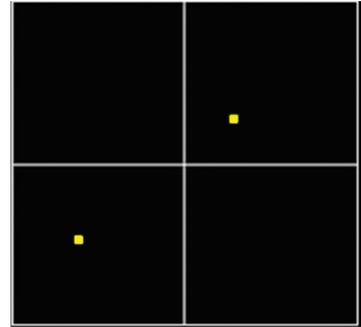


Рис. 26. Осциллограмма, полученная при частоте дискретизации, обеспечивающей оцифровку двух точек за период.

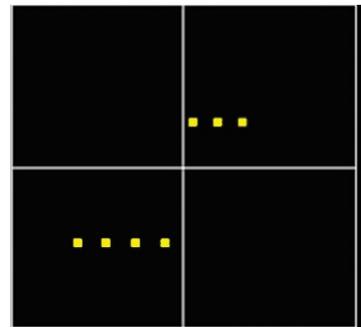


Рис. 27. Осциллограмма, полученная при частоте дискретизации, обеспечивающей оцифровку семи точек за период.

Основные технические характеристики осциллографов (продолжение)

Глубина памяти

Как уже упоминалось ранее, в цифровом осциллографе для оцифровки входного сигнала используется аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Оцифрованные данные затем сохраняются в быстродействующей памяти осциллографа. Глубина памяти указывает, какое точное количество выборок или точек и, соответственно, какой продолжительности временной интервал могут быть сохранены.

Глубина памяти имеет большое значение для частоты дискретизации осциллографа. В идеальном мире частота дискретизации будет оставаться постоянной вне зависимости от настроек осциллографа. Между тем, такой идеальный осциллограф потребует огромного объема памяти при больших значениях коэффициента развертки, и, соответственно, будет иметь такую цену, которая способна сильно ограничить количество возможных заказчиков. Вместо этого частота дискретизации уменьшается по мере увеличения интервала времени. Величина объема памяти важна потому, что чем больше глубина памяти осциллографа, тем больше

времени можно затратить на захват осциллограмм на полной скорости оцифровки. Математически это можно представить следующим выражением:

Глубина памяти = (частота дискретизации) × (продолжительность временного интервала)

Таким образом, если вы хотите просматривать длительные интервалы времени с большим разрешением (т.е. малым расстоянием между точками), то вам потребуется прибор с большой глубиной памяти. Также важно проверить быстроту реакции осциллографа на управляющие воздействия, когда он настроен на максимально большой доступный объем памяти. В этом режиме у осциллографов обычно наблюдается серьезное снижение скорости обновления, поэтому многие инженеры используют глубокую память только тогда, когда это критически важно для решения стоящих перед ними задач.

Для получения более подробной информации о глубине памяти осциллографа советуем ознакомиться с рекомендациями по применению «Развеение мифов об осциллографах с глубокой памятью».

Основные технические характеристики осциллографов (продолжение)

Скорость обновления сигналов на экране

Скорость обновления показывает, насколько быстро осциллограф способен запустить сбор данных, обработать захваченную информацию, отобразить ее, а затем подготовиться к следующему запуску. Иногда человеческому глазу может казаться, что осциллограф отображает «живой» сигнал, но это происходит потому, что обновления происходят так быстро, что человеческий глаз просто не успевает заметить изменения. На самом деле, между захватами сигнала существует некоторое мертвое время (рис. 28). В течение этого мертвого времени часть осциллограммы не отображается на экране осциллографа. В результате, если какое-либо редкое событие или глитч произойдут именно в этот момент времени, то их невозможно будет увидеть.

Легко понять, почему так важно иметь высокую скорость обновления сигналов на экране. Чем выше скорость обновления сигналов, тем меньше у него величина мертвого времени, что означает более высокую вероятность того, что осциллограф сможет захватить и отобразить редкую аномалию или глитч.

Предположим, например, что требуется отобразить сигнал, который содержит глитч, появляющийся один раз на 50 000 циклов. Если осциллограф обеспечивает скорость обновления сигналов на экране 100 000 осциллограмм в секунду, то вы сможете захватить эту аномалию в среднем два раза в секунду. Однако если бы осциллограф имел скорость обновления 800 осциллограмм в секунду, то для того, чтобы увидеть помеху потребовалось бы в среднем одна минута. Это слишком долго.

Нужно очень внимательно читать технические характеристики, касающиеся скорости обновления сигналов на экране. В осциллографах некоторые производители для достижения «баннерных» характеристик скорости обновления требуется обеспечить особые режимы

сбора данных. Такие режимы захвата сигналов могут серьезно ограничивать производительность осциллографа, в том числе, сократить объем памяти, уменьшить частоту дискретизации и ухудшить достоверность восстановления формы сигнала. Поэтому было бы целесообразно проверить характеристики осциллографа по отображению осциллограмм при максимальной скорости обновления сигналов на экране.

Возможности подключения осциллографов

Современные осциллографы обеспечивают широкий выбор возможностей подключения. Часть из них оснащена портами USB, дисководом DVD-RW, возможностью подключения внешних жестких дисков, портами для подключения внешних мониторов и многим другим. Все эти функциональные возможности упрощают использование осциллографов и передачу данных. Некоторые осциллографы также оснащены операционными системами, которые позволяют осциллографу

функционировать в качестве персонального компьютера. Благодаря внешнему монитору, мыши и клавиатуре вы можете смотреть на дисплей своего осциллографа и управлять своим осциллографом так, как будто он встроен в корпус компьютера. Кроме того, в ряде случаев вы можете также передавать данные с осциллографа на ПК через интерфейсы USB и LAN.

Хорошие возможности подключения помогают сэкономить массу времени и упростить выполнение стоящих перед вами задач. Так, например, они позволяют быстро и легко передавать данные на ноутбук или делиться полученными данными с коллегами, находящимися в других странах или даже на других континентах. Они обеспечивают также дистанционное управление осциллографом с компьютера. В мире, в котором эффективная передача данных во многих случаях является настоящей потребностью, приобретение осциллографа с качественными возможностями подключения представляется очень хорошим вложением средств.

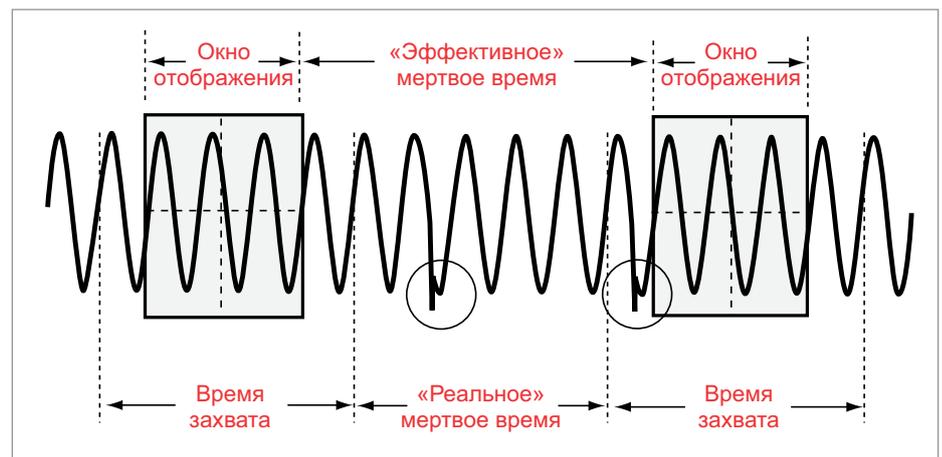


Рис. 28. Графическое представление мертвого времени. Кружками выделены две редкие аномалии, которые не могут быть отображены на дисплее прибора.

Осциллографические пробники

Осциллограф представляет собой лишь часть системы, которая определяет, насколько точно вы можете отображать и анализировать сигналы. Пробники, которые предназначены для подключения осциллографа к тестируемому устройству, играют важнейшую роль в обеспечении целостности сигнала. Если к осциллографу с полосой пропускания 1 ГГц подключить пробник, который поддерживает полосу пропускания всего 500 МГц, то полоса пропускания осциллографа будет серьезно ограничена, и возможности прибора нельзя будет полностью реализовать. В этом разделе рассматриваются типы пробников и области применения каждого из них.

Нагрузка на исследуемую цепь

Ни один пробник не в состоянии абсолютно правильно воспроизвести исследуемый сигнал, потому что при подключении пробника к схеме он становится частью этой схемы. Часть электрической энергии в цепи течет через пробник. Это явление называется нагрузкой. Различают три типа нагрузки: резистивная, емкостная и индуктивная.

Резистивная нагрузка

Резистивная нагрузка может привести к некорректному отображению амплитуды сигнала. Она также является причиной неправильного функционирования исследуемой схемы при подключении к ней пробника. Рекомендуется убедиться, что сопротивление пробника не менее чем в десять раз превышает сопротивление источника, чтобы снижение амплитуды было не больше десяти процентов.

Емкостная нагрузка

Емкостная нагрузка может привести к уменьшению скорости нарастания сигнала и сужению полосы пропускания. Для уменьшения емкостной нагрузки следует выбирать пробники, полоса пропускания которых, по крайней мере, в пять раз превышает максимальную частоту исследуемого сигнала.

Индуктивная нагрузка

Влияние индуктивной нагрузки приводит к искажению измеряемого сигнала и проявляется в виде «звона» в сигнале. Причиной ее возникновения является индуктивность провода заземления пробника, поэтому рекомендуется использовать провод заземления минимально возможной длины.

Пассивные пробники

Пассивные пробники содержат только пассивные компоненты и не требуют питания для своей работы. Они применяются для исследования сигналов с частотой до 600 МГц. Если частота сигнала больше 600 МГц, требуется другой тип пробника — активный пробник.

Пассивные пробники, как правило, недороги, надежны и просты в использовании. Они обеспечивают достаточную универсальность и точность измерений. Этот тип пробников включает низкоомные пробники с резистивным делителем напряжения, компенсированные высокоомные пробники с делителем напряжения и высоковольтные пробники.

Пассивные пробники обычно обеспечивают относительно высокую емкостную и низкую резистивную нагрузку на исследуемую схему

Активные пробники

Для работы активного пробника требуется источник питания, обеспечивающий подачу напряжения на активные компоненты в самом пробнике. Необходимое питание иногда подается через кабель USB, с внешнего источника, а иногда может осуществляться непосредственно от осциллографа. В активных пробниках для усиления или преобразования сигнала используются активные компоненты. Активные пробники поддерживают гораздо более широкие полосы пропускания, поэтому именно они являются оптимальным выбором для использования с высокопроизводительными осциллографами.

Активные пробники значительно дороже пассивных. Кроме того, активные пробники обычно не такие компактные и надежные, а их наконечники, как правило, более крупные. В то же время, они обеспечивают лучшее сочетание резистивной и емкостной нагрузки, что позволяет использовать их для тестирования высокочастотных сигналов.

Активные дифференциальные пробники Keysight серии InfiniiMax являются самыми высокопроизводительными пробниками. В наконечниках этих пробников используются гасящие резисторы, которые позволяют существенно уменьшить эффекты нагрузки. Пробники InfiniiMax также имеют очень широкую полосу пропускания.



Рис. 29. Пассивный пробник.



Рис. 30. Активный пробник.

Осциллографические пробники (продолжение)

Токовые пробники

Токовые пробники используются для измерения тока, протекающего в цепи. Обычно они имеют довольно большие габаритные размеры и ограниченную полосу пропускания (до 100 МГц).

Принадлежности для пробников

Большинство пробников поставляется с комплектом наконечников. Существует множество типов наконечников, используемых с осциллографическими пробниками — от крупных, способных охватывать кабели, до мелких, толщиной всего несколько волосков. Эти наконечники упрощают доступ к различным частям схемы или тестируемого устройства.



Рис. 31. Токовый пробник.

Заключение

Осциллографы являются мощным универсальным инструментом в том технологическом мире, в котором мы сегодня живем. Осциллографы находят свое применение в самых различных областях, обеспечивая массу преимуществ по сравнению с другими контрольно-измерительными приборами. После ознакомления с этими рекомендациями по применению вы должны достаточно четко представлять основы осциллографии. Усвойте эти знания и продолжайте изучать более сложные проблемы — и тогда вы сможете максимально эффективно использовать свой осциллограф.

Более подробную информацию об осциллографах Keysight приведена на странице www.keysight.com/find/scopes.



Осциллографы Keysight Technologies

Различное конструктивное исполнение | Верхняя граница полосы пропускания от 20 МГц до 90 ГГц и более
Лучшие в отрасли характеристики | Приложения с широкими возможностями

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированное представление наиболее важной для Вас информации.



www.axiestandard.org

AXIe представляет собой открытый стандарт, основанный на AdvancedTCA®, с расширениями для контрольно-измерительных приложений. Компания Keysight входит в число основателей консорциума AXIe. ATCA®, AdvancedTCA® и логотип ATCA являются зарегистрированными в США торговыми марками PCI Industrial Computer Manufacturers Group.



www.lxistandard.org

LAN eXtensions for Instruments (расширения LAN для измерительных приборов) добавляет в измерительные системы возможности локальной сети Ethernet и Web. Компания Keysight входит в число основателей консорциума LXI.



www.pxisa.org

PCI eXtensions for Instrumentation (PXI) (расширение PCI для измерительных систем) – стандарт модульных измерительных приборов, позволяющий создавать высокопроизводительные измерительные и автоматизированные системы на базе ПК для жестких условий эксплуатации.



Три года стандартной гарантии

www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty

Компания Keysight обеспечивает высочайшее качество продукции и снижает общую стоимость владения. Единственный производитель контрольно-измерительного оборудования, который предлагает в качестве стандарта трехлетнюю гарантию на все оборудование по всему миру.



Планы технической поддержки Keysight

www.keysight.com/find/AssurancePlans

До пяти лет поддержки без непредвиденных расходов гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.



www.keysight.com/go/quality

Система управления качеством компании Keysight Technologies, Inc. сертифицирована DEKRA в соответствии с требованиями ISO 9001:2008.

Торговые партнеры Keysight

www.keysight.com/find/channelpartners

Лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерительной техники и широкая номенклатура выпускаемой продукции компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнерами.

www.keysight.com/find/scopes

Российское отделение

Keysight Technologies

115054, Москва,

Космодамианская набережная, д. 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 797 3954

8 800 500 9286 (звонок по России бесплатный)

Факс: +7 (495) 797 3902

e-mail: tmo_russia@keysight.com

www.keysight.ru

Сервисный центр

Keysight Technologies в России

115054, Москва,

Космодамианская набережная, д. 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 797 3930

Факс: +7 (495) 797 3901

e-mail: tmo_russia@keysight.com