

Осциллографы

Основные принципы измерений

Учебное пособие

Содержание

Введение	4
Целостность сигнала	5 – 6
Почему целостность сигнала представляет собой проблему?	5
Краткий экскурс к аналоговым истокам цифровых сигналов	6
Осциллограф	7 – 12
Толкование терминов “Форма сигнала” и “Измерения формы сигнала”	7
Типы волн	8
Синусоида	9
Меандр и прямоугольник	9
Пилообразная и треугольная форма	9
Перепады и импульсы	9
Периодические и непериодические сигналы	9
Синхронные и асинхронные сигналы	9
Комплексные сигналы	10
Измерения формы сигналов	11
Частота и период	11
Напряжение	11
Амплитуда	11
Фаза	11
Измерения формы сигналов при помощи цифрового осциллографа	12
Типы осциллографов	13 – 17
Цифровые запоминающие осциллографы	13
Архитектура последовательной обработки	14
Осциллографы с цифровым люминофором	15
Архитектура параллельной обработки	15
Осциллографы смешанных сигналов	16
Цифровые стробоскопические осциллографы	17

Системы и органы управления осциллографа. 18 – 31

Система вертикального отклонения и органы управления	18
Положение по вертикали и чувствительность	19
Режим входа	19
Ограничение полосы пропускания	19
Расширение полосы пропускания	20
Система горизонтального отклонения и органы управления	20
Органы управления захватом	20
Режимы захвата	20
Типы режимов захвата	21
Запуск и останов системы захвата	21
Дискретизация	22
Органы управления дискретизацией	22
Выборка в реальном времени	22
Выборка в реальном времени с интерполяцией	23
Выборка в эквивалентном масштабе времени	24
Положение изображения и секунды на деление	26
Выбор масштаба времени	26
Изменение масштаба и панорамирование изображения	26
Поиск	26
Режим XY	26
Ось Z	26
Режим XYZ в DPO и отображение записи XYZ	26
Система запуска и органы управления	27
Положение запуска	29
Запуск по уровню, нарастающую или спаду	29
Источники сигнала запуска	29
Режимы запуска	30
Режим входа запуска	30
Удержание запуска	30
Система отображения и органы управления	31
Прочие органы управления осциллографа	31
Математические операции и измерения	31
Регистрация цифровых сигналов по времени и по состоянию	31

Завершённая измерительная система	32 – 34	Работа с осциллографом	43 – 45
Пробники	32	Заземление осциллографа	43
Пассивные пробники	33	Настройка органов управления	43
Активные и дифференциальные пробники	34	Калибровка прибора	44
Логические пробники	34	Подключение пробников	44
Специализированные пробники	35	Компенсация пробника	44
Аксессуары пробников	35	Технологии измерений при помощи	
Характеристики осциллографов	35 – 42	осциллографа	46 – 48
Полоса пропускания	35	Измерения напряжения	46
Время нарастания	36	Измерения времени и частоты	47
Частота выборки	37	Измерения длительности импульса	
Скорость захвата сигнала	38	и времени нарастания фронта	47
Длина записи	38	Измерения сдвига по фазе	48
Функции запуска	39	Прочие измерительные технологии	48
Эффективное число разрядов	39	Письменные упражнения	49 – 54
Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)	39	Часть I	
Чувствительность по вертикали	39	А: Проверка знания терминов	49
Скорость развёртки	39	В: Проверка практических знаний	50
Погрешность усиления	39	Часть II	
Погрешность по горизонтали	39	А: Проверка знания терминов	51
Разрешение по вертикали (АЦП)	39	В: Проверка практических знаний	52
Разрешение по времени (MSO)	40	Карта ответов	54
Интерфейсы	40	Глоссарий	55 – 58
Расширяемость	40		
Простота в использовании	42		

Введение

Многие колебательные движения в природе имеют форму синусоиды, будь то океанские приливы, землетрясения, раскаты грома, ударные волны взрыва, просто звуковые волны, распространяющиеся через воздушную среду, либо частота собственных колебаний при внешнем воздействии, присущая любому телу. Энергия, колеблющиеся частицы и другие недоступные глазу явления наполняют все окружающее нас пространство. Даже свет, имеющий двойственную корпускулярно-волновую природу, обладает определенной частотой, воспринимаемой нами в виде цвета.

Измерительные преобразователи – устройства, способные конвертировать все эти явления в электрические сигналы, которые могут быть видимы и изучаемы при помощи прибора, называемого осциллограф. Осциллографы дают возможность учёным, инженерам, техникам, преподавателям и др. реально “видеть” события, изменяющиеся во времени.

Осциллографы – незаменимый инструмент для тех, кто проектирует, производит или ремонтирует электронное оборудование. В современном быстро изменяющемся мире специалистам необходимо иметь самое лучшее оборудование для быстрого и точного решения своих насущных, связанных с измерениями задач. Будучи “глазами” инженеров в мир электроники, осциллографы являются ключевым инструментарием при изучении внутренних процессов в электронных схемах.

Применение осциллографов не ограничивается лишь миром электроники. При использовании соответствующего преобразователя осциллографы способны контролировать любые природные явления. Преобразователь – это устройство, генерирующие электрические сигналы в ответ на какое-либо физическое воздействие, такое как звук, механический удар, давление, свет или тепло. Например, микрофон представляет собой преобразователь звука в электрический сигнал. На рис. 1 приведён пример получения необходимых данных для исследований природы света при помощи осциллографа.

Осциллографы используют все: от физиков-ядерщиков до мастеров, ремонтирующих простейшую бытовую электронику. Инженеры по обслуживанию автомобилей используют осциллографы для измерений вибраций двигателей. Врачи – для измерений волн, генерируемых человеческим мозгом. Возможности прибора под названием осциллограф бесконечны.

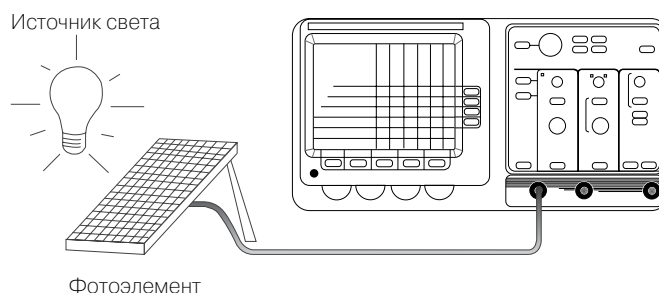


Рис. 1. Пример получения с помощью осциллографа необходимых данных для исследования природы света.

Концепции, представленные в этом учебном пособии, закладывают у заинтересованных читателей отличный базис для понимания сущности осциллографов и фундаментальных принципов, на которых строится их функционирование.

В конце брошюры помещен глоссарий, поясняющий специальные термины и понятия. Этот справочник, а также контрольные тесты по теории осциллографов помогут лучше усвоить предлагаемый материал. Таким образом, читатель сможет понять суть данного издания без специального образования в области электроники или математики.

После прочтения этого учебного пособия неискушенный читатель сможет:

- ясно представлять себе как работает осциллограф;
- понять разницу между различными типами осциллографов;
- представлять себе, какие бывают формы электрических колебаний;
- детально ознакомиться с основными органами управления осциллографов;
- на практике осуществить простейшие измерения.

Необходимо знать, что к любому осциллографу прилагается «Руководство по эксплуатации», предоставляющее подробную информацию о том, как эксплуатировать конкретный осциллограф в повседневной деятельности. Некоторые производители осциллографов также предоставляют различные рекомендации по применению своих приборов в целях максимальной оптимизации режимов их использования при решении специфических задач.

Если вам потребуется дополнительная помощь при чтении данного материала, либо у вас появятся собственные комментарии, просьба обращаться в представительство компании Tektronix, либо найти ответы на интересующие вас вопросы на сайте www.tektronix.ru.

Целостность сигнала

Понятие целостности сигнала

Ключевым фактором любой осциллографической системы является её способность точно воспроизводить форму сигнала. Эта способность определяется характеристикой, известной как целостность сигнала. Осциллограф подобен фотоаппарату, захватывающему изображения (в нашем случае – сигналы), которые мы затем можем изучать и толковать их суть. Три ключевых момента лежат в основе понятия целостности сигнала:

- Когда делается “фотография” события, можно ли считать, что полученное изображение является достоверным воспроизведением того, что произошло на самом деле?
- Достаточно ли чётко получилось выведенное на экран прибора изображение или оно размытое?
- Какое количество достоверных изображений о событиях можно получить в секунду?

Все вместе взятые узлы и системы осциллографа, их характеристики в зависимости от режимов работы, вносят свой вклад в его способность отражать на экране наиболее достоверную информацию об исследуемом сигнале. Пробники (или щупы) также оказывают воздействие на целостность сигнала в измерительной системе.

Понятие целостности сигнала необходимо учитывать при проектировании любых электронных устройств. Но до недавнего времени это не касалось разработки цифровых устройств. Логические схемы, функционирующие по законам булевой алгебры, до определенного момента могли не считаться с этим фактором. Сильно зашумлённые, трудно выделяемые сигналы стали особенностью схем высокоскоростной обработки данных, что сразу же явилось предметом беспокойства для разработчиков высокочастотных устройств. Ранее цифровые системы использовали низкие тактовые частоты, поэтому форма сигналов была предсказуемой.

С того времени тактовая частота процессоров возросла на целые порядки. Различные компьютерные приложения, такие как трехмерная графика, видеообработка и системы высокоскоростного ввода-вывода, требуют наличия широкой полосы пропускания. Большинство из применяемых в настоящее время телекоммуникационных устройств, основанных на цифровой технологии, нуждаются в такой же широкой полосе. То же самое в полной мере относится и к телевизионным системам высокой чёткости. Используемые сегодня микропроцессорные устройства обрабатывают потоки данных со скоростями 2, 3 и даже 5 Гвб\с (гига-выборки в секунду), в то время как некоторые микросхемы памяти DDR3 работают на частотах более 2 ГГц с сигналами, имеющими время нарастания фронта 200 пс.

Важно отметить, что тенденция роста быстродействия коснулась и интегральных схем общего назначения, применяемых в автомобильной электронике, бытовой технике и в устройствах промышленной автоматизации.

Процессоры, работающие на частоте 20 МГц, легко могут столкнуться с сигналами, обладающими такими характеристиками, которые могут быть обработаны лишь процессорами 800 МГц и более. Всё это свидетельствует о том, что проектировщики электронного оборудования уже давно перешагнули так называемый рубеж функциональности, что на практике означает: практически каждое современное электронное устройство – высокоскоростное.

Без принятия необходимых мер предосторожности, эти самые “высокоскоростные” проблемы могут запросто вкраситься в разработки любой направленности. Если какая-либо электронная схема испытывает перемежающиеся сбои, либо выдаёт ошибки при предельных значениях напряжения или температуры, то существует большая вероятность того, что в этой схеме присутствуют скрытые дефекты, связанные с целостностью сигнала. А это, в свою очередь, негативно воздействует на такие факторы, как время выхода конечного продукта на рынок, надёжность, соответствие требованиям электромагнитной совместимости и т.д.

Почему целостность сигнала представляет собой проблему?

Давайте взглянем на некоторые специфические причины деградации сигнала в современных цифровых системах. Почему именно сейчас все эти проблемы превалируют по сравнению с ситуацией недалёкого прошлого?

Ответ на этот вопрос один: скорость. В старые добрые времена поддержание целостности цифрового сигнала означало необходимость внимательной проработки цепей тактовой частоты и сигнального тракта, обеспечение запаса помехоустойчивости, демпфирование нагрузки, согласование линий передачи данных и оконечных нагрузок шин, обеспечение гальванической развязки и помехоустойчивого питания. Все эти аспекты не потеряли свою актуальность и сегодня, но...

Время цикла шины сегодня в тысячу раз быстрее, по сравнению с тем же показателем 20 лет назад! Транзакции, ранее измеряемые в микросекундах, сейчас измеряются в наносекундах. Для достижения таких показателей крутизна фронта импульсов также возросла: в настоящий момент она в 100 раз выше, чем два десятилетия назад.

Всё это, конечно, замечательно, однако, определённые физические реалии конструкции печатных плат сдерживали развитие технологии современной электроники. Время прохождения сигнала по внутренним шинам микропроцессоров оставалось почти неизменным на протяжении десятилетий. Очевидно, что за прошедшее время геометрические размеры печатных плат уменьшились, но тем не менее, для размещения интегральных схем, разъемов, пассивных компонентов и, конечно же, печатных проводников, требуется значительное пространство. Наличие этого пространства означает увеличение длины проводников, что в свою очередь ведет к росту задержек и, как следствие, к снижению скорости.

Необходимо всегда помнить, что цифровой сигнал с крутыми фронтами (малым временем нарастания и спада) обладает гораздо более широким частотным спектром, чем его собственная частота следования импульсов. По этой причине проектировщики в некоторых случаях стараются применять интегральные схемы с относительно большим временем нарастания.

Модель схемы с сосредоточенными параметрами всегда была основой для выполнения большинства расчётов, используемых для прогнозирования поведения сигнала в той или иной цепи. Но когда время нарастания стало в 4–6 раз меньше чем время задержки сигнала в тракте, то упомянутые выше модели схем уже не могли более применяться.

Печатные проводники длиной в 6 дюймов (152 мм) стали «длинными линиями» для сигналов со временем нарастания менее 4–6 наносекунд, вне зависимости от тактовой частоты. Фактически, были созданы новые сигнальные тракты. Эти неосязаемые устройства не обозначены в принципиальной схеме, но тем не менее, они являются причиной непредсказуемого воздействия сигналов друг на друга.

Иногда значительный вклад в погрешность измерения вносит рассогласование прибора с пробником. Однако, учитывая формулу «квадратный корень из суммы квадратов» для измеренного значения, можно определить, находится ли в пределах нормы время нарастания/спада исследуемого сигнала. Кроме того, некоторые новые модели осциллографов имеют специальную функцию компенсации влияния измерительной системы на отображаемый сигнал.

В то же самое время компоненты сигнального тракта обладают паразитными характеристиками. Слои заземления и питания, аналогично вышеописанным сигнальным печатным проводникам, обладают индуктивными свойствами и поэтому работают как «длинные линии». Развязка подачи питания становится значительно менее эффективной. Электромагнитные помехи возрастают тем сильнее, чем меньше время нарастания, а следовательно, короче длина волны относительно длины линии. Перекрёстные помехи увеличиваются.

Кроме всего вышесказанного, импульсы с малым временем нарастания обычно требуют для своей генерации более высоких значений токов, что в свою очередь предъявляет особые требования к условиям заземления, особенно для многожильных шин, где может происходить одновременное переключение многих сигналов. Более того, высокие значения токов являются причиной повышения излучаемых электромагнитных помех, а вместе с ними и перекрёстных наводок.

Краткий экскурс к аналоговым истокам цифровых сигналов

Что же общего имеют все перечисленные выше характеристики? А то, что все они – классический аналоговый феномен. Для решения проблем, связанных с целостностью сигналов, конструкторы цифровых систем должны вторгнуться в «аналоговую область». А для того, чтобы решиться на такой шаг, они должны иметь под рукой приборы, способные точно отражать взаимодействие цифровых и аналоговых сигналов.

Причиной искажений цифрового сигнала очень часто является проблема целостности сигнала в аналоговом представлении. Для выявления причин таких искажений необходимо воспользоваться прибором, называемым осциллограф, который способен отражать все детали формы сигналов, их фронты, спады и шумы, а также обнаруживать и захватывать кратковременные переходные процессы, при этом точно измерять временные соотношения, такие как время установки и время удержания.

Ясное понимание пользователем функций осциллографа и, главное, как и когда использовать каждую из них, значительно повысит эффективность эксплуатации прибора и поможет найти правильные подходы к решению возникающих проблем.

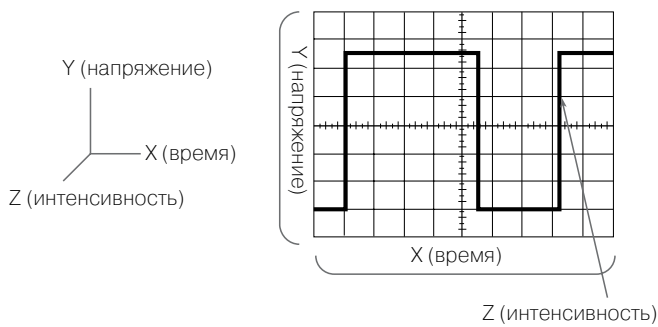


Рис. 2. Компоненты X, Y и Z отображаемого сигнала.

Осциллограф

Что представляет собой прибор, именуемый осциллограф и как он работает? Этот раздел отвечает на такие фундаментальные вопросы.

Осциллограф – прибор, отображающий получаемую информацию в графическом виде, т.е. он попросту рисует диаграмму электрического сигнала. В большинстве приложений, диаграмма отражает изменения сигнала во времени: вертикальная ось (Y) представляет значения напряжения, а горизонтальная ось (X) – время. Интенсивность или яркость выведенной на экран прибора картинки иногда называется осью Z (см. рис. 2). В осциллографах с цифровым люминофором (серия DPO) ось Z представлена градациями цвета (см. рис. 3).

Простейшая диаграмма способна многое поведать о сигнале, например:

- значение напряжения в определенный момент времени;
- частота колебаний сигнала;
- участки схемы с изменяющимися характеристиками, представленные конкретным сигналом;
- частота, с которой определённая часть сигнала соотносится с другими его составляющими;
- насколько сильно искажается сигнал за счет наличия неисправных компонентов;
- каково соотношение в сигнале постоянной и переменной составляющих;
- какова шумовая составляющая сигнала и изменяется ли это значение во времени.

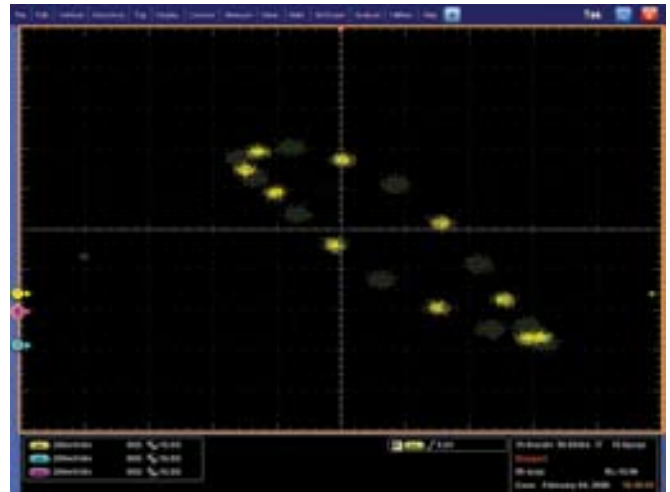


Рис. 3. Два шаблона отстройки частоты с градациями яркости (ось Z).

Толкование терминов “Форма сигнала” и “Измерения формы сигнала

Общепринятый термин для любого колебательного процесса – волна. Это могут быть звуковые волны, волны, генерируемые человеческим мозгом, океанские волны и электромагнитные волны, все они относятся к разряду периодических колебаний. Осциллограф измеряет колебания напряжения. Один период колебания представляет собой ту часть этой волны, которая полностью повторилась. Форма волны – есть графическое представление колебания как такового. Форма колебания напряжения выражается в виде диаграммы зависимости величины напряжения (по вертикали) от времени (по горизонтали).

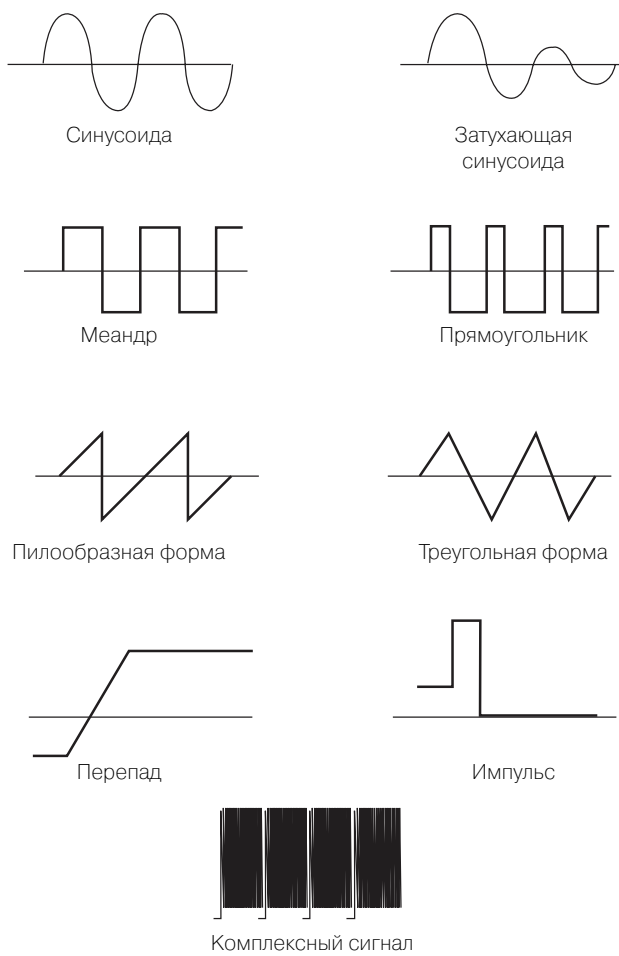


Рис. 4. Основные формы сигналов.

Внешний вид формы волны очень многое говорит о самом сигнале. Каждый раз, когда вы видите изменения по высоте формы сигнала, вы знаете, что это изменилось значение напряжения. Когда вы видите плоскую горизонтальную линию, вы делаете вывод, что за этот промежуток времени напряжение не изменилось. Прямые диагональные линии означают линейное изменение напряжения, т.е. периодическое нарастание или спад. Острые углы на диаграмме сигнала указывают на внезапные изменения. На рис. 4 изображены наиболее распространенные формы сигналов, на рис. 5 – источники таких сигналов.

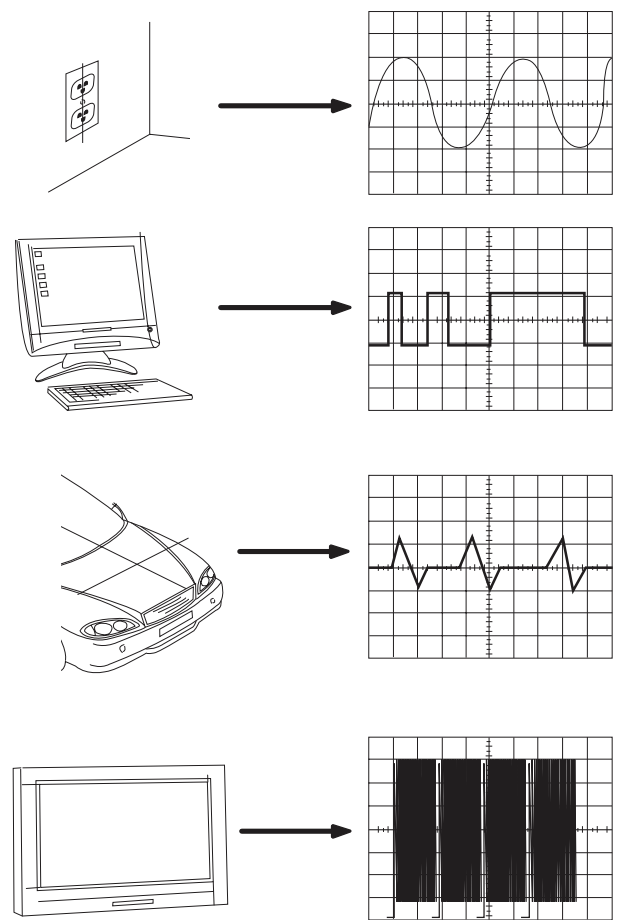


Рис. 5. Источники сигналов основных форм

Типы волн

Вы можете классифицировать большинство волн по следующим типам:

- синусоиды;
- меандры и прямоугольные;
- треугольные и пилообразные;
- перепады и импульсы;
- периодические и непериодические;
- синхронные и асинхронные;
- комплексные.

Синусоида

Синусоида является собой основную форму сигнала по нескольким причинам. Она соответствует математическому определению гармонической функции – это та самая функция $\sin x$, особенности которой вы изучали ещё в школе на уроках тригонометрии. Напряжение, присутствующее в электрической розетке, изменяется по синусоидальному закону. Тестовые сигналы, создаваемые генератором стандартных функций, также имеют синусоидальную форму. Большинство источников переменного тока выдают синусоидальный сигнал.

Затухающая синусоида представляет собой особый случай, который можно наблюдать в колебательных контурах при отсутствии резонанса.

Меандр и прямоугольник

Меандр представляет собой другой вид формы сигнала. В принципе, волна, имеющая форму меандра – это напряжение, которое включается и выключается (либо мгновенно увеличивает и уменьшает своё значение) на протяжении равных интервалов времени. Сигнал меандра часто используют для тестирования усилителей. Хорошие усилители вносят в такой сигнал минимальные искажения. Телевизионные, радио и компьютерные схемы часто используют сигналы синхронизации, имеющие форму меандра.

Прямоугольная форма похожа на меандр за исключением того, что высокие и низкие уровни напряжения имеют разную длительность. Такое свойство сигналов важно учитывать при анализе цифровых цепей.

Пилообразная и треугольная форма

Сигналы пилообразной и треугольной формы генерируются схемами, изменяющими напряжение по линейному закону, такими как генератор горизонтальной развертки аналогового осциллографа или выходной каскад схемы кадровой развертки телевизора.

Перепады и импульсы

Редко возникающие или непериодические сигналы, представляющие собой однократное или двукратное изменение напряжения называются соответственно перепадами и импульсами. Перепад характеризуется резким изменением напряжения, аналогичным тому, как если бы вы включили или выключили выключатель питания.

Импульс состоит из двух последовательных перепадов, аналогичных включению и выключению выключателя. Импульс может представлять собой один бит информации, передаваемый по компьютерной шине, или же глитч (импульсная помеха). Несколько совместно передаваемых импульсов образуют последовательность импульсов. Цифровые компоненты в составе компьютера взаимодействуют друг с другом посредством импульсов. В последовательных шинах информация передается в виде последовательности импульсов по одной сигнальной линии, а в параллельных шинах для передачи импульсов предусмотрено несколько сигнальных линий. Импульсы широко используются в рентгеновском оборудовании, радиолокационных системах и средствах связи.

Периодические и непериодические сигналы

Регулярно повторяющиеся сигналы относятся к категории периодических, а постоянно изменяющиеся сигналы известны как непериодические. На экране осциллографа это может выглядеть в виде устойчивой картинки при отображении периодических сигналов и постоянно меняющейся картинки в противоположном случае.

Синхронные и асинхронные сигналы

Когда между двумя сигналами есть связь по времени, то эти сигналы относятся к категории синхронных. Например, тактовая частота, сигналы данных и адреса внутри компьютерной системы являются синхронными сигналами.

Асинхронными сигналами называются такие сигналы, между которыми отсутствует связь по времени. Например, если нет временной взаимосвязи между нажатием кнопок на клавиатуре компьютера и тактовой частотой компьютера, то соответствующие сигналы асинхронные.

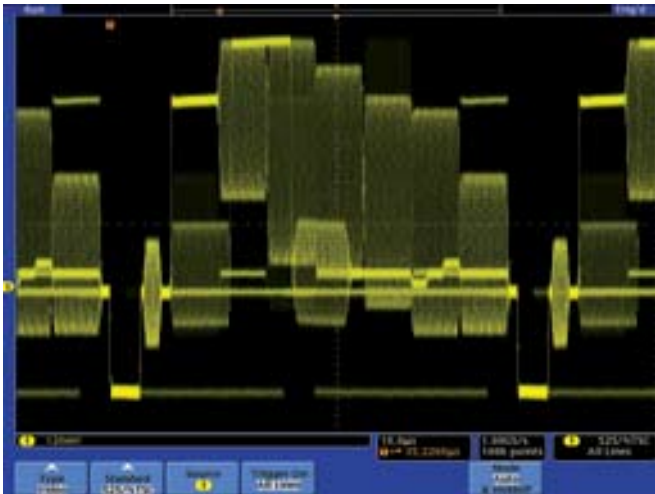


Рис. 6. Примером комплексного сигнала является композитный сигнал NTSC.

Комплексные сигналы

Некоторые сигналы сочетают в себе свойства синусоид, меандров, перепадов и импульсов. Полезная информация может содержаться в изменениях амплитуды, фазы или частоты. Например, хотя сигнал на рис. 6 является обычным композитным видеосигналом, он состоит из многих периодов высокочастотных сигналов, вложенных в низкочастотную огибающую.

Самое главное в данном примере, это понять соотношение уровней и временных характеристик перепадов. Для исследования такого сигнала потребуется осциллограф, захватывающий низкочастотную огибающую и подмешивающий в нее высокочастотные сигналы с градациями яркости, так чтобы вы видели комбинацию этих сигналов в виде изображения, которое можно визуальнo интерпретировать. Для просмотра комплексных сигналов, таких как видеосигналы, показанные на рис.6, наиболее удобны осциллографы с цифровым люминофором. Их дисплей предоставляет необходимую информацию о частоте появления сигнала или о градациях яркости, что очень важно для понимания происходящих процессов.

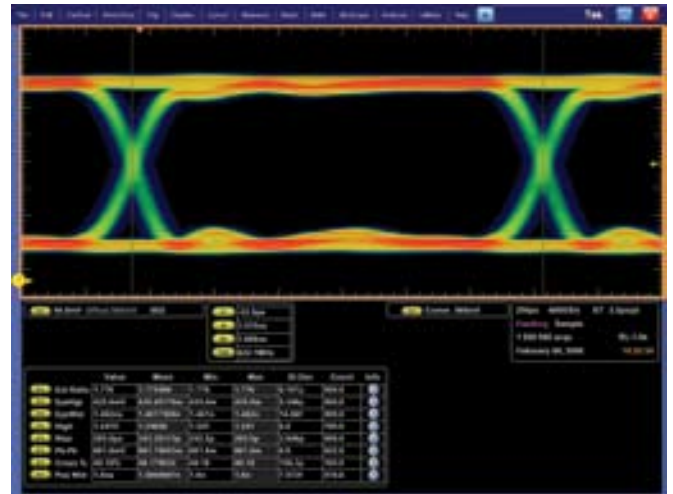


Рис. 7. Глазковая диаграмма сигнала последовательной шины, передаваемого со скоростью 622 Мбит/с.

Некоторые осциллографы предлагают особые способы отображения комплексных сигналов. Например, телекоммуникационные сигналы можно представить в виде глазковой или констеляционной диаграммы.

Цифровые телекоммуникационные сигналы можно отобразить на экране осциллографа в специальном виде, который называется глазковой диаграммой. Это название связано с тем, что такое отображение, как видно на рис. 7, напоминает по форме глаза. Для построения глазковой диаграммы поступающий с приемника последовательный цифровой сигнал оцифровывается и подается на вход схемы вертикальной развертки, а для запуска горизонтальной развертки используется тактовая частота последовательного потока. Глазковая диаграмма показывает один бит или один единичный интервал данных, причем все возможные перепады и состояния накладываются друг на друга, образуя одно комплексное представление.

Констеляционная диаграмма предназначена для наглядного представления сигнала с цифровой модуляцией, такой как квадратурная амплитудная модуляция или фазовая манипуляция.

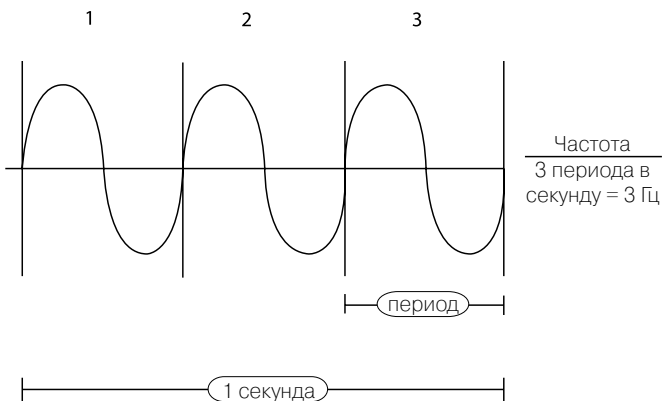


Рис. 8. Частота и период синусоидального сигнала.

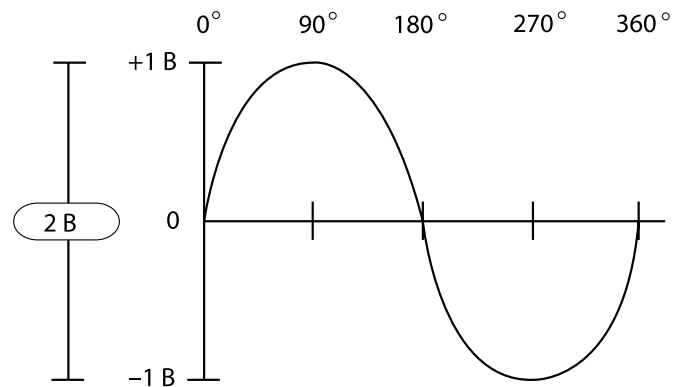


Рис. 9. Амплитуда и фаза синусоидального сигнала.

Измерения формы сигналов

Существует множество терминов, которые можно использовать для описания видов измерений, проводимых на осциллографе. Этот раздел описывает некоторые, наиболее распространённые из них.

Частота и период

Если сигнал повторяется, то это происходит с определенной частотой. Частота измеряется в герцах (Гц). Эта величина соответствует количеству раз, которое сигнал повторяется за одну секунду. Повторяющийся сигнал также имеет период – время, необходимое сигналу для совершения одного колебательного цикла. Период и частота имеют обратную зависимость. Таким образом, $1/\text{Период} = \text{Частота}$ и $1/\text{Частота} = \text{Период}$. Например, синусоида, представленная на рис. 8 имеет частоту 3 Гц и период в $1/3$ секунды.

Напряжение

Эта величина отражает разность электрических потенциалов между двумя точками электрической цепи. Обычно напряжение измеряется относительно «земли» или общего проводника (0 В), но не обязательно. Иногда возникает задача измерить напряжение между крайней верхней и крайней нижней точками волны: напряжение размаха или напряжение от пика до пика.

Амплитуда

Это максимальное значение напряжения сигнала за период. Сигнал, представленный на рис. 9 имеет амплитуду в 1 В и напряжение от пика до пика 2 В.

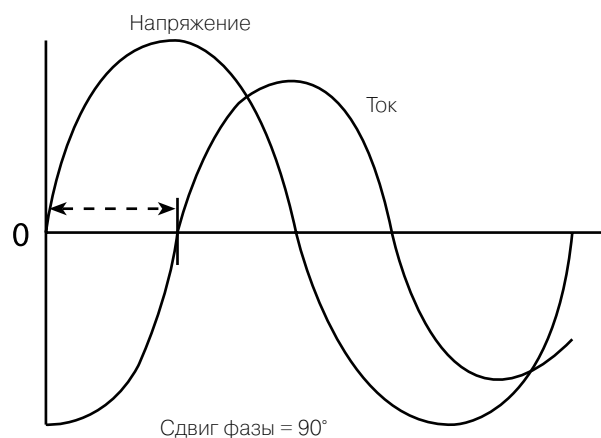


Рис. 10. Сдвиг фазы.

Фаза

Понять, что представляет собой эта величина, проще всего, взглянув на синусоиду. Изменение значения напряжения синусоидального сигнала можно представить в виде кругового движения. Учитывая, что круг составляет 360° , один период синусоиды также равен 360° , как это показано на рис. 9. Применяя термин «градус», можно вывести понятие угла фазы синусоиды, когда необходимо определить точку в пределах периода волны.

Сдвиг по фазе обозначает, на какой угол относительно друг друга сдвинуты схожие сигналы. Сигнал на рис. 10 обозначенный как «ток», на 90° отстаёт от сигнала, обозначенного как «напряжение», поскольку обе волны приходят в одни и те же точки их циклов точно с разницей в $1/4$ периода ($360^\circ/4 = 90^\circ$). Сдвиги по фазе – распространённое явление в электронике.

Измерения формы сигналов при помощи цифрового осциллографа

Современные цифровые осциллографы обладают функциями, значительно облегчающими измерения формы сигналов. В качестве органов управления эти приборы используют клавиши лицевой панели и/или экранные меню, через которые можно выбрать режимы полностью автоматических измерений, включающих в себя измерение амплитуды, периода, времени нарастания/спада импульса и многое другое. Большинство цифровых осциллографов могут рассчитать среднее и среднеквадратическое значения, коэффициент заполнения, а также выполнить целый ряд других математических операций. Результаты автоматических измерений отображаются на экране в текстовом формате. Обычно такие показания более точны, чем интерпретация графического изображения.

Полностью автоматические измерения позволяют узнать следующие характеристики сигналов:

- | | | |
|----------------------------------|---|---|
| ■ Период | ■ Коэф. Заполнения для положит. импульсов | ■ Высокий уровень |
| ■ Частота | ■ Коэф. заполнения для отриц. импульсов | ■ Низкий уровень |
| ■ Длительность положит. импульса | ■ Задержка | ■ Минимальное значение |
| ■ Длительность отриц. импульса | ■ Фаза | ■ Максимальное значение |
| ■ Время нарастания | ■ Длительность пакета | ■ Выброс положит. импульса |
| ■ Время спада | ■ Пиковое значение | ■ Выброс отриц. импульса |
| ■ Амплитуда | ■ Среднее значение | ■ Среднеквадратическое значение |
| ■ Коэффициент ослабления | ■ Среднее значение за период | ■ Среднеквадратическое значение за период |
| ■ Средняя оптическая мощность | ■ Значение за часть периода | ■ Джиттер |

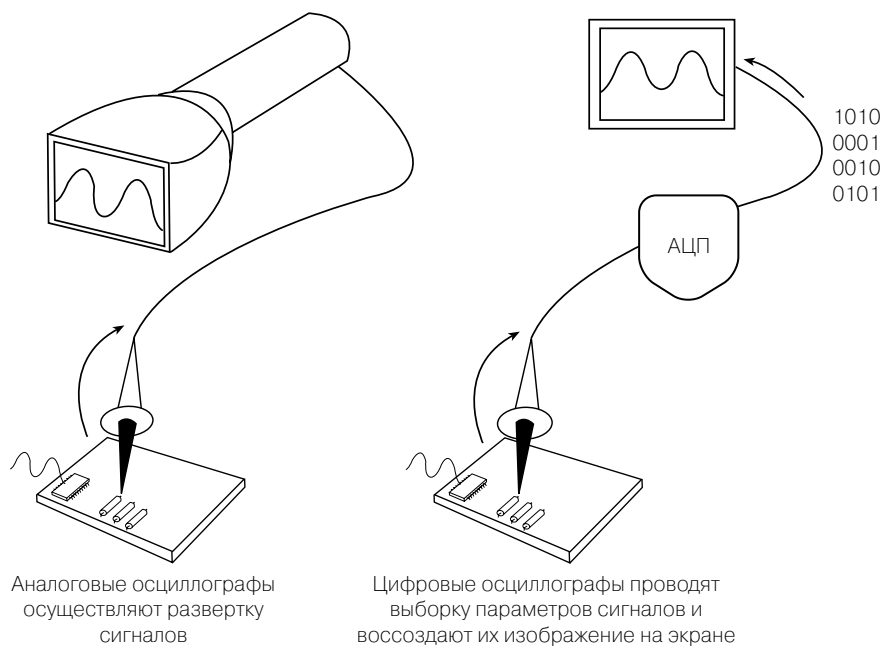


Рис. 11. Технологии обработки сигналов и их отображение на экранах аналогового и цифрового осциллографов.

Типы осциллографов

Электронное оборудование может быть поделено на две основные категории: аналоговое и цифровое. Аналоговое оборудование работает с непрерывно изменяющимися во времени значениями напряжения, а цифровое – с дискретными (бинарными) сигналами, представляющими собой выборки напряжения. Например, проигрыватель виниловых дисков является аналоговым устройством, в то время как проигрыватель компакт-дисков – цифровым.

Точно таким же образом классифицируются и осциллографы: на аналоговые и цифровые. В противоположность аналоговым моделям, в цифровых осциллографах используется аналого-цифровой преобразователь (АЦП) для преобразования измеряемого напряжения в цифровой вид. АЦП выполняет периодический захват сигнала и направляет в память захваченные выборки. Из множества сохраненных в памяти выборок осциллограф строит форму измеряемого сигнала. Затем полученная информация выводится на экран (см. рис. 11).

Цифровые осциллографы подразделяются на цифровые запоминающие осциллографы (DSO), осциллографы с цифровым люминофором (DPO) и стробоскопические осциллографы.

Применение цифровой технологии предполагает способность осциллографа отобразить сигнал любой частоты в пределах полосы пропускания прибора в четком, ясном и стабильном виде. Для периодических сигналов полоса пропускания осциллографа определяется, как правило, аналоговой полосой его входного каскада, рассчитываемой

по уровню -3 дБ. Для однократных событий и переходных процессов (импульсных сигналов) полоса пропускания может быть ограничена частотой выборки осциллографа. В разделах «Частота выборки» и «Характеристики осциллографов» эти вопросы будут обсуждаться более подробно.

Цифровые запоминающие осциллографы

Обычный цифровой осциллограф позиционируется как цифровой запоминающий осциллограф (DSO). Дисплей такого прибора относится к экрану растрового типа, в отличие от люминофорного экрана аналоговых запоминающих осциллографов.

DSO позволяют захватывать и просматривать события, случающиеся однократно, например переходные процессы. Поскольку информация о сигнале существует в цифровом формате в виде последовательности сохраненных бинарных значений, эти значения можно легко анализировать, архивировать, распечатывать, либо обрабатывать каким-либо иным способом, как в самом осциллографе, так и во внешнем компьютере. В этом случае для сигнала нет необходимости быть непрерывным; сигнал может быть отображен на экране прибора даже тогда, когда сам он уже давно исчез. В отличие от аналоговых моделей, цифровые запоминающие осциллографы обеспечивают постоянное сохранение в памяти захваченной информации, всестороннюю обработку параметров и их анализ. Однако такие приборы не отображают градации яркости развертки сигнала в реальном времени, поэтому DSO неспособны наглядно представлять изменяющиеся «живые» сигналы.

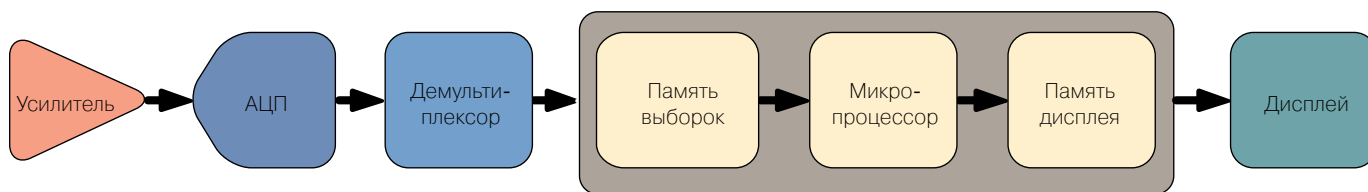


Рис. 12. Архитектура последовательной обработки входных сигналов цифровым запоминающим осциллографом (DSO).

Некоторые функциональные узлы, входящие в состав DSO, схожи с аналогичными узлами аналоговых осциллографов. Однако в цифровых моделях имеются дополнительные подсистемы обработки данных, необходимые для сбора и отображения на экране всех параметров, присущих тому или иному сигналу. В DSO используется архитектура последовательной обработки информации для захвата и вывода на экран исследуемых сигналов (см. рис. 12). Далее приводится описание этой технологии.

Архитектура последовательной обработки

Как и в аналоговых осциллографах, первым (входным) функциональным узлом DSO является усилитель вертикального отклонения. Органы управления вертикальным отклонением позволяют регулировать амплитуду и положение развертки сигнала. Далее, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) в системе горизонтального отклонения осуществляет выборку сигнала в дискретных точках определенного временного интервала и преобразует напряжение исследуемого сигнала в этих точках в цифровые значения, называемые элементами выборки. Весь этот процесс называется оцифровкой сигнала.

Схема синхронизации системы горизонтального отклонения устанавливает частоту, с которой АЦП делает выборки. Эта величина называется частота выборки и измеряется в выборках в секунду (выб/с).

Выборки, полученные от АЦП, сохраняются в оперативной памяти прибора в качестве элементов описания формы сигналов. Некоторое количество выборок могут составить одну точку развертки сигнала. Взятые вместе точки развертки сигнала составляют одну развертку сигнала. Используемое количество точек, необходимое для создания развертки сигнала называется длина записи. Система запуска осциллографа определяет момент пуска и окончания процесса записи.

Сигнальный тракт цифровых осциллографов включает в себя микропроцессор, через который проходит измеряемый сигнал. Микропроцессор обрабатывает сигнал, управляет выводом данных на дисплей, органами управления передней панели прибора, а также решает другие задачи. Затем сигнал поступает в память дисплея, а из нее – выводится на экран.

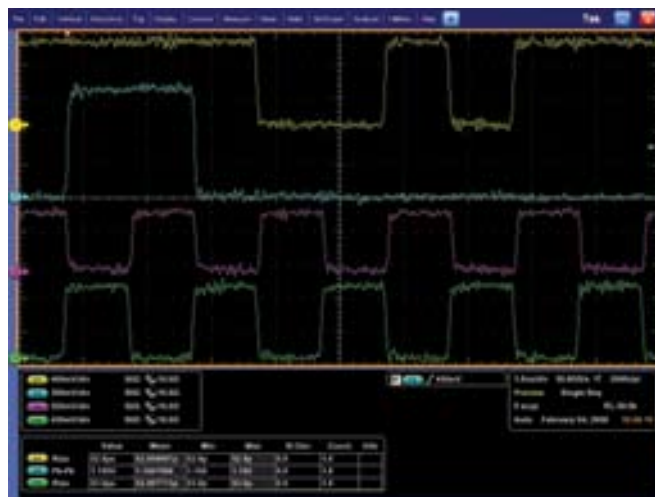


Рис. 13. Цифровые запоминающие осциллографы обладают высоким быстродействием в режиме одиночного захвата сигналов по нескольким каналам. Это повышает вероятность захвата неуловимых глитчей и переходных процессов.

В зависимости от производительности осциллографа, может выполняться дополнительная обработка выборок, что значительно повышает качество и достоверность отображаемой информации. Также возможно использование режима упреждающего запуска, который позволяет просматривать сигнал непосредственно перед моментом запуска. Большинство современных цифровых осциллографов обладают широким набором режимов автоматического измерения параметров, что в целом, упрощает процедуру исследования сигналов.

DSO обеспечивает высокую производительность в режиме одиночного захвата по нескольким каналам (см. рис. 13). Осциллографы DSO идеальны для исследований высокоскоростных сигналов в нескольких каналах с невысокой скоростью захвата или с одиночными захватами. При проектировании цифровых устройств инженеры обычно анализируют от четырёх и более сигналов одновременно – в таких задачах DSO становится незаменимым помощником.

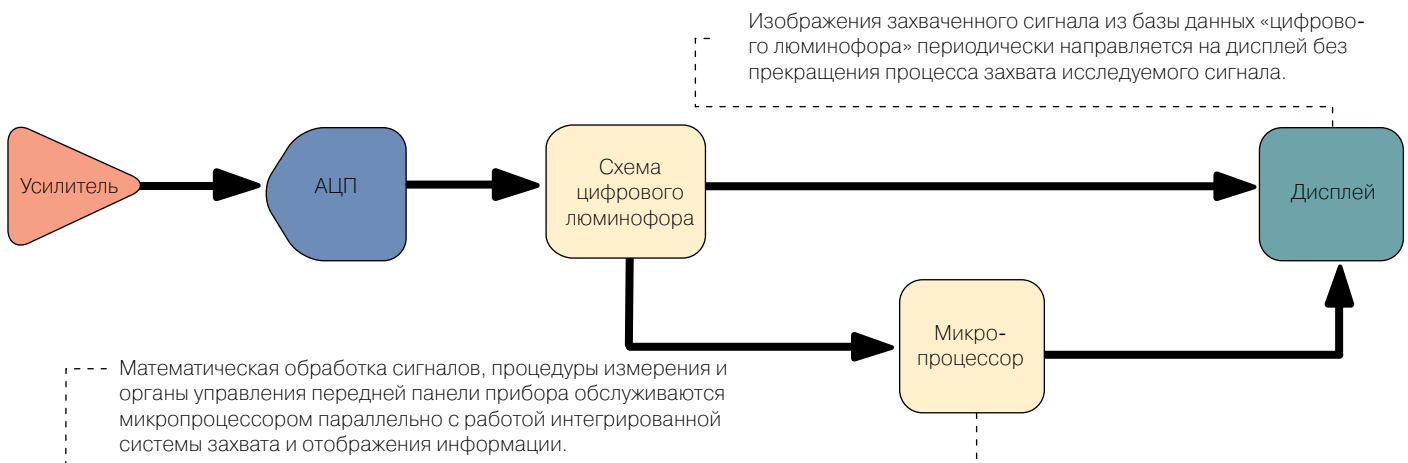


Рис. 14. Архитектура параллельной обработки сигналов в осциллографе с цифровым люминофором.

Осциллографы с цифровым люминофором

В осциллографах этого типа (DPO) используется новый принцип обработки сигнала, предоставляющий уникальные возможности захвата данных и точного воспроизведения осциллограммы на экране.

В то время, как в DSO применяется технология последовательной обработки сигналов для их захвата, отображения и анализа, в DPO для выполнения тех же задач используется параллельная обработка (см. рис. 14). DPO построены на основе специализированной ПЛИС (программируемой логической интегральной микросхемы), реализующей захват и формирование изображения развертки сигналов с чрезвычайно высокой скоростью, что, в итоге, приводит к высокому качеству визуализации сигнала на экране прибора. Этот подход значительно повышает вероятность обнаружения быстротекущих процессов, происходящих в цифровых системах, таких как поврежденные импульсы, глитчи и различные переходные процессы, а также предоставляет дополнительные возможности анализа. Описание архитектуры параллельной обработки сигналов приводится ниже.

Архитектура параллельной обработки

Первый (входной) функциональный узел DPO такой же, как у аналогового осциллографа – усилитель вертикального отклонения. Второй узел такой же, как у DSO – АЦП. Однако, после АЦП архитектура DPO значительно отличается от других осциллографов.

Для любого типа осциллографа, будь то аналоговый, DSO или DPO, всегда имеет место некоторое время задержки, в течение которого прибор обрабатывает только что захваченные данные, осуществляет сброс системы и ожидает следующего события запуска. В течение всего этого времени, осциллограф остаётся «слепым» к любым изменениям сигналов. Вероятность зарегистрировать редко происходящие события понижается пропорционально увеличению времени задержки.

Необходимо отметить, что невозможно определить вероятность захвата того или иного события на основании того, как часто происходит обновление информации на экране. Если рассчитывать исключительно на эту характеристику осциллографа, то легко ошибиться, полагая, что прибор захватывает все текущие данные о форме сигнала, хотя фактически это не так.

Как уже упоминалось, цифровые запоминающие осциллографы обрабатывают захваченные сигналы последовательно. В этом процессе узким местом является скорость работы микропроцессора, поскольку от этой характеристики зависит частота захвата сигналов.

DPO переводит в растровый формат оцифрованные данные о форме сигнала в базу данных «цифрового люминофора». Каждую 1/30-ую секунды – частота восприятия информации человеческим глазом – каждое изображение, ранее сохранённое в базе данных, переносится прямо в систему отображения (дисплей). Такой процесс прямой растеризации данных о форме сигнала и непосредственное копирование из базы данных в память дисплея, устраняет упоминавшееся узкое место, связанное с обработкой данных, что присуще любым другим типам осциллографов. В результате на дисплее можно наблюдать «живые» сигналы в реальном времени. Все их подробности, перемежающиеся события, динамические характеристики – всё захватывается в режиме реального времени. Микропроцессор DPO функционирует параллельно с интегрированной системой захвата, осуществляя управление дисплеем, автоматическими процедурами измерений и общее управление прибором. Таким образом, производительность процессора не влияет на скорость захвата.

DPO точно воспроизводит лучшие качества, присущие только своим аналоговым собратьям, отображая сигнал в трёх измерениях: время, амплитуда и распределение амплитуды во времени, и всё это в реальном времени.

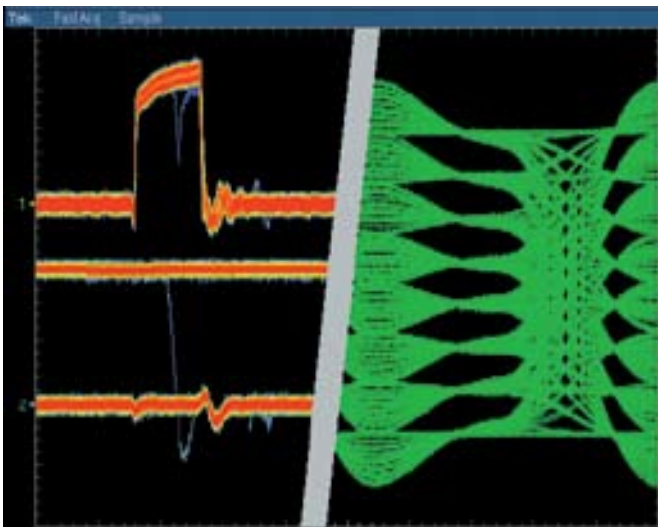


Рис. 15. Некоторые DPO способны делать миллионы захватов в течение секунд, что чрезвычайно повышает вероятность регистрации переходных процессов и трудноуловимых событий – всего того, что характеризует динамическое поведение сигналов.

Тем не менее, в противоположность технологии аналоговых осциллографов, использующей физические свойства люминофора, в DPO применяется технология электронного цифрового люминофора, что на самом деле представляет собой непрерывно обновляющуюся базу данных. Эта база данных имеет отдельную ячейку памяти для каждого пикселя дисплея прибора. Каждый раз в процессе захвата сигнала (другими словами, после каждого запуска), информация о сигнале переносится в ячейки базы данных цифрового люминофора. В каждую ячейку, отражающую текущее состояние определенной точки экрана, записывается информация об интенсивности сигнала в этой точке. Таким образом, информация об интенсивности выстраивается в тех ячейках, через которые чаще всего проходит сигнал.

Когда база данных цифрового люминофора передается на дисплей осциллографа, то дисплей воспроизводит наиболее интенсивные области развертки сигнала пропорционально их частоте появления в каждой точке, что очень похоже на градацию яркости у аналоговых осциллографов. Точно также DPO даёт возможность выделить события в зависимости от частоты их появления за счет градации цвета, но эта функция уже отсутствует у аналоговых моделей. При помощи DPO легко увидеть разницу между сигналами, захваченными при каждом запуске, и сигналом, захваченным, например, при каждом 100-ом запуске.

Осциллографы с цифровым люминофором стирают границу между аналоговыми и цифровыми моделями этого вида приборов. При помощи DPO одинаково удобно исследовать высокие и низкие частоты, периодические сигналы, переходные процессы и комплексные сигналы в реальном времени. Только DPO обладают возможностью представления сигнала по оси Z (градация яркости при отображении на дисплее) в реальном времени, что отсутствует у цифровых запоминающих осциллографов.

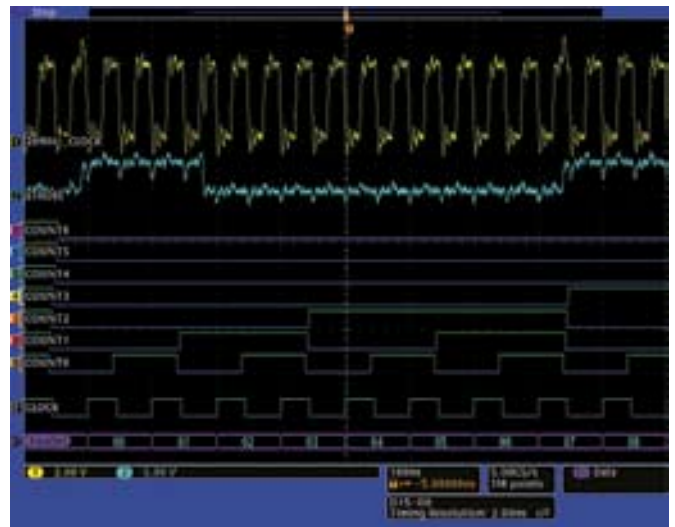


Рис. 16. MSO имеет 16 встроенных цифровых каналов, позволяя отображать и анализировать коррелированные по времени аналоговые и цифровые сигналы.

DPO – идеальный инструмент для тех, кто занимается разработкой цифровых устройств широкого применения, а также для отладки различного электронного оборудования (см. рис. 15). DPO отлично подходит для глубокого анализа, тестирования телекоммуникационных сигналов по маске, отладки схем с перемежающимися и периодическими сигналами, а также задач, где требуется синхронизация по времени.

Осциллографы смешанных сигналов

Осциллографы смешанных сигналов (MSO) сочетают характеристики осциллографов с цифровым люминофором (DPO) с базовыми функциями 16-канального логического анализатора, включая возможность декодирования протокола параллельных/последовательных шин и запуска по сигналам этих шин. Цифровые каналы MSO, подобно любой логической схеме, видят цифровой сигнал, как последовательность высоких и низких логических уровней. Это значит, что пока звоны, выбросы и скачки уровня земли не вызывают логических переходов, эти аналоговые эффекты в MSO не учитываются. Подобно логическому анализатору, для определения высокого или низкого логического уровня сигнала MSO использует пороговое напряжение.

MSO очень удобен для быстрой отладки цифровых схем, предлагая разнообразные функции запуска, регистрацию с высоким разрешением и средства анализа. Одновременный анализ аналоговых и цифровых сигналов, как показано на рис. 16, позволяет быстро выявлять основные причины многих проблем, превращая MSO в идеальный прибор для проверки и отладки цифровых схем.

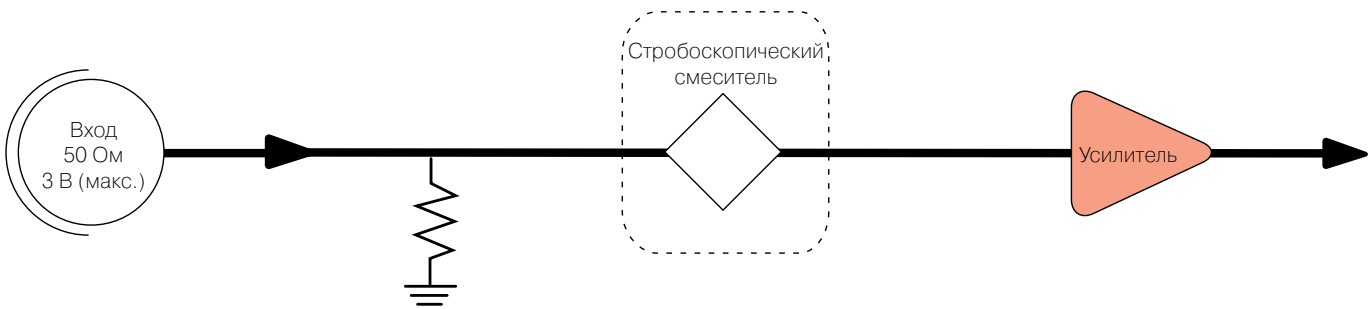


Рис. 17. Архитектура цифрового стробоскопического осциллографа.

Цифровые стробоскопические осциллографы

В отличие от архитектуры цифровых запоминающих и осциллографов с цифровым люминофором, в сигнальном тракте цифрового стробоскопического осциллографа перед аттенюатором/усилителем включен стробоскопический смеситель (дискретизирующий мост), как это представлено на рис. 17. Входной сигнал проходит процедуру выборки, перед тем как выполняется его ослабление или усиления. Поскольку полоса сигнала после стробоскопического смесителя ограничивается, может быть использован относительно узкополосный усилитель. Таким образом, полоса пропускания входного усилителя не является ограничивающим фактором для частотного диапазона осциллографов такого типа.

Однако, платой за широкую полосу осциллографов этой архитектуры является ограниченный динамический диапазон. Поскольку перед входом стробоскопического смесителя отсутствует аттенюатор/усилитель, то отсутствует и возможность изменения входных сигналов. Поэтому динамический диапазон входного сигнала осциллографа определяется динамическим диапазоном стробоскопического смесителя. У большинства стробоскопических осциллографов эта характеристика ограничена значением примерно 1 В (пик-пик), в отличие от цифровых запоминающих осциллографов и осциллографов с цифровым люминофором, на вход которых можно подавать сигнал амплитудой до 50 или до 100 В.

Помимо всего прочего, перед стробоскопическим смесителем нельзя включить защитные диоды, поскольку это ограничит полосу пропускания. Это значит, что безопасное входное напряжение осциллографа такого типа составляет около 3 В, что является очевидным недостатком по сравнению со значением 500 В для осциллографов других типов.

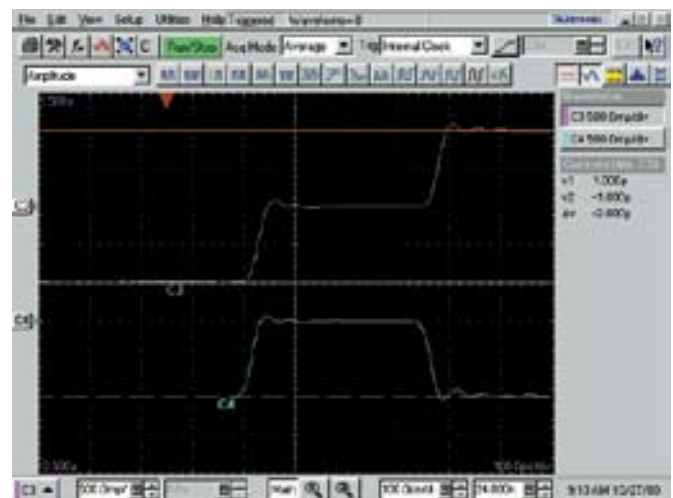


Рис. 18. Динамическая рефлектометрия (TDR), выполняемая цифровым стробоскопическим осциллографом.

При измерениях высокочастотных сигналов осциллографы DSO и DPO могут оказаться неспособными захватить достаточное количество выборок на одну развертку. В этом случае цифровой стробоскопический осциллограф представляет собой идеальный инструмент для точного захвата сигналов с частотными составляющими, значительно превышающими скорость выборки прибора (рис. 18). Архитектура этих осциллографов позволяет работать с сигналами, полоса которых на порядок больше, чем у сигналов, доступных любому другому типу осциллографов. Стробоскопические осциллографы могут иметь ширину полосы пропускания и быстродействие системы запуска в десять раз выше, чем у любого другого прибора, предназначенного для измерений периодических сигналов. Современные стробоскопические осциллографы обладают полосой пропускания до 80 ГГц.

Системы и органы управления осциллографа

В данном разделе приведена информация об основных системах и органах управления аналоговых и цифровых осциллографов. Некоторые органы управления аналоговых и цифровых моделей имеют различия, вполне вероятно, что ваш осциллограф обладает дополнительными средствами управления, здесь не описываемыми.

Обычный осциллограф состоит из 4-х различных систем – системы вертикального отклонения, горизонтального отклонения, системы запуска и системы отображения информации (дисплей). Правильное понимание того, как работает каждая из этих систем, позволяет эффективно использовать прибор для решения различных измерительных задач. Необходимо помнить, что каждая система вносит свой вклад в способность осциллографа точно воспроизводить форму сигнала.

Передняя панель осциллографа разделена на три основные части, обозначенные как вертикальное отклонение, горизонтальное отклонение и запуск. Ваш осциллограф может иметь иные части, в зависимости от модели и типа прибора (аналоговый или цифровой). После прочтения этого раздела попробуйте сопоставить расположение органов управления своего осциллографа с примером, представленным на рис. 19.

Для того чтобы приступить к измерениям входного сигнала, на осциллографе необходимо выполнить три основные настройки:

- Вертикальное отклонение: установить уровень ослабления или усиления сигнала. Установите необходимое число вольт на деление (В/дел.) для регулировки вертикального размера отображаемой развертки сигнала.
- Горизонтальное отклонение: установить скорость развертки. Установите необходимое число секунд на деление (с/дел) для регулировки масштаба развертки сигнала по горизонтальной оси.
- Запуск: установить параметры запуска осциллографа. Установите уровень запуска для стабилизации развертки периодического сигнала или выберите режим однократного запуска.



Рис. 19. Органы управления осциллографом, расположенные на передней панели

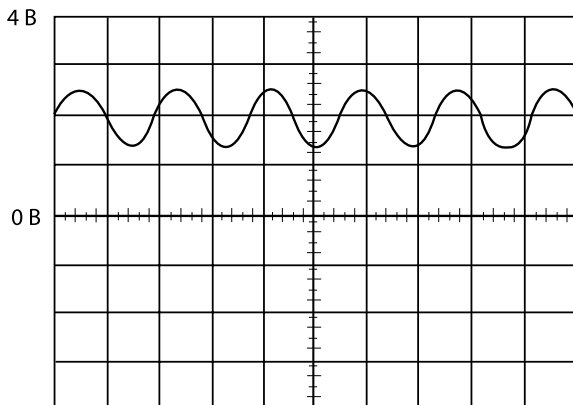
Система вертикального отклонения и органы управления

Управление вертикальным отклонением предназначено для изменения положения развертки сигнала по вертикали, вертикального размера развертки, режима входа и других параметров сигнального тракта.

Обычные средства управления вертикальным отклонением включают в себя:

- Входное сопротивление:
 - 1 МОм,
 - 50 Ом
- Режим входа:
 - связь по переменному току,
 - связь по постоянному току,
 - земля
- Полоса пропускания:
 - ограниченная,
 - расширенная
- Положение
- Смещение
- Инвертирование – вкл/выкл
- Чувствительность:
 - дискретно,
 - плавно

Отображение синусоидального сигнала с постоянной составляющей 2 В при связи по постоянному току



Отображение того же сигнала при связи по переменному току

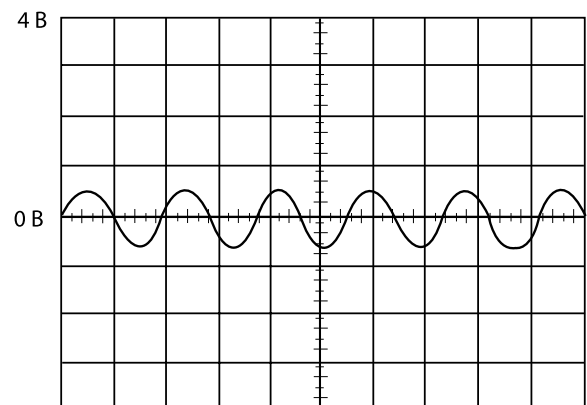


Рис. 20. Связь входа по постоянному и по переменному току.

Положение по вертикали и чувствительность

Ручка управления положением по вертикали позволяют перемещать развертку сигнала вверх и вниз по экрану осциллографа.

Ручка управления чувствительностью, обычно обозначаемая как «В/дел» (вольты на деление), изменяет размер развертки сигнала на экране прибора. Если установлено значение 5 В/дел, это значит, что на каждое деление вертикальной шкалы приходится по 5 вольт. Если шкала экрана осциллографа имеет восемь вертикальных делений, то при такой настройке на экране уместится развертка сигнала амплитудой 40 В_(пик-пик). При настройке 0,5 В/дел, весь экран займет развертка сигнала амплитудой 4 В_(пик-пик) и т.д. Максимальное напряжение, которое можно отобразить на экране, равно значению настройки В/дел, умноженному на количество делений вертикальной шкалы. Необходимо учитывать, что используемые пробники с коэффициентами 1X и 10X также влияют на коэффициент масштабирования. В этом случае необходимо умножить значение В/дел на коэффициент ослабления пробника, при условии если эту операцию осциллограф не выполняет сам.

Очень часто чувствительность имеет плавную регулировку для точного отображения сигнала в определенном количестве делений. Такая настройка применяется при измерениях времени нарастания импульса.

Режим входа

Термин «Режим входа» говорит о том, на какую схему поступает сигнал, подаваемый на вход осциллографа. Можно выбрать три режима входа: «связь по постоянному току», «связь по переменному току» или «земля». В режиме связи по постоянному току входной сигнал не подвергается обработке. В режиме связи по переменному току фильтруется постоянная составляющая сигнала, таким образом, развертка исследуемого сигнала центрируется относительно уровня ноль вольт. На рис. 20 продемонстрирована развертка одного и того же сигнала в разных режимах входа. Режим связи по переменному току удобен в случае, когда постоянная составляющая сигнала значительно превышает переменную составляющую, которую необходимо исследовать.

В режиме «земля» входной сигнал отключается от системы вертикального отклонения, что позволяет установить на экране положение уровня «ноль вольт». При включенном режиме «земля» и автоматическом режиме запуска на дисплее можно видеть горизонтальную линию, представляющую собой уровень ноль вольт. Переключение из режима связи по постоянному току в режим «земля» и обратно является удобным способом измерения уровня сигнала относительно «земли».

Ограничение полосы пропускания

Большинство осциллографов имеют схему, ограничивающую их полосу пропускания. Ограничение полосы пропускания приводит к снижению уровня шумов, мешающих четкому отображению измеряемого сигнала. Необходимо помнить, что при ограничении полосы пропускания вместе с шумами можно отфильтровать и высокочастотные составляющие исследуемого сигнала.

Расширение полосы пропускания

Некоторые осциллографы могут содержать цифровой выравнивающий фильтр, который можно использовать для улучшения амплитудно-частотной характеристики сигнального тракта. Этот фильтр расширяет полосу пропускания, выравнивает АЧХ канала, улучшает линейность фазочастотной характеристики и обеспечивает лучшее согласование между каналами. Кроме того, он уменьшает длительность фронтов и улучшает переходную характеристику во временной области.

Система горизонтального отклонения и органы управления

Система горизонтального отклонения цифрового осциллографа в основном ассоциируется с захватом входного сигнала, где определяющими параметрами являются частота выборки и длина записи. Органы управления этой системой предназначены для позиционирования и масштабирования развертки сигнала по горизонтали.

Органы управления захватом

Цифровые осциллографы имеют специализированные настройки, определяющие, как система захвата будет обрабатывать сигнал. В процессе ознакомления с этим разделом вы можете сопоставить рассматриваемые настройки захвата с имеющимися в вашем осциллографе. На рис. 21 проиллюстрирован пример меню захвата.

Режимы захвата

Режимы захвата определяют, каким образом из точек выборки получаются точки отображаемой развертки сигнала. Точки выборки представляют собой цифровые значения, полученные аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Интервал выборки – это время между точками выборки. Точки развертки сигнала представляют собой цифровые значения, сохраняемые в памяти и отображаемые на экране осциллографа. Время между точками развертки сигнала называется интервалом развертки сигнала.

Обычные средства управления горизонтальным отклонением включают в себя:

- Скорость развертки
- XY
- Масштабирование
- Разделение разверток
- Длина записи
- Разрешение
- Частота выборки
- Точка запуска
- Масштабирование/панорамирование
- Поиск

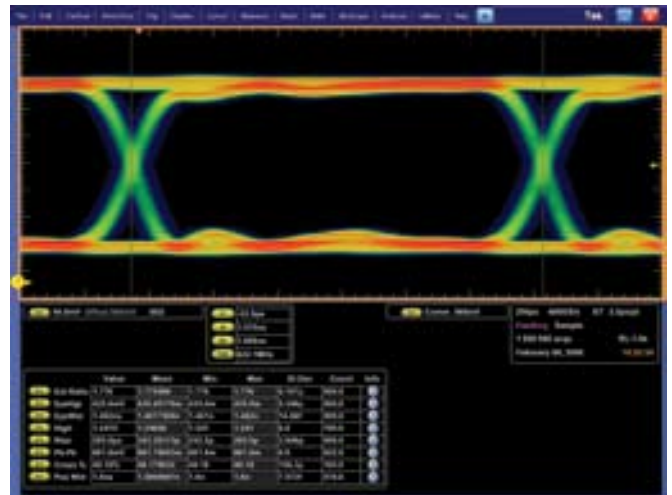


Рис. 25. Пример меню захвата.

Интервал выборки и интервал развертки сигнала могут быть одинаковыми, а могут и отличаться. Поэтому существует несколько различных режимов захвата, когда одна точка развертки сигнала формируется из нескольких последовательно захваченных точек выборки.

Кроме того, точки развертки сигнала могут быть сформированы из набора точек выборки, взятых из нескольких захватов, что обуславливает наличие еще одного типа режимов захвата. Далее следует описание наиболее часто применяемых режимов захвата.

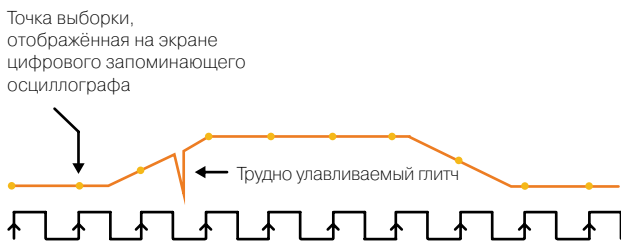


Рис. 22. Частота выборки варьируется в зависимости от скорости развертки – чем медленнее скорость развертки, тем меньше частота выборки. Некоторые цифровые осциллографы имеют режим пикового детектора для захвата быстрых переходных процессов при низкой скорости развертки.

Типы режимов захвата

- **Режим выборки.** Это простейший режим захвата. Осциллограф создаёт точку развертки сигнала посредством сохранения одной точки выборки в течение каждого интервала развертки сигнала.
- **Режим пикового детектора.** Осциллограф сохраняет минимальные и максимальные значения точек выборки, взятые в течение двух интервалов развертки сигнала с последующим использованием этих выборок в качестве двух соответствующих точек развертки. АЦП цифрового осциллографа в режиме пикового детектора работает с высокой скоростью выборки даже при установке очень низкой скорости развертки (низкая скорость развертки подразумевает длительные интервалы развертки сигнала). Таким образом, становится возможным захватывать быстрые изменения сигнала, которые происходят между точками развертки сигнала, как это сложно было бы сделать при режиме выборки (см. рис. 22). Режим пикового детектора особенно эффективен при наблюдении узких импульсов, разделенных большими временными интервалами (рис. 23).
- **Режим высокого разрешения.** Подобно режиму пикового детектора, позволяет получить больше информации в тех случаях, когда АЦП может делать выборки сигнала быстрее, чем того требует выбранная скорость развертки. В этом случае, несколько выборок, полученных в пределах одного интервала развертки, усредняются между собой и дают одну точку развертки. Результатом является снижение шума и повышение разрешения для медленно меняющихся сигналов. Преимущество режима высокого разрешения над режимом усреднением заключается в том, что его можно применять даже к однократным непериодическим сигналам.
- **Режим огибающей.** Этот режим имеет общие черты с режимом пикового детектора. Однако, в режиме огибающей минимальные и максимальные точки развертки сигнала, взятые от различных захватов, объединяются для создания развертки сигнала, представляющей минимальные/максимальные приращения по времени. Режим пикового детектора обычно используется для захвата данных, с последующим их использованием при создании огибающей.

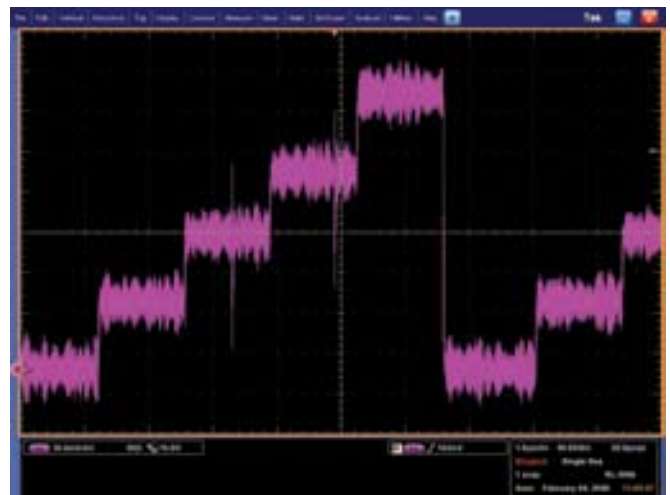


Рис. 23. Режим пикового детектора позволяет осциллографу зарегистрировать чрезвычайно кратковременные аномалии.

- **Режим усреднения.** В режиме усреднения осциллограф сохраняет одну точку выборки в течение каждого интервала развертки сигнала, так как это происходит при описанном выше режиме выборки. Однако, затем точки, взятые из последовательных выборок, усредняются для получения отображаемой развертки сигнала. Режим усреднения понижает влияние шумов без сужения полосы пропускания прибора, но при этом этот режим может использоваться только при работе с периодическими сигналами.
- **Режим базы данных сигналов.** В режиме базы данных сигналов осциллограф ведет базу данных, которая образует трехмерный массив значений амплитуды, времени и числа отсчетов.

Запуск и останов системы захвата

Одним из важнейших преимуществ цифровых осциллографов является их способность сохранять развертки сигналов для последующего просмотра. С этой целью на передней панели приборов обычно присутствуют одна или несколько клавиш, позволяющих запускать и останавливать систему захвата, что дает возможность анализировать сигналы в любое удобное время. Кроме того, осциллограф может автоматически остановить захват по завершении одного периода захвата или после того, как один набор зарегистрированных данных был преобразован в огибающую или усредненную развертку сигнала. Такая функция осциллографов называется однократной или одиночной разверткой. Управление этим режимом обычно осуществляется вместе с управлением режимами выборки, либо вместе с управлением запуском.

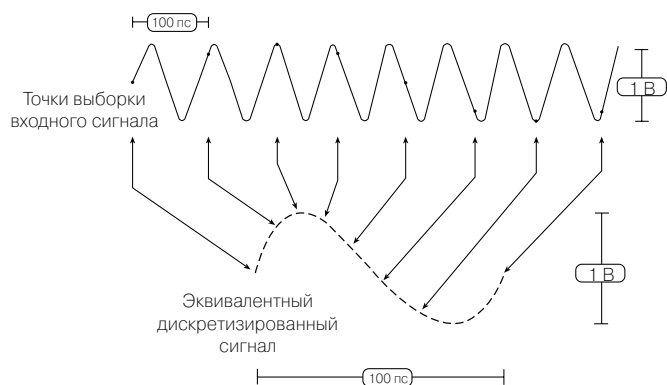


Рис. 24. Процесс дискретизации – точки выборок соединяются между собой с помощью интерполяции для создания непрерывного изображения развертки сигнала.

Дискретизация

Дискретизацией (выборкой) называется процесс преобразования параметров входного сигнала, измеряемых через определённые периоды времени, в некоторое количество дискретных значений с целью хранения, обработки и/или отображения. Каждое из этих значений эквивалентно амплитуде входного сигнала в тот момент времени, когда была сделана выборка сигнала.

Дискретизация похожа на процесс выполнения серии снимков. Каждый такой снимок соответствует определенной временной точке на развертке сигнала. В дальнейшем все эти снимки могут быть расставлены в соответствующем порядке по времени, таким образом, что в итоге получается воспроизведенный входной сигнал.

В цифровых осциллографах массив элементов выборки воспроизводится на дисплее в виде графика, по вертикальной оси которого откладывается амплитуда сигнала, а по горизонтальной оси – время (см. рис. 24).

Входной сигнал на этом рисунке представлен в виде последовательности точек на экране. Если эти точки отстоят далеко друг от друга и не могут быть однозначно преобразованы в развертку сигнала, то для построения кривой по этим точкам применяется процесс, называемый интерполяцией. При этом точки соединяются между собой линиями или векторами. Существует множество методик интерполяции, которые используются в различных случаях для точного воспроизведения непрерывной формы входного сигнала.

Органы управления дискретизацией

Некоторые цифровые осциллографы предоставляют на выбор разные методы дискретизации – выборка в реальном времени и эквивалентная выборка. Органы управления захватом в таких осциллографах позволяют определять соответствующую методику выборки для захвата сигналов. Важно отметить, что при низких скоростях развертки выбор методики не имеет значения. Разницу можно почувствовать только тогда, когда АЦП не успевает делать выборки для заполнения памяти точками развертки сигнала. У каждого метода дискретизации есть свои преимущества.

Как правило, современные осциллографы имеют органы управления, позволяющие выбрать три режима горизонтальной развертки. Если вы исследуете сигнал визуально и хотите иметь дело с живым сигналом, вы можете использовать выбираемый по умолчанию автоматический режим, который обеспечивает максимальную скорость обновления экрана. Если вы хотите выполнить точное измерение и использовать максимальную частоту дискретизации реального времени, обеспечивающую максимальную точность измерений, то для этого лучше всего подойдет режим постоянной частоты дискретизации. Третий режим называется ручным, поскольку он обеспечивает прямое и независимое управление частотой дискретизации и длиной записи.

Выборка в реальном времени

Режим выборки в реальном времени идеален для сигналов, частотный диапазон которых составляет менее половины максимального значения частоты выборки осциллографа. В этом случае осциллограф способен захватывать достаточное количество точек на одну развертку сигнала для его точного отображения, как это показано на рис. 25. Выборка в реальном времени – единственный способ захвата цифровым осциллографом быстрых, однократных, переходных сигналов.

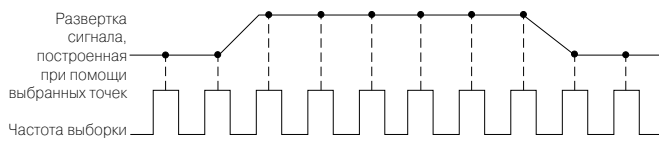


Рис. 25. Метод выборки в реальном времени.

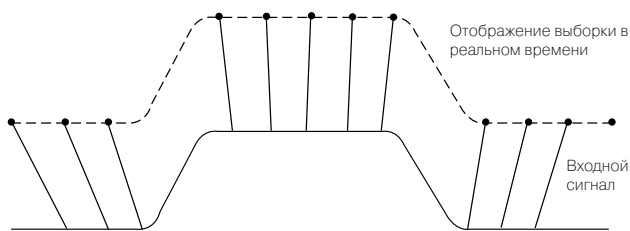


Рис. 26. Для захвата этого 10 нс импульса в реальном времени частота выборки должна быть достаточно высокой для точного определения положения фронтов

Выборка в реальном времени в цифровых осциллографах реализуется наиболее сложно, поскольку для точной оцифровки быстрых переходных процессов требуется высокая частота дискретизации (см. рис. 26). Такие сигналы носят однократный характер и они должны быть захвачены в тот самый момент, когда произошли.

Если частота выборки недостаточно высока, то высокочастотные компоненты могут быть «вырождены» в низкочастотные составляющие, что будет выражено искажением контура развертки на дисплее осциллографа (рис. 27). Кроме того, режим выборки в реальном времени дополнительно усложняется требованием наличия высокоскоростной памяти для сохранения сигналов после их оцифровки. Более подробная информация по этому вопросу представлена в подразделах «Частота выборки» и «Длина записи» в разделе «Характеристики осциллографов», где можно получить дополнительную информацию о взаимосвязи этих двух характеристик осциллографа для получения достоверной информации об исследуемых высокочастотных составляющих.

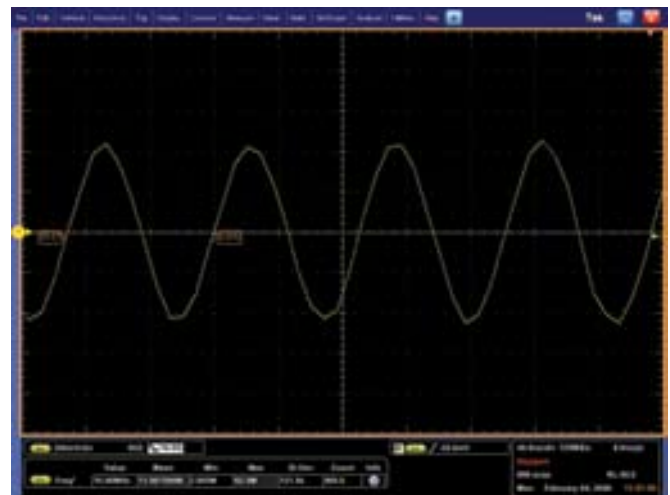


Рис. 27. Недостаточная частота выборки синусоидального сигнала частотой 100 МГц выражается в искажении развертки.

Выборка в реальном времени с интерполяцией

Цифровые осциллографы осуществляют дискретные выборки сигнала, который впоследствии отображается на дисплее. Однако, довольно затруднительно сформировать развертку сигнала, составленную из одних точек, особенно когда их всего несколько и они должны характеризовать высокочастотные составляющие исследуемого импульса. Для облегчения визуализации таких сигналов цифровые осциллографы используют режимы интерполяции.

Проще говоря, интерполяция «соединяет» между собой точки таким образом, что сигнал, сформированный всего из нескольких выборок за период, может быть отображен с высокой точностью. Используя выборку в реальном времени с интерполяцией, осциллограф собирает за один проход несколько точек выборки сигнала в режиме реального времени, после чего использует интерполяцию для заполнения промежутков между точками. Интерполяция представляет собой технологию обработки полученных данных для оценки того, каким образом выглядит форма исследуемого сигнала на основе информации о всего нескольких захваченных точках.

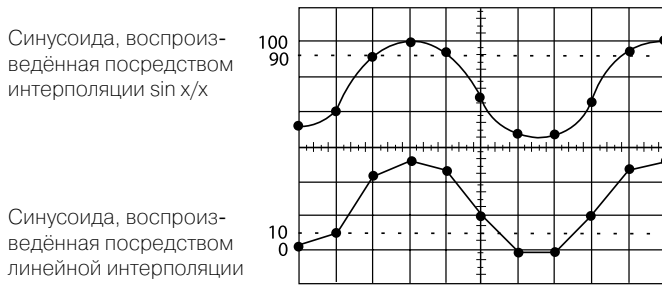


Рис. 28. Линейная и $\sin x/x$ интерполяция

Линейная интерполяция соединяет точки выборки прямыми линиями. Такой подход ограничен тем, что не способен воспроизводить сигналы с плавными переходами, как это проиллюстрировано на рис. 28.

Более универсальная интерполяция $\sin x/x$ соединяет точки выборки кривыми линиями (см. рис. 28). Интерполяция $\sin x/x$ – математический процесс, при котором значения точек рассчитываются для плавного заполнения ими временных интервалов между дискретными выборками. Такая форма интерполяции способна отображать искривлённые и нестандартные формы сигналов, что значительно ближе к реальности, чем прямоугольные сигналы или импульсы. Следовательно, интерполяция $\sin x/x$ является предпочтительным методом при изучении сигналов в приложениях, где частота выборки в 3–5 раз меньше полосы пропускания осциллографа.

Выборка в эквивалентном масштабе времени

При измерениях высокочастотных сигналов, осциллограф может оказаться не в состоянии собрать достаточное количество элементов выборки за одну развёртку. Для точного воспроизведения сигналов, чья частота превышает половину значения частоты выборки осциллографа, применяется режим выборки в эквивалентном масштабе времени, как это проиллюстрировано на рис. 29. Принцип действия цифрового преобразователя (дискретизатора)

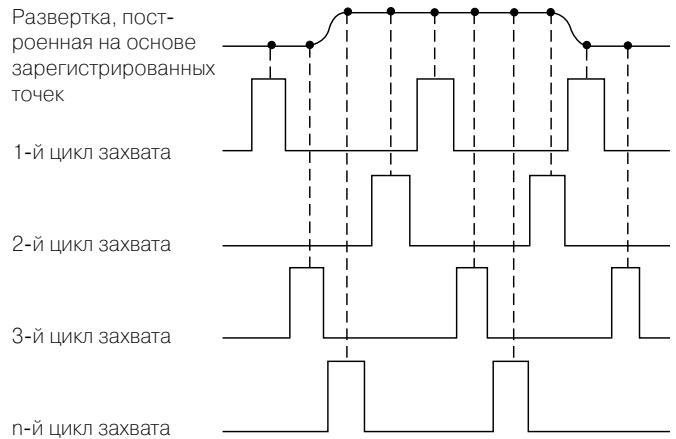


Рис. 29. Некоторые осциллографы используют выборку в эквивалентном масштабе времени для захвата и отображения очень быстрых повторяющихся сигналов

эквивалентного масштаба времени основан на периодической повторяемости большинства исследуемых событий. Выборка в эквивалентном времени воссоздает картинку повторяющегося сигнала посредством захвата небольшого количества информации от каждого повторения. Таким образом, развёртка сигнала формируется постепенно, по мере накопления необходимого количества выборок. Такой режим позволяет осциллографу с высокой точностью захватывать сигналы с составляющими, частота которых значительно выше частоты выборки прибора.

Существует два метода выборки в эквивалентном масштабе времени: произвольная и последовательная. Каждая из них имеет свои достоинства. Произвольная выборка в эквивалентном масштабе времени позволяет отображать входной сигнал до момента запуска без использования линии задержки. Последовательная выборка в эквивалентном масштабе времени предоставляет значительно большее разрешение по времени и точность. В обоих случаях требуется, чтобы сигнал был повторяющимся.

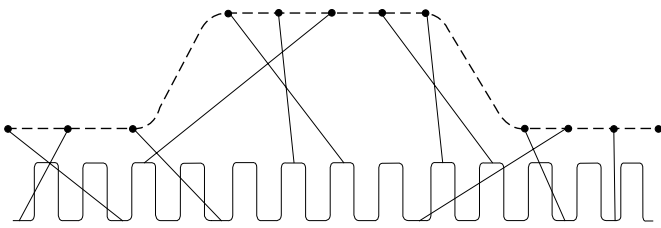


Рис. 30. При произвольной выборке в эквивалентном масштабе времени тактовый сигнал выборки генерируется асинхронно с входным сигналом и запуском

Произвольная выборка в эквивалентном масштабе времени

Дискретизаторы произвольной выборки в эквивалентном масштабе времени используют внутренний тактовый генератор, работающий асинхронно относительно входного сигнала и системы запуска (см. рис. 30). Выборки осуществляются непрерывно, вне зависимости от сигнала запуска и отображаются на основе разницы по времени между выборкой и запуском. Несмотря на то, что выборки происходят последовательно во времени, они являются произвольными относительно запуска, отсюда и происходит название «произвольная выборка в эквивалентном времени». Развертка сигнала формируется на экране осциллографа из точек выборки, поступающих в произвольном порядке.

Способность захватывать и отображать точки выборки до момента запуска является ключевым преимуществом этой технологии, устраняющим необходимость во внешних сигналах упреждающего запуска или линиях задержки. В зависимости от частоты выборки и скорости развертки, произвольная выборка может также позволить захватывать более одной выборки на событие запуска. Однако, при более высоких скоростях развертки окно захвата сужается до того момента, когда дискретизатор уже не может делать выборку на каждый запуск. Именно на этих высоких скоростях развертки, когда необходимо выполнять точные по времени измерения с чрезвычайно высоким разрешением, дискретизаторы последовательной выборки в эквивалентном масштабе времени проявляют свои преимущества. Ограничение по полосе пропускания для произвольной выборки в эквивалентном масштабе времени имеет меньшее значение, чем для последовательной выборки.

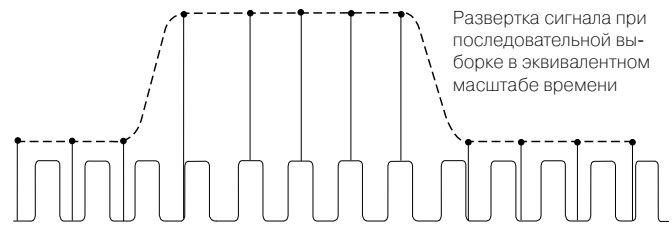


Рис. 31. При последовательной выборке в эквивалентном масштабе времени каждая выборка осуществляется по сигналу запуска после соответствующей задержки, длительность которой возрастает после каждого цикла

Последовательная выборка в эквивалентном масштабе времени

Дискретизаторы последовательной выборки в эквивалентном масштабе времени захватывают одну выборку на событие запуска, вне зависимости от скорости развертки, как это проиллюстрировано на рис. 31. По сигналу запуска отсчитывается короткая задержка точно заданной длительности, после чего осуществляется выборка. По следующему сигналу запуска к первоначальной задержке добавляется небольшое приращение (t) и дискретизатор делает последующую выборку. Этот процесс повторяется многократно с t , добавляемой к каждому последующему захвату, пока временное окно не заполнится. Точки выборки появляются слева направо, последовательно формируя развертку сигнала, отображаемого на экране осциллографа.

Рассматривая процесс с технологической точки зрения, следует отметить, что гораздо проще генерировать очень короткие и очень точные t , чем осуществлять точные измерения вертикальных и горизонтальных координат точки выборки относительно момента запуска, чего требуют дискретизаторы произвольной выборки. Именно точно выверенная временная задержка предоставляет дискретизаторам последовательной выборки непревзойдённое разрешение по времени. Поскольку последовательная выборка начинается только после сигнала запуска, то сигнал в момент запуска не может быть отображен на дисплее без наличия аналоговой линии задержки, которая, в свою очередь сужает полосу пропускания осциллографа. Если же используется внешний упреждающий запуск, то полоса пропускания не пострадает.

Положение изображения и секунды на деление

Органы управления горизонтальным положением изображения позволяют перемещать развертку по экрану слева направо точно в необходимое положение.

Настройка «секунды на деление» (обычно имеющая аббревиатуру с/дел) позволяет выбирать частоту, с которой сигнал прорисовывается на дисплее (эта характеристика также известна как скорость развёртки). Эта установка отражает коэффициент масштабирования по горизонтали. Если установлено значение 1 мс, то каждое деление по горизонтали представляет 1 мс, а общая длительность для экрана шириной 10 делений – 10 мс. Изменения настройки «с/дел» позволяют рассматривать более длинные или короткие временные интервалы входного сигнала.

Как и вертикальная шкала «В/дел», горизонтальная шкала «с/дел» может иметь плавную настройку, что позволяет выставлять промежуточные значения времени между дискретными.

Выбор масштаба времени

Любой осциллограф отображает сигнал в определенном масштабе по оси времени, который обычно называют основной скоростью развёртки. Большинство осциллографов также обладают функцией, которая называется развёртка с задержкой. В этом случае генератор развёртки запускается (срабатывает по сигналу запуска) с определённой задержкой по времени относительно основной развёртки. Использование развёртки с задержкой позволяет более чётко рассмотреть некоторые участки осциллограммы, а также увидеть те составляющие сигнала, которые оставались невидимыми при использовании только основной развёртки.

Развёртка с задержкой требует установки времени задержки и, возможно, выбора режимов запуска с задержкой, а также ряда других настроек, не описываемых в этом пособии. Подробная информация по этому вопросу всегда содержится в руководствах по эксплуатации к осциллографам.

Изменение масштаба и панорамирование изображения

Эксплуатируемый вами осциллограф может обладать специальными функциями по увеличению масштаба изображения, что позволяет увеличивать картинки отдельных взятых участков исследуемого сигнала. Некоторые осциллографы также имеют функцию панорамирования – перемещения увеличенного участка изображения вдоль осциллограммы. Такая операция у цифровых запоминающих осциллографов выполняется с использованием сохранённых оцифрованных данных.

Поиск

Некоторые осциллографы обладают функцией поиска и маркировки определенных событий, предоставляя возможность быстрой навигации по захваченной осциллограмме.

Режим XY

Большинство осциллографов имеют режим XY (фигуры Лиссажу), который позволяет отображать гораздо больше информации о входном сигнале, чем просто развёртка по горизонтальной оси. Такой режим предоставляет новую технологию измерения сдвига фазы, которая описывается в разделе «Технологии измерений при помощи осциллографа».

Ось Z

Осциллографы с цифровым люминофором (DPO) требуют большого количества выборок для отображения развёртки на экране, а также обладают способностью индикации частоты повторяющихся событий. Частота повторения отображается с помощью градаций яркости развёртки (ось Z). Таким образом DPO имитирует физическое явление послесвечения люминофора аналогового осциллографа. При изучении развёртки сигнала на экране DPO можно увидеть более яркие области, т.е. участки, где сигнал присутствует наиболее часто. Экран DPO значительно облегчает идентификацию собственно сигнала и переходных процессов, которые случаются изредка, – картинка основного сигнала выглядит значительно ярче. Еще одним вариантом использования оси Z является подача специальных импульсов с заданным периодом на отдельный вход Z для отображения на экране маркерных точек, связанных с развёрткой сигнала.

Режим XYZ в DPO и отображение записи XYZ

Некоторые DPO обладают возможностью отображения фигур Лиссажу (режим XY) с градациями яркости, для чего используется вход Z. В этом режиме DPO осуществляет выборку мгновенных значений по входу Z и использует эти значения для выделения определенных участков фигуры. Как только набралось достаточное количество выборок со свойствами, определяющими градации яркости фигуры Лиссажу, формируется соответствующее изображение XYZ. Режим XYZ особенно удобен для отображения сигналов с цифровой модуляцией, обычно исследуемых при тестировании средств беспроводной связи. Примером такого режима может послужить констелляционная диаграмма. Еще одним способом представления данных XYZ является режим отображения записи XYZ. В этом режиме вместо базы данных цифрового люминофора источником информации служит непосредственно память выборок, откуда данные считываются в виде «записей».

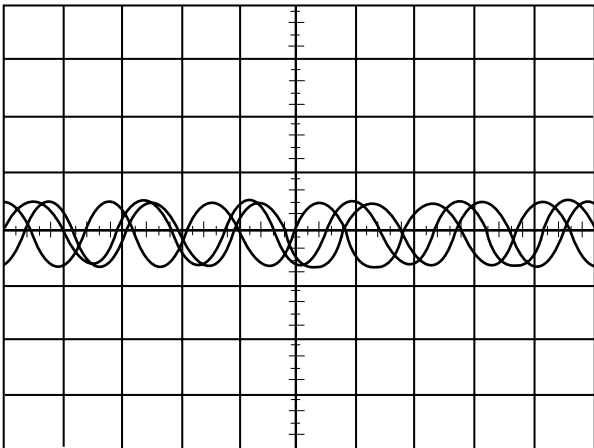


Рис. 32. Несинхронизированная развертка сигнала

Система запуска и органы управления

Функция запуска осциллографа синхронизирует начало горизонтальной развёртки с соответствующей точкой сигнала, что является чрезвычайно важным для точного определения характеристик этого сигнала. Органы управления запуском позволяют стабилизировать изображение периодических сигналов и захватывать однократные и непериодические импульсы.

Запуск превращает периодический сигнал в статическое изображение на экране осциллографа посредством непрерывного отображения одного и того же участка входного сигнала. Представьте себе, какая путаница могла бы возникнуть на экране прибора, если бы каждая развёртка начиналась с различных участков исследуемого импульса, как это проиллюстрировано на рис. 32.

Запуск по фронту сигнала, присутствующий в аналоговых и цифровых осциллографах, является наиболее часто используемым видом запуска. Помимо запуска по уровню, применяемому в аналоговых и цифровых осциллографах, большинство цифровых моделей имеют массу специализированных режимов запуска, отсутствующих в аналоговых моделях. В этих режимах запуск осуществляется по определенным условиям или свойствам входного сигнала, что значительно облегчает их выявление, например, обнаружение импульсов, имеющих длительность меньше установленной. Идентификация таких событий стала бы невозможной только лишь посредством запуска по уровню.

Расширенное управление запуском позволяет локализовать представляющие интерес события, что даёт возможность оптимизации частоты выборки и длины записи осциллографа. Расширенные возможности запуска обуславливают широкий спектр настроек для управления запуском. Пользователь может настроить прибор на запуск по импульсам с точно определённой амплитудой (например, по импульсам пониженного уровня), по различным временным характеристикам (по длительности импульса, по глитчу, по скорости нарастания, установке и удержанию, по времени ожидания), по заданному логическому состоянию или логической комбинации.

Среди прочих расширенных режимов запуска встречаются следующие:

- **Запуск по фиксированной комбинации.** Запуск по фиксированной последовательной комбинации добавляет новые возможности в работе с сигналами NRZ, позволяя осциллографу осуществлять синхронизированные захваты длинной последовательной тестовой комбинации с непревзойденной точностью по времени. Данный вид запуска можно использовать для удаления случайного джиттера из длинных комбинаций последовательных данных. Можно исследовать эффекты передачи отдельных битов, а с тестированием по маске можно использовать усреднение.
- **Запуск по комбинации последовательных данных.** Запуск по комбинации последовательных данных может использоваться для отладки схем с последовательными интерфейсами. В этом режиме осуществляется запуск по комбинации данных в последовательных потоках NRZ со встроенной тактовой частотой и сопоставляются события, происходящие на физическом и канальном уровнях. Прибор восстанавливает сигнал тактовой частоты, определяет переходы и позволяет задать нужные кодовые слова для запуска по комбинации последовательных данных.
- **Запуск А и В.** Некоторые системы запуска предлагают разные режимы запуска только для одного события (события А), при этом режимы запуска с задержкой (событие В) ограничивается только запуском по фронту и часто не позволяет изменить последовательность запуска, если событие В не произошло. Современные осциллографы предлагают полный набор расширенных режимов запуска по событиям А и В, логическую обработку для определения предполагаемого момента появления этих событий и позволяют сбросить систему запуска и начать процесс заново после указанного времени, состояния или перехода, что позволяет захватывать события даже в самых сложных сигналах.
- **Запуск с поиском и маркировкой.** Аппаратные средства запуска в каждый момент времени ищут некоторый определенный тип события, тогда как функция поиска может сканировать несколько типов событий одновременно. Например, можно выполнить поиск нарушения времени установки или удержания в нескольких каналах. Функция поиска может расставлять метки, указывающие на события, которые отвечают критериям поиска.
- **Коррекция запуска.** Поскольку системы запуска и регистрации данных используют разные сигнальные тракты, неизбежно возникает задержка между моментом запуска и состоянием регистрируемых данных. Система коррекции запуска подстраивает момент запуска и компенсирует задержку между трактом запуска и трактом регистрации данных. Это устраняет практически любой джиттер запуска в момент запуска. В этом режиме момент запуска может использоваться в качестве точки отсчета для выполнения измерений.

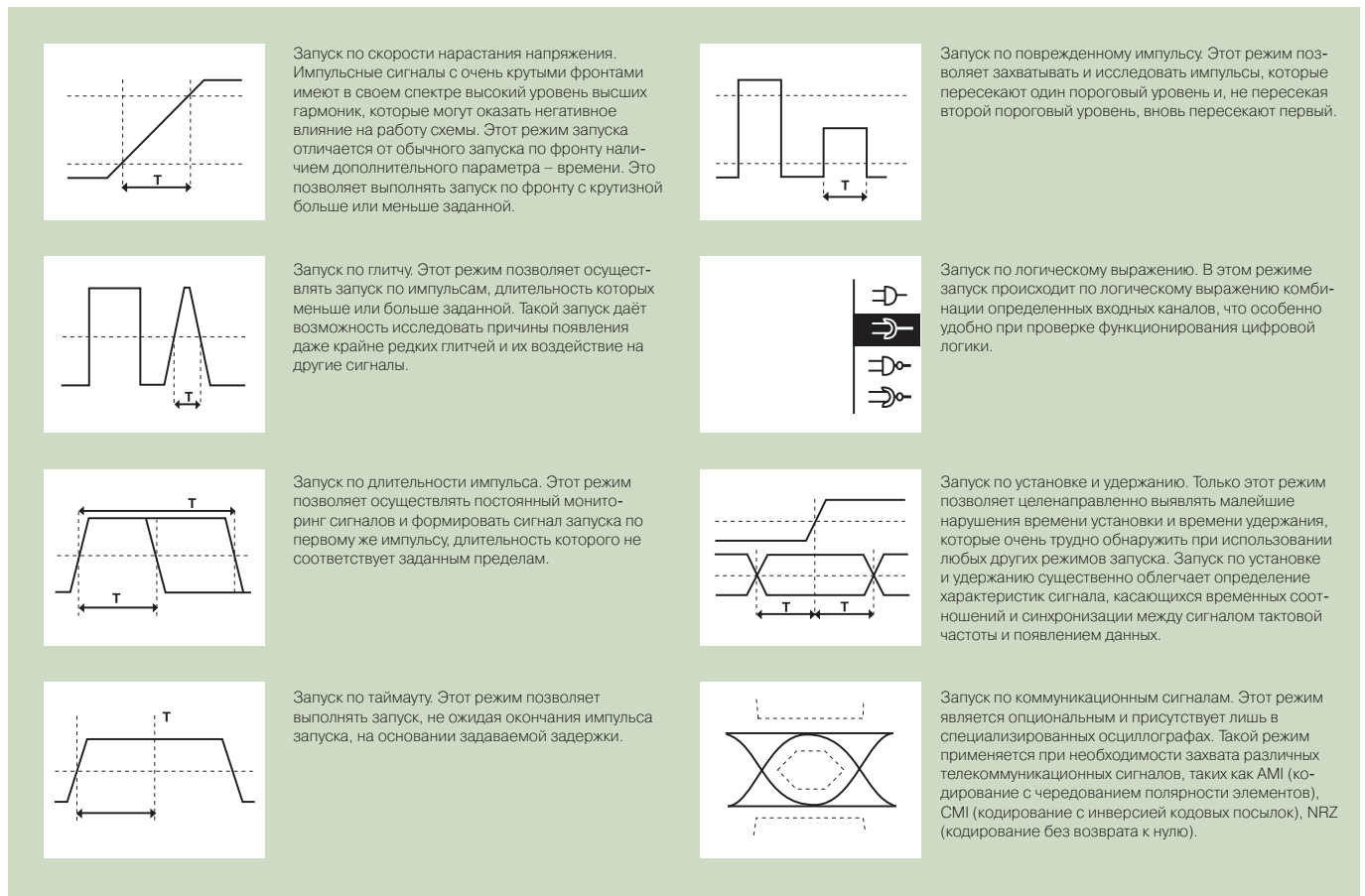


Рис. 33. Виды запуска

- **Запуск по сигналам стандартных последовательных шин I²C, CAN, LIN и т.п.** Некоторые осциллографы могут запускаться по определенным типам сигналов стандартных последовательных шин, таких как CAN, LIN, I²C, SPI и т.п. Кроме того, многие современные осциллографы могут декодировать такие сигналы.
- **Запуск по сигналам параллельной шины.** Для облегчения просмотра декодированных параллельных данных можно определять и одновременно отображать несколько параллельных сигналов. Указывая, какие каналы являются линиями тактовой частот, а какие линиями данных, вы можете создать в некоторых осциллографах представление параллельной шины, которое будет автоматически декодировать содержимое этой шины. Запуск по параллельной шине может сберечь многие часы утомительной работы и упрощает захват и анализ сигнала.

Кроме того, некоторые осциллографы имеют опциональные функции управления запуском, предназначенные специально для исследования коммуникационных сигналов. На рис. 33 более подробно показаны наиболее распространенные режимы запуска. Имеющийся в некоторых осциллографах интуитивный интерфейс пользователя позволяет быстро и гибко устанавливать параметры запуска, максимально повышая вашу производительность.

Положение запуска

Управление горизонтальным положением точки запуска присутствует только в цифровых осциллографах. Управление этим параметром может относиться к органам управления системой горизонтального отклонения осциллографа. Фактически, эта функция указывает положение точки запуска по горизонтали при регистрации сигнала.

Изменяя это положение, оператор получает возможность увидеть форму сигнала перед моментом запуска. Эта функция известна как «упреждающий запуск». Таким образом, можно определить длину окна обзора исследуемого сигнала как после точки запуска, так и до нее.

Способность цифровых осциллографов отображать развертку сигнала до запуска обусловлена тем, что они постоянно обрабатывают входной сигнал, вне зависимости от того, произошла ли команда запуска или нет. Непрерывный поток данных постоянно поступает на прибор, а запуск просто указывает осциллографу на необходимость сохранения части этих данных в памяти.

В противоположность этому, аналоговые осциллографы лишь отображают сигнал, т.е. показывают его развертку на экране ЭЛТ после соответствующей команды запуска. Таким образом, аналоговому осциллографу негде взять информацию о сигнале до момента запуска, за исключением лишь небольшого количества информации, сохраняемой за счёт линии задержки в системе вертикального отклонения.

Функция упреждающего запуска – чрезвычайно ценный инструмент для поиска различного рода неисправностей. Например, если неисправность имеет случайный характер, то можно настроить запуск по характерному для нее событию, чтобы исследовать сигнал в предшествующий момент времени. При этом вероятность локализации неисправности резко повышается.

Запуск по уровню, нарастанию или спаду

Органы управления этими параметрами определяют основное положение точки запуска и представление развертки сигнала на экране прибора, как это проиллюстрировано на рис. 34.

В схеме запуска имеется специальный компаратор (сравнивающее устройство). На опорном входе задается значение напряжения и вид наклона (нарастание или спад), при которых должен происходить запуск. Когда входной сигнал на другом входе компаратора соответствует заданным условиям, компаратор выдает разрешение на запуск.

Управление по виду наклона определяет, на каком участке исследуемого сигнала будет происходить запуск – на нарастающем или спадающем. Нарастающий участок называется положительным перепадом, а спадающий – отрицательным. Управление по уровню определяет, в каком именно месте перепада срабатывает запуск.

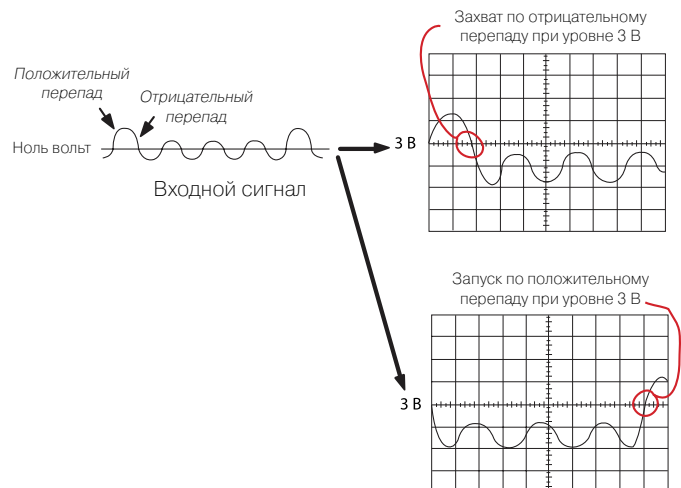


Рис. 34. Запуск по нарастанию или спаду

Источники сигнала запуска

Запуск развертки может осуществляться не только от отображаемого в данный момент сигнала. Источником сигнала запуска может быть:

- любой входной канал;
- внешний источник, сигнал которого не подается на входной канал осциллографа;
- источник питания;
- внутренняя схема осциллографа, формирующая запуск по определенному закону на основании сигналов от одного или более входных каналов.

В большинстве случаев в качестве источника сигнала запуска выступает один из отображаемых на экране каналов. Некоторые модели осциллографов имеют специальный выход сигнала запуска для подачи его на какой-либо другой измерительный прибор.

Осциллограф может использовать различные источники сигнала запуска, независимо от того, отображается ли этот сигнал на экране или нет. Таким образом, необходимо внимательно следить за настройками системы запуска, поскольку можно вывести на экран сигнал канала 2, но забыть переключить запуск, настроенный по умолчанию на канал 1.

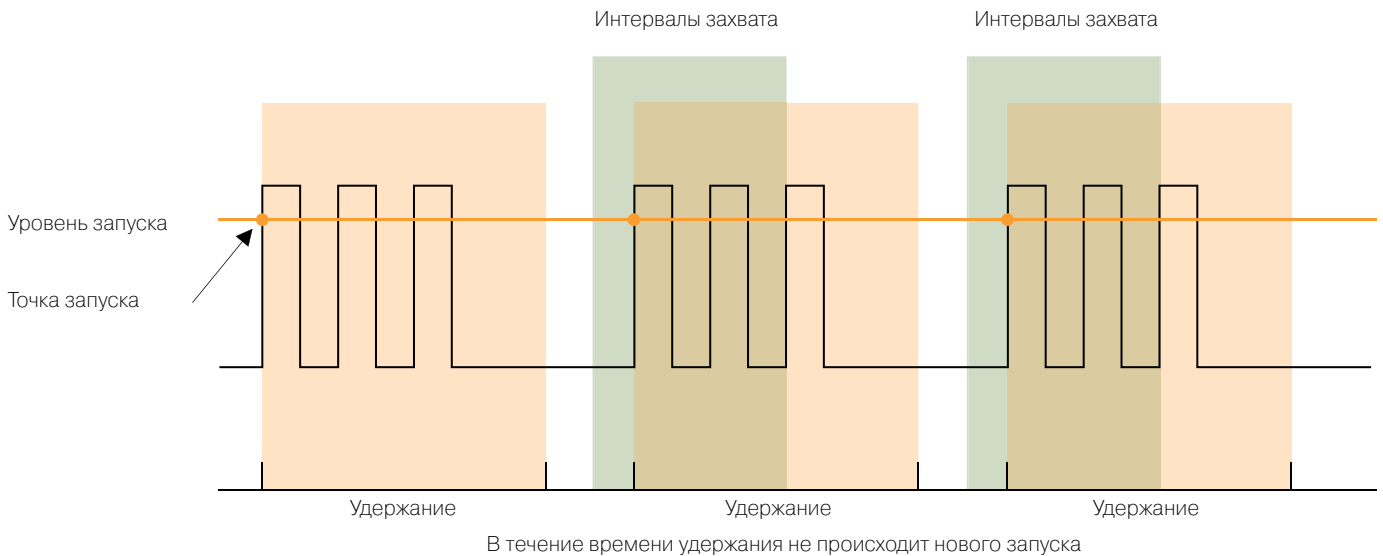


Рис. 35. Удержание запуска

Режимы запуска

Режимы запуска определяют, каким образом осциллограф отобразит развертку сигнала на основе характеристик этого сигнала. Основными режимами запуска являются «Нормальный» и «Автоматический».

При «нормальном» режиме осциллограф запускает развертку только когда параметры входного сигнала отвечают заданным условиям запуска. В противном случае экран остаётся тёмным (аналоговые осциллографы) или застывшим на последней захваченной осциллограмме (цифровые осциллографы). «Нормальный» режим может дезориентировать пользователя, поскольку, если уровень запуска выставлен неправильно, то начальный участок исследуемого сигнала можно не увидеть.

В «Автоматическом» режиме осциллограф запускает развёртку даже без сигнала запуска. Если в какой-либо момент входного сигнала нет, таймер осциллографа всё равно запускает развёртку. При этом на экране прибора всегда присутствует изображение, даже если сигнал не удовлетворяет условиям запуска.

Практический интерес представляют оба режима: «нормальный» режим позволяет просматривать только нужные сигналы, даже на низкой скорости развертки, а «автоматический» режим почти не требует настроек.

Большинство моделей осциллографов также обладают специальными режимами: однократный запуск, запуск по видеосигналу или автоматический выбор уровня запуска.

Режим входа запуска

Точно так же, как вход системы вертикального отклонения, вход запуска может работать в режиме «связи по переменному току» или в режиме «связи по постоянному току».

Помимо вышеупомянутых режимов, вход запуска также может оснащаться ВЧ и НЧ фильтрами, а также шумоподавляющим устройством. Эти специальные средства чрезвычайно полезны для устранения помех в тракте запуска, что предотвращает ложное срабатывание.

Удержание запуска

Иногда, чтобы система запуска срабатывала на требуемых участках сигнала, пользователю требуется приложить немало сил и умения. Многие осциллографы обладают специальными возможностями, облегчающими эту задачу.

«Удержание запуска» представляет собой настраиваемый период времени после момента запуска, в течение которого запуск больше не выполняется. Такая функция очень полезна в случае, когда пользователь настраивает запуск по сигналам сложной формы таким образом, чтобы он выполнялся только в строго определенных точках. На рис. 35 показано, как с помощью «удержания запуска» можно получить наглядное отображение сигнала.

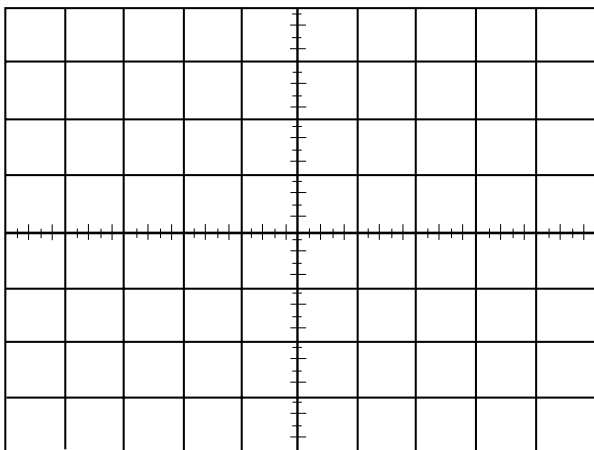


Рис. 36. Координатная сетка осциллографа

Система отображения и органы управления

На передней панели осциллографа обычно расположены: экран для отображения информации, ручки, клавиши, переключатели и различные индикаторы, применяемые для управления захватом сигналов и их отображения. Как уже отмечалось в начале этого раздела, органы управления на передней панели обычно разделяются на части, относящиеся к системе вертикального отклонения, системе горизонтального отклонения и к системе запуска. На передней панели также находятся входные разъемы.

Взгляните на экран осциллографа. Обратите внимание на разметку экрана, образующую координатную сетку. Каждая вертикальная или горизонтальная линия образует основное деление шкалы. Координатная сетка обычно имеет размер 8x10 или 10x10 делений. Обозначения на органах управления осциллографа (такие как В/дел и с/дел) всегда относятся основным делениям. Штриховые отметки между основными горизонтальными или вертикальными делениями координатной сетки называются малыми делениями шкалы (см. рис. 36). В большинстве случаев по вертикали откладывается напряжение, а по горизонтали – время.

Прочие органы управления осциллографа

Математические операции и измерения

Осциллограф может обладать функцией сложения сигналов с последующим выводом результирующей развертки на экран. Аналоговые осциллографы используют аналоговый сумматор, в то время как цифровые модели рассчитывают новую форму в цифровом виде с помощью сигнального процессора. Другой математической операцией является вычитание. В аналоговых осциллографах вычитание осуществляется посредством инвертирования сигнала в одном из каналов, после чего сигналы складываются. Цифровые осциллографы выполняют вычитание, также как и сложение, в цифровом виде. На рис. 37 представлена результирующая развертка сигнала, созданная путем сложения сигналов первого и второго каналов.

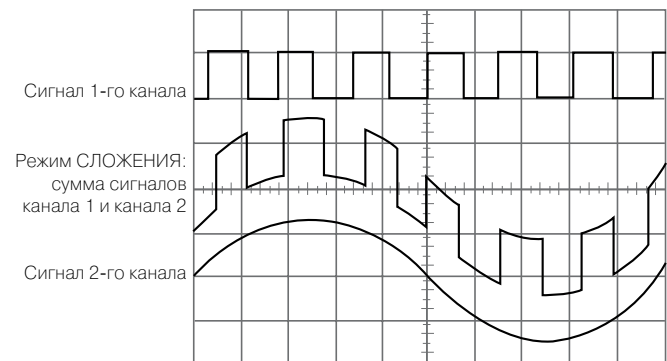


Рис. 37. Сложение сигналов

Используя ресурсы встроенных процессоров, цифровые осциллографы предлагают много расширенных математических операций: умножение, деление, интегрирование, быстрое преобразование Фурье (БПФ) и многое другое. Эти расширенные возможности позволяют выполнять даже такие функции, как вставка фильтра, который может использоваться для компенсации характеристик измерительной оснастки или для создания фильтра с нужными частотными характеристиками, например, ФНЧ. Сигнальный процессор очень гибок – его можно использовать в качестве фильтра с настраиваемыми характеристиками, например, для имитации схем внесения/компенсации предискажений.

Регистрация цифровых сигналов по времени и по состоянию

Цифровые каналы осциллографа смешанных сигналов предоставляют возможности захвата, схожие с возможностями логических анализаторов. Существует два основных метода регистрации цифровых сигналов. Первый заключается в регистрации по времени, то есть, MSO делает выборки цифрового сигнала через равные интервалы времени, определяемые частотой дискретизации MSO. В момент каждой выборки MSO сохраняет логическое состояние сигнала и строит временную диаграмму сигнала. Второй метод регистрации цифрового сигнала заключается в регистрации состояний. В этом случае определяются интервалы времени, в течение которых логическое состояние цифрового сигнала остается достоверным и неизменным. Такой метод широко применяется в синхронных и тактируемых цифровых схемах. Сигнал тактовой частоты определяет момент времени, в который состояние сигнала достоверно. Например, входной сигнал D-триггера с тактированием по положительному перепаду стабилен в области положительного перепада. Выходной сигнал D-триггера с тактированием по положительному перепаду стабилен в области отрицательного перепада. Поскольку период тактовой частоты синхронной схемы может быть нефиксированным, интервал между состояниями может быть неодинаковым, как в случае регистрации по времени.

Цифровые каналы осциллографа смешанных сигналов захватывают сигналы примерно так, как это делает логический анализатор в режиме захвата по времени. Затем MSO декодирует захваченный по времени сигнал и преобразует его в представление тактируемой шины и в таблицу событий, которая схожа с режимом отображения захваченных состояний в логическом анализаторе, предоставляя вам важную информацию во время отладки.

В этом разделе мы описали лишь основные органы управления осциллографом, о которых должны знать начинающие. Ваш осциллограф может иметь и другие функции. Некоторые из них могут включать:

- автоматическое измерение параметров;
- измерительные маркеры;
- клавиатуру для математических операций и ввода данных;
- функции распечатки;
- интерфейсы для подключения осциллографа к компьютеру или непосредственно к интернету.

Прочтите руководство, прилагаемое к вашему осциллографу, и узнайте больше о других органах управления и дополнительных возможностях.

Завершённая измерительная система

Пробники

Даже самые совершенные приборы не могут выдать точного результата, если поступающие на них данные имеют большую погрешность. Пробник в сочетании с осциллографом представляют собой часть единой измерительной системы. Погрешность измерения начинает рассчитываться от наконечника пробника. Правильно подобранные пробники, согласованные с осциллографом и исследуемым устройством (ИУ), не только не искажают поступающий на осциллограф сигнал, но также способствуют поддержанию целостности исследуемого сигнала и точности проводимых измерений.



Рис. 38. Электронные схемы с высокой плотностью монтажа требуют применения малогабаритных пробников.

Для точного воспроизведения сигнала постарайтесь выбрать такой пробник, полоса пропускания которого в сочетании с осциллографом превышала бы в 5 раз полосу анализируемого сигнала.

Будучи частью измерительной цепи, пробники вносят в нее собственные сопротивление, ёмкость и индуктивность – все те факторы, которые неизбежно исказят результаты измерений. Для получения наиболее достоверных данных необходимо применять пробники, минимально влияющие на исследуемую цепь. Идеальное согласование пробника с осциллографом способно существенно уменьшить это негативное воздействие и полностью раскрыть все возможности вашего прибора.

Другой крайне важной особенностью, которую всегда необходимо учитывать при согласовании с ИУ, является типоразмер пробника. Малогабаритные пробники обеспечивают более лёгкий доступ к компонентам современных радиоэлектронных устройств с высокой плотностью монтажа (см. рис. 38).

Далее представлено краткое описание основных типов пробников. Более подробную информацию по этому важнейшему вопросу, без решения которого невозможно полноценное функционирование измерительной системы, можно найти в брошюре «Основы пробников».



Рис. 39. Обычный пассивный пробник с принадлежностями

Пассивные пробники

Пассивные пробники предоставляют достаточно широкую функциональность по доступной цене для измерения характеристик простейших сигналов. Комбинация пассивного пробника и датчика тока представляет собой идеальное решение для измерения мощности.

Некоторые пассивные пробники передают сигнал с ослаблением в определённое число раз. Коэффициент ослабления обозначается, как 10X, 100X и т. д., где число перед символом «X» указывает коэффициент ослабления. Коэффициенты усиления обозначаются наоборот – символом «X» с последующим числом, указывающим коэффициент усиления, например X10.

Пробник с десятикратным ослаблением оказывает значительно меньшее воздействие на исследуемую цепь по сравнению с пробником 1X и является отличным выбором для большинства приложений общего назначения. Воздействие осциллографа на исследуемую цепь становится всё более ярко выраженным с повышением частоты сигнала и/или с повышением входного сопротивления цепи, поэтому перед выбором пробника необходимо тщательно проанализировать соответствие его входных параметров параметрам исследуемого сигнала и тестируемой схемы. Пробник с ослаблением 10X повышает точность проводимых измерений, но снижает амплитуду сигнала на входе осциллографа в 10 раз.

Поскольку при использовании пробника 10X сигнал ослабляется, это создаёт трудности при исследовании сигналов амплитудой менее 10 мВ_{пик-пик}. Пробник 1X отличается от 10X тем, что не имеет в своем составе аттенюатора и, следовательно, обладает меньшим входным сопротивлением. Это ведет к большему воздействию на тестируемую схему.

В общем случае рекомендуется пользоваться пробником 10X, но при этом всегда иметь под рукой пробник 1X для измерений сигналов небольшой частоты и малой амплитуды. Некоторые пробники обладают очень удобной функцией переключения между коэффициентами 1X и 10X. Если вы пользуетесь именно таким пробником, то перед выполнением измерений убедитесь, что он настроен правильно.

Большинство осциллографов способны определять, какой пробник используется в данный момент: 1X или 10X, при этом выводится соответствующая индикация. Однако в некоторых осциллографах вам необходимо вручную выставить ослабление применяемого пробника или считывать показания с учетом коэффициента ослабления.

Аттенюатор пробника 10X работает, взаимодействуя с входными цепями осциллографа. Для правильной работы измерительной системы это взаимодействие должно быть согласовано. Процедура согласования называется «компенсация пробника» и подробно описана в разделе «Работа с осциллографом».

Пассивные пробники (рис. 39) являются превосходным решением при выполнении задач общего назначения. Однако эти пробники не способны осуществлять высокоточные измерения сигналов с чрезвычайно малым временем нарастанием, а также могут оказывать значительное воздействие на чувствительные цепи. Устойчивая тенденция роста скоростей передачи данных и увеличения крутизны фронтов требует от инженеров применения широкополосных пробников с меньшим воздействием на исследуемую схему. Широкополосные активные и дифференциальные пробники являются идеальным инструментом при измерениях сигналов высокоскоростных шин или дифференциальных сигналов.



Рис. 40. Прецизионные пробники очень важны для измерения высокочастотных сигналов и импульсов с крутыми фронтами, свойственных современным компьютерным шинам и линиям передачи данных.

Активные и дифференциальные пробники

Увеличение частоты исследуемых сигналов и появление логических элементов с очень низким напряжением питания затрудняют получение точных результатов измерений. Наиболее важными аспектами решения этой проблемы являются минимизация искажений измеряемых сигналов и снижение воздействия на исследуемую схему. Эффективное комплексное решение по измерению высокоскоростных сигналов включает в себя широкополосные пробники, не вносящие искажений в сигнал и идеально согласованные с осциллографами (см. рис. 40).

В активных и дифференциальных пробниках применяются специально разработанные интегральные микросхемы, обеспечивающие целостность сигнала в процессе его передачи на вход осциллографа. При измерениях сигналов с малым временем нарастания, широкополосные активные и дифференциальные пробники обеспечат получение более точных результатов (см. рис. 41).

Пробники нового типа имеют дополнительное преимущество, позволяющее использовать одну схему подключения для выполнения трех типов измерений без какой-либо коммутации. Такие пробники могут выполнять дифференциальные, несимметричные и синфазные измерения при неизменной конфигурации пробника.

Логические пробники

Показанный на рис. 42 логический пробник имеет две восьмиканальные группы. Каждый канал пробника оборудован наконечником с возможностью подключения вывода заземления, что упрощает соединение с тестируемым устройством. Коаксиальный кабель первого канала каждой

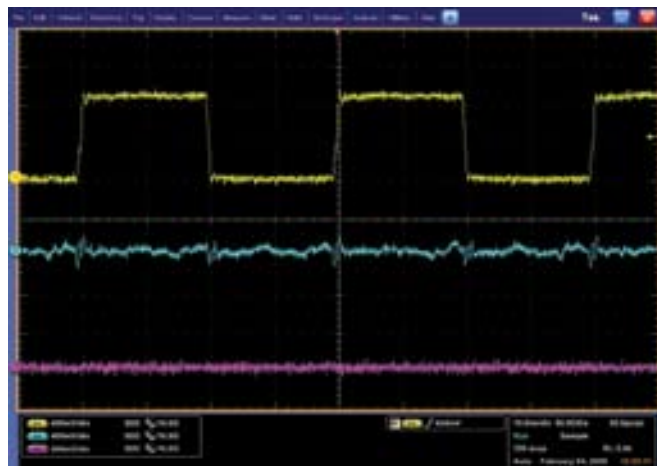


Рис. 41. Дифференциальные пробники могут отделять синфазный шум от полезного сигнала в современных скоростных низковольтных схемах. Это особенно важно с учетом тенденции снижения напряжения питания, а следовательно и логических уровней, цифровых интегральных микросхем.



Рис. 42. Логические пробники для осциллографов смешанных сигналов (MSO) упрощают подачу цифровых сигналов на ваш прибор.

группы имеет синюю маркировку для упрощения идентификации. В качестве общего контакта «земли» используется плоский штыревой контакт, широко используемый в тестовых оснастках. Для подключения к группам штыревых контактов на плате тестируемого устройства на наконечники пробника нужно установить адаптеры, удлиняющие «земляной» контакт. Такие пробники обладают превосходными электрическими характеристиками и минимальной входной емкостью.

Специализированные пробники

Кроме упомянутых выше типов пробников, существует множество других специализированных пробников и систем снятия сигнала. К ним относятся датчики тока, высоковольтные и оптические пробники и др.

Аксессуары пробников

Большинство современных осциллографов обладают специальными автоматическими функциями, связанными с подключением пробников к входному разъему осциллографа. Если пробник оснащен интеллектуальным интерфейсом, то при подключении пробника на осциллограф поступает информация о значении коэффициента ослабления, после чего осциллограф учитывает этот коэффициент во всех отображаемых результатах измерений. Некоторые интерфейсы пробников способны определять тип пробника – активный, пассивный или токовый. Кроме того, через интерфейс может осуществляться питание активных пробников, так как в их состав входит усилитель и буферная схема, которые нуждаются в питании.

Выводы заземления и дополнительные наконечники пробника также играют важную роль в сохранении целостности сигнала при работе с высокочастотными сигналами. Адаптеры вывода заземления обеспечивают гибкое подключение пробника к исследуемому устройству (ИУ) при различных расстояниях от контрольной точки до точки заземления; при этом сохраняется минимальная длина проводников измерительной системы.

Более подробную информацию по этому вопросу можно найти в брошюре «Основы пробников».

Характеристики осциллографов

Как уже упоминалось ранее, осциллограф подобен фотоаппарату, захватывающему изображение сигналов, которое мы впоследствии можем изучать. Выдержка, условия освещения, диафрагма и чувствительность плёнки – всё это влияет на способность фотоаппарата правильно захватывать изображения.

Точно так же и в осциллографе – характеристики каждой его системы оказывают существенное влияние на целостность сигнала точность его отображения.

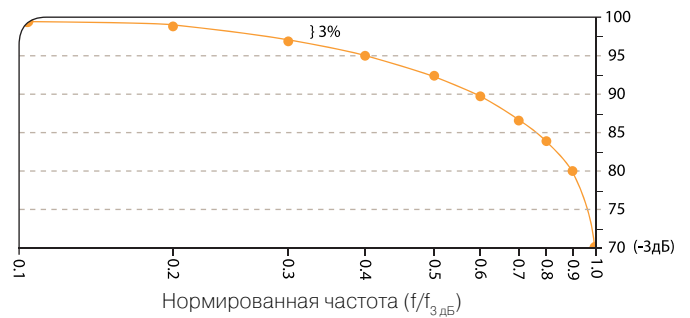


Рис. 43. Полоса пропускания определяется как полоса частот, в пределах которой входной синусоидальный сигнал ослабляется осциллографом не более чем до 70,7%.

Овладение новыми навыками всегда связано с изучением новой терминологии. Это утверждение особенно актуально при обучении работе с осциллографом. В данном разделе вы познакомитесь с терминами, касающимися основных видов измерений и характеристик осциллографов. На основе анализа этих характеристик можно делать вывод о пригодности какого-либо осциллографа для решения определенных задач. Правильное понимание терминологии поможет вам оценить и сопоставить характеристики своего прибора с другими моделями.

Полоса пропускания

Полоса пропускания определяет основные возможности осциллографа измерять сигналы. По мере увеличения частоты исследуемого сигнала, способность осциллографа точно его отображать понижается. Эта характеристика указывает частотный диапазон, в пределах которого осциллограф может выполнять точные измерения.

Полоса пропускания определяется как полоса частот, в пределах которой входной синусоидальный сигнал ослабляется осциллографом не более чем до 70,7% от его исходной амплитуды. Эта характеристика еще известна как полоса пропускания по уровню -3 дБ, если считать уровень по логарифмической шкале (см. рис. 43).

Не обладая достаточной полосой пропускания, ваш осциллограф не сможет работать с высокочастотными сигналами. Амплитуда сигнала будет искажена, фронты импульсов завалены, а многие детали утеряны. Без надлежащей полосы пропускания все остальные функции вашего прибора утратят всякий смысл.

Для определения требуемой полосы пропускания, позволяющей точно определить характеристики сигнала, примените т. н. «Пятикратное правило».

$$\begin{array}{l} \text{Требуемая полоса} \\ \text{пропускания} \\ \text{осциллографа} \end{array} \geq \begin{array}{l} \text{Наивысшая частотная} \\ \text{составляющая} \\ \text{измеряемого сигнала} \end{array} \times 5$$

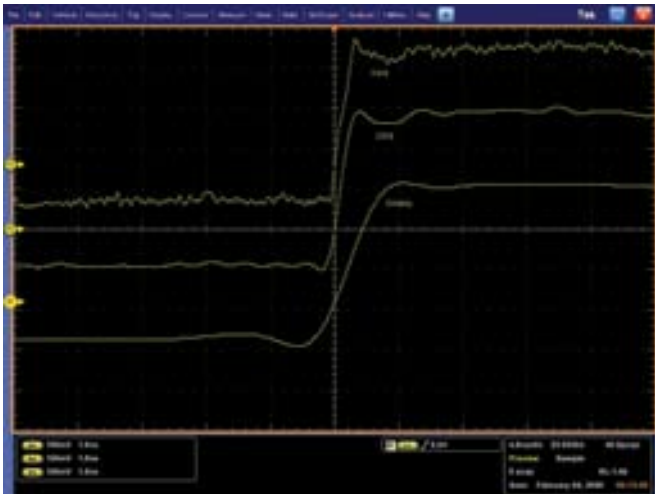


Рис. 44. Чем шире полоса пропускания, тем более точно отображается исследуемый сигнал, как это проиллюстрировано на примере захвата с ограничением полосы пропускания 250 МГц, 1 ГГц и 4 ГГц

Если осциллограф соответствует этому правилу, то погрешность его измерений составит не более $\pm 2\%$, чего обычно достаточно при решении большинства задач. Однако, с ростом частоты сигнала не всегда оказывается возможным соблюдать это эмпирическое правило. Тем не менее, рекомендуется всегда учитывать, что чем шире полоса пропускания, тем больше вероятность того, что анализируемый сигнал будет воспроизведён с высокой точностью (см. рис. 44).

Некоторые осциллографы обладают возможностью расширения полосы пропускания посредством цифровой обработки сигнала. Они содержат цифровой выравнивающий фильтр, который можно использовать для улучшения амплитудно-частотной характеристики сигнального тракта. Этот фильтр расширяет полосу пропускания, выравнивает АЧХ канала, улучшает линейность фазочастотной характеристики и обеспечивает лучшее согласование между каналами. Кроме того, он уменьшает длительность фронтов и улучшает переходную характеристику во временной области.

Время нарастания

В цифровой электронике измерения этого параметра имеют большое значение. Время нарастания может оказаться наиболее подходящим критерием оценки таких сигналов, как импульсы и перепады. Ваш осциллограф должен обладать достаточным временем нарастания для точного захвата деталей быстрых переходных процессов (рис. 45).

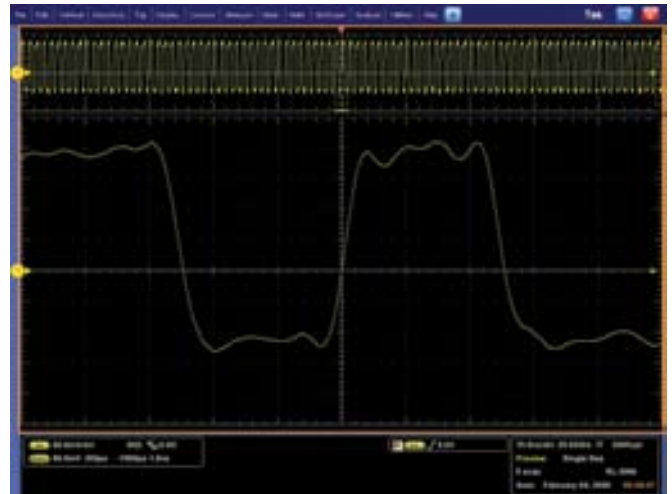


Рис. 45. Определение времени нарастания фронта высокочастотного цифрового сигнала

Время нарастания характеризует полезный частотный диапазон осциллографа. Для оценки пригодности осциллографа для измерения определенного времени нарастания, используйте следующую формулу:

$$\text{Требуемое время нарастания осциллографа} \geq \frac{\text{Время нарастания самого крутого фронта}}{\text{измеряемого сигнала}} \times 1/5$$

Необходимо помнить, что алгоритм выбора прибора по времени нарастания тот же самый, что и для выбора по полосе пропускания. Хотя для последнего случая применение этого эмпирического правила не всегда возможно из-за чрезвычайно высокой частоты сигналов в современных устройствах. Всегда помните, что чем меньше у осциллографа время нарастания, тем более точно будут захвачены наиболее важные детали быстрых переходных процессов.

В некоторых случаях вам может быть только известно время нарастания сигнала. Приведенная ниже формула позволяет связать полосу пропускания и время нарастания сигнала для осциллографа:

$$\text{Полоса пропускания} = \frac{k}{\text{время нарастания}}$$

где k варьируется от 0,35 до 0,45 в зависимости от формы амплитудно-частотной характеристики осциллографа и разрешающей способности по времени для импульсного сигнала. Для осциллографов с полосой пропускания < 1 ГГц обычно $k=0,35$, а для осциллографов с полосой > 1 ГГц значение k составляет от 0,4 до 0,45

Семейство логики	Типовое значение времени нарастания фронта сигнала	Расчётная ширина полосы сигнала
ТТЛ	2 нс	175 МГц
КМОП	1,5 нс	230 МГц
GTL	1 нс	350 МГц
LVDS	400 пс	875 МГц
ЭСЛ	100 пс	3,5 ГГц
GaAs	40 пс	8,75 ГГц

Рис. 46. В сравнении с другими, некоторые семейства логических микросхем обладают существенно более высокими значениями времени нарастания фронта импульса.

Различные семейства логических микросхем обладают широким разбросом характерных значений времени нарастания фронта, как это представлено на рис. 46.

Частота выборки

Данный параметр измеряется в выборках в секунду (выб/с) и предоставляет информацию о том, как часто цифровой осциллограф регистрирует мгновенные состояния сигнала (делает выборки), что можно сравнить с кадрами, снимаемыми кинокамерой. Чем быстрее осциллограф делает выборки (т.е. чем выше частота квантования), тем более высокое получается разрешение и детализация отображаемой на экране развертки сигнала и меньшая вероятность того, что важная информация или события будут утеряны, как это представлено на рис. 47. Низкие значения частоты выборки также представляют интерес при необходимости исследования медленно изменяющихся сигналов в течение длительного времени. Обычно частота выборки изменяется, когда изменяются настройки системы горизонтального отклонения. Это происходит с целью поддержания постоянного количества точек развертки отображаемых осциллографом сигналов.

Каким образом осуществляется расчёт требуемой частоты выборки под те или иные задачи? Эта методология различается в зависимости от формы исследуемого сигнала и алгоритма формирования развертки, применяемого вашим осциллографом.

Для точного построения развертки сигнала и во избежание ее ступенчатости, теорема Котельникова (Найквиста-Шеннона) определяет, что частота выборки сигнала должна быть по меньшей мере вдвое больше самой высокочастотной составляющей сигнала. Однако эта теорема предполагает условие бесконечной длины записи и непрерывности сигнала. Поскольку ни один осциллограф не обладает бесконечной памятью, а глитчи по определению не являются непрерывными, то выборка с частотой только в два раза больше наивысшей частотной составляющей обычно является недостаточной.

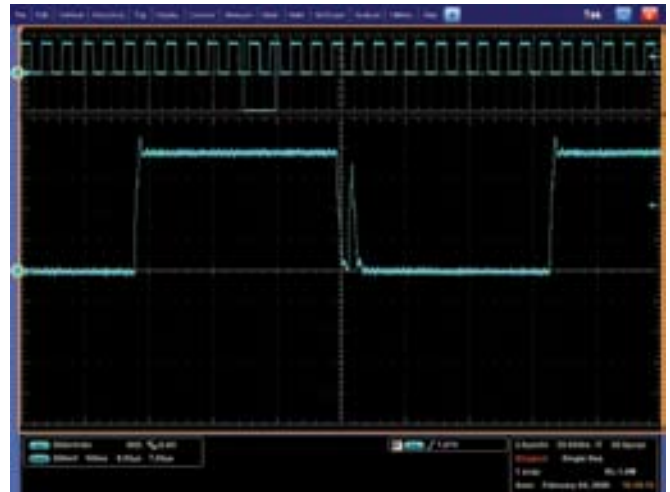


Рис. 47. Чем выше частота выборки, тем выше разрешение отображаемого на экране сигнала, что гарантирует возможность просмотра быстрых переходных процессов.

На практике, точное восстановление формы сигнала зависит как от частоты выборки, так и от метода интерполяции, применяемого для заполнения пространства между захваченными выборками. Некоторые осциллографы предлагают возможность выбора либо интерполяции $\sin x/x$ при измерениях синусоидальных сигналов, либо линейной интерполяции для прямоугольных, импульсных и других подобных сигналов.

Для точного построения развертки сигнала с применением интерполяции $\sin x/x$, ваш осциллограф должен работать с частотой выборки, по крайней мере в 2,5 раза большей, чем самая высокочастотная составляющая исследуемого сигнала. Применение линейной интерполяции предполагает частоту выборки, не менее чем в 10 раз выше самой высокочастотной составляющей.

Некоторые измерительные системы с частотой выборки до 20 Гвыб/с и полосой пропускания до 4 ГГц были оптимизированы для захвата очень быстрых однократных переходных процессов путем передискретизации, пятикратно превышающей ширину полосы пропускания.

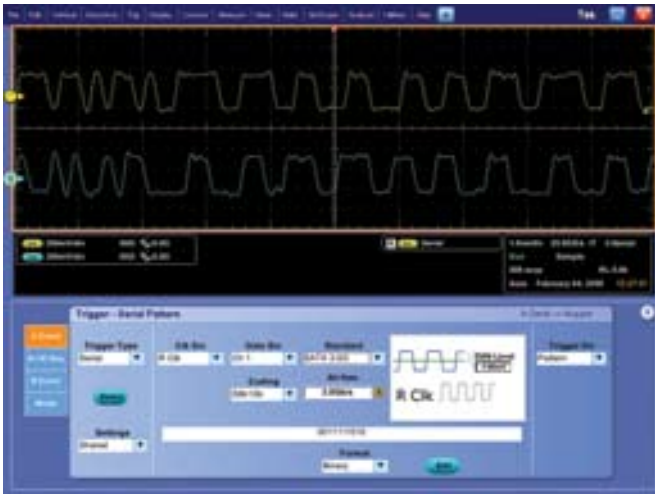


Рис. 48. Цифровой запоминающий осциллограф представляет собой идеальное решение для исследования непериодических сигналов, высокоскоростных шин и многоканального тестирования цифровых устройств.

Скорость захвата сигнала

Все осциллографы “мигают”. Это можно сравнить с открытием глаз определённое число раз в секунду для захвата сигнала и закрытием в промежутках между захватами. Эта характеристика называется скоростью захвата сигнала и измеряется в осциллограммах в секунду (осц/с). В то время как частота выборки указывает на то, как часто осциллограф захватывает мгновенные значения (выборки) входного сигнала в пределах одной осциллограммы (или развертки), то скорость захвата сигнала (осциллограммы) соответствует тому, как часто осциллограф захватывает целые осциллограммы (развертки).

Скорость захвата сигнала сильно варьируется в зависимости от типа осциллографа и его производительности. Модели осциллографов, обладающие большей скоростью захвата сигнала, обеспечивают значительно более наглядную визуализацию сигналов и существенно повышают вероятность того, что прибор зарегистрирует такие аномалии, как джиттер, поврежденные импульсы, глитчи, а также различные переходные процессы.

В цифровых запоминающих осциллографах (DSO) используется последовательная обработка данных, позволяющая захватывать от 10 до 5000 осциллограмм в секунду. Некоторые DSO имеют специальный режим, в котором множество захватов записываются в память большого объема, за счет чего искусственно повышается скорость захвата сигнала. Однако обработка захваченных данных требует определенного времени, в течение которого захвата не происходит, что ведет к сокращению вероятности захвата осциллографом редких непериодических событий.

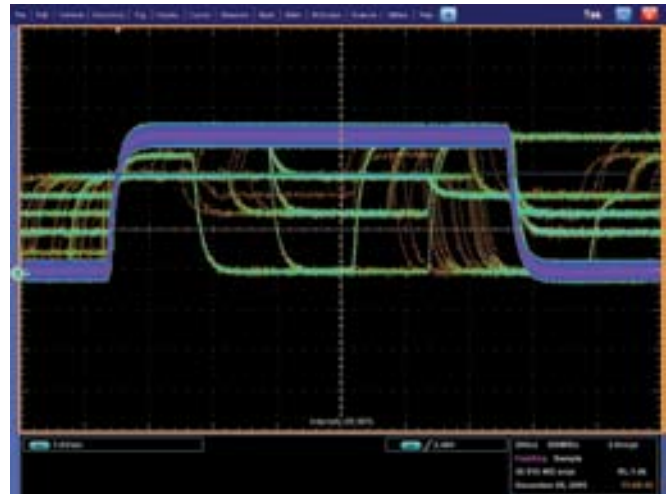


Рис. 49. Осциллограф с цифровым люминофором предоставляет широчайшие возможности исследования поведения сигнала за счет чрезвычайно высокой скорости захвата и режима отображения сигнала в трёх координатах. DPO легко справляется с самыми трудными задачами в широком спектре приложений.

В большинстве осциллографов с цифровым люминофором (DPO) используется параллельная обработка информации, что значительно увеличивает скорость захвата сигнала. Как показано на рис. 48, некоторые модели способны захватывать миллионы осциллограмм в секунду, многократно повышая вероятность регистрации непериодических и быстротекущих процессов, что даёт пользователю возможность исследовать сигналы быстрее и эффективнее. Более того, DPO может захватывать и отображать сигнал в трёх координатах: амплитуда, время и распределение амплитуды во времени. Это дает возможность более тщательно изучить поведение сигнала, не упустив ни одной мелкой детали (см. рис. 49).

Длина записи

Данный параметр обозначает количество точек, составляющих полную запись развертки сигнала, и определяет количество данных, которые могут быть захвачены каждым каналом. Поскольку осциллограф способен сохранять только ограниченное количество выборок, то длительность развертки (временное окно) будет обратно пропорционально частоте выборки.

$$\text{Временное окно} = \frac{\text{Длина записи}}{\text{частота выборки}}$$

Современные осциллографы позволяют выбирать длину записи для оптимизации уровня детализации в зависимости от конкретной задачи. Например, если вы анализируете очень стабильный синусоидальный сигнал, то вам потребуется запись длиной не более 500 точек, но если вы пытаетесь найти причины нарушения синхронизации в комплексном цифровом потоке данных, то потребуется миллион точек или более (см. рис. 50).

Функции запуска

Данная функция обеспечивает запуск горизонтальной развертки в заданной точке сигнала, что очень важно для правильного определения его характеристик. Управление запуском позволяет стабилизировать отображение периодических сигналов и выполнять избирательный захват однократных событий.

Более подробная информация по этому вопросу представлена в разделе «Система запуска».

Эффективное число разрядов

Эффективное число разрядов определяет способность цифрового осциллографа точно воспроизводить форму синусоидального сигнала. Этот параметр показывает соотношение между характеристиками реального АЦП осциллографа и характеристиками «идеального» АЦП той же разрядности. Поскольку реальный сигнал подвержен воздействию шума и искажений, это отражается на характеристиках АЦП.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

Широкая полоса пропускания не является полной гарантией того, что осциллограф будет способен захватывать и точно отображать высокочастотные сигналы. При выборе осциллографа должна учитываться еще одна важная характеристика: максимально равномерная групповая задержка. Эта характеристика обеспечивает высокую точность воспроизведения импульсов с минимальными выбросами и звонами. На равномерность групповой задержки оказывают влияние все системы и компоненты цифрового осциллографа – усилители, аттенюаторы, АЦП, межблочные соединения, реле и др. Качество отображения импульсных сигналов очень сильно зависит от модели осциллографа и производителя этого вида приборов.

Чувствительность по вертикали

Вертикальная чувствительность указывает на то, насколько усилитель системы вертикального отклонения способен усилить слабый сигнал. Обычно этот параметр измеряется в милливольтх на деление. Наименьшее значение напряжения, с которым способен работать осциллограф общего назначения, обычно составляет 1 мВ на деление вертикальной шкалы.

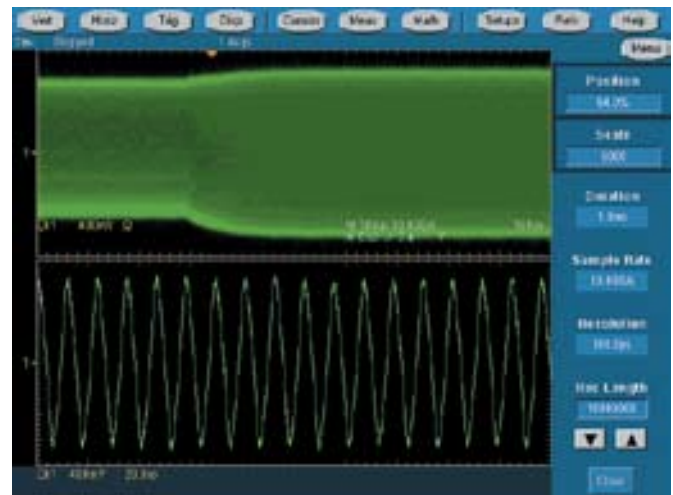


Рис. 50. Захват высокочастотных составляющих данного модулированного сигнала с несущей 85 МГц, требует использования режима выборки с высоким разрешением (100 пс). Для исследования огибающей модулированного сигнала необходимо достаточно широкое временное окно (1 мс). Используя большой объем памяти для продолжительной записи (10 МБ), осциллограф может предоставить всю необходимую информацию.

Скорость развертки

Данная характеристика говорит о том, как быстро выводится развертка на экран осциллографа, позволяя видеть мельчайшие детали изображения. Скорость развертки осциллографа измеряется в секундах на деление.

Погрешность усиления

Данный параметр характеризует точность усиления или ослабления сигнала системой вертикального отклонения осциллографа и измеряется в процентах.

Погрешность по горизонтали

Погрешность по горизонтали или по оси времени указывает на то, как точно система горизонтального отклонения отображает временные характеристики сигнала. Измеряется этот параметр, как правило, в процентах.

Разрешение по вертикали (АЦП)

Вертикальное разрешение аналого-цифрового преобразователя, а следовательно цифрового осциллографа говорит о том, насколько точно прибор способен преобразовать входное напряжение в цифровые значения. Разрешение по вертикали измеряется в битах. Значение эффективного разрешения можно улучшить программным способом, как это показано на примере режима захвата с высоким разрешением.



Рис. 51. MSO имеет 16 встроенных цифровых каналов, позволяющих отображать и анализировать коррелированные по времени аналоговые и цифровые сигналы. Высокая скорость регистрации по времени обеспечивает большое разрешение, позволяющее обнаруживать кратковременные события, например, глитчи.

Разрешение по времени (MSO)

Важной характеристикой MSO является разрешение по времени при регистрации цифровых сигналов. Регистрация сигнала с лучшим разрешением повышает точность измерения временных характеристик при работе с цифровыми сигналами. Например, частота дискретизации 500 Мвыб/с дает разрешение по времени 2 нс, в результате неопределенность положения фронта захваченного сигнала тоже равна 2 нс. Лучшее разрешение по времени 60,6 пс (16,5 Гвыб/с) снижает неопределенность положения фронта до 60,6 пс и позволяет регистрировать сигналы, изменяющиеся быстрее.

Некоторые MSO позволяют регистрировать цифровые сигналы одновременно двумя способами. Одна регистрация выполняется со стандартным разрешением по времени, а другая – с высоким разрешением. Стандартное разрешение используется для длинных записей, а высокое разрешение обеспечивает более точную регистрацию особо важных фрагментов, как показано на рис. 51.

Интерфейсы

В любых серьезных исследованиях полученные результаты измерений необходимо анализировать. В связи с этим одним из важнейших требований к функциональности прибора является возможность простого и удобного документирования и обмена данными. Оснащение осциллографов интерфейсами для обмена данными предоставляет инженерам расширенные функции при проведении анализа, упрощает документирование и обеспечивает совместный доступ к результатам измерений. В осциллографах для управления и обмена данными применяются стандартные интерфейсы – GPIB, RS-232, USB, Ethernet (рис. 52).



Рис. 52. Современные осциллографы предлагают широкий выбор коммуникационных интерфейсов, таких как стандартный порт Centronics или опциональные модули Ethernet/RS-232, GPIB/RS-232 и VGA/RS-232. Есть даже порт USB на передней панели (на рисунке не показан).

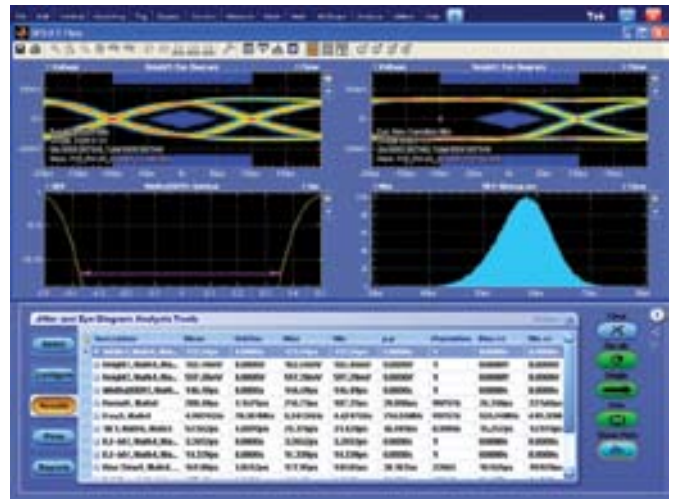


Рис. 53. Пакеты аналитического ПО предназначены специально для измерения джиттера и анализа глазковых диаграмм в современных цифровых схемах.

Некоторые, наиболее функциональные модели осциллографов позволяют:

- создавать, редактировать и обмениваться документами непосредственно с осциллографом – в процессе работы с прибором, не покидая рабочего места;
- распечатывать документы на сетевых принтерах и пользоваться совместным доступом к файлам;
- управлять с помощью удаленного рабочего стола Windows™;
- использовать прикладное программное обеспечение сторонних производителей для анализа и документирования;
- пользоваться сетевыми ресурсами;
- выходить в интернет;
- отправлять и получать электронную почту.

Расширяемость

Осциллограф должен соответствовать всем предъявляемым к нему требованиям, как текущим, так и перспективным. Некоторые осциллографы позволяют:



Рис. 54. Анализ сигналов последовательных шин ускоряется за счет автоматического запуска, декодирования и поиска по содержимому пакета последовательных данных.



Рис. 56. ПО анализа DDR автоматизирует сложные операции при работе с памятью, такие как разделение пакетов чтения/записи и выполнение измерений по спецификации JEDEC.

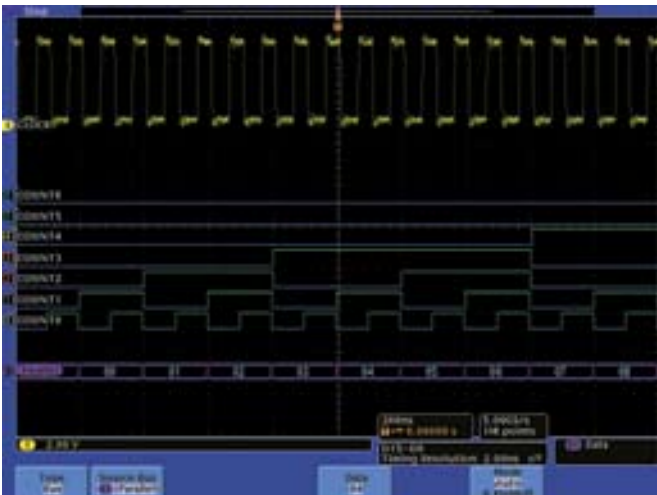


Рис. 55. Автоматический запуск, декодирование и поиск данным тактируемой или нетактируемой параллельной шины.



Рис. 57. Программные модули для видеоизмерений превращают осциллограф в быстрый и универсальный прибор для диагностики видеооборудования.

- расширять память каналов для увеличения длины записи;
- добавлять специализированные измерительные функции;
- расширять возможности прибора посредством широкой номенклатуры пробников и модулей;
- работать с пакетами популярного ПО сторонних производителей, совместимыми с Windows;
- использовать дополнительные принадлежности, такие как аккумуляторные батареи и комплекты для монтажа в стойку.

Прикладное программное обеспечение может превратить осциллограф в специализированный аналитический инструмент для таких задач, как анализ джиттера и синхронизации, проверка системы памяти микропроцессора, тестирование на соответствие телекоммуникационным стандартам, измерение параметров жестких дисков, измерение мощности, видеосигналов и многое другое.

На рисунках 53-58 показано несколько примеров такого ПО.

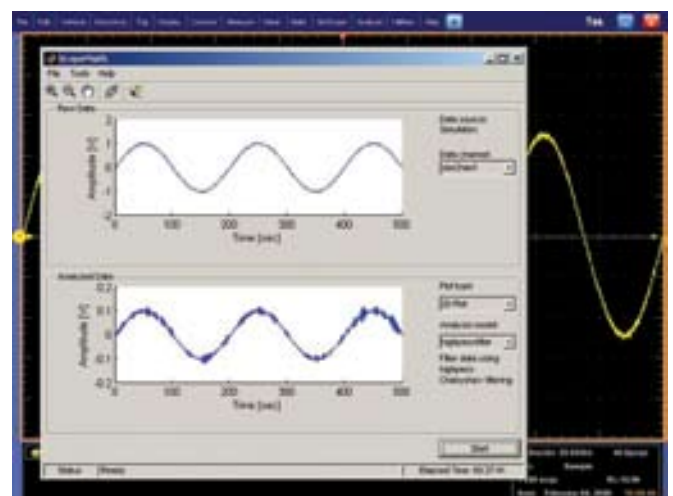


Рис. 58. Расширенные пакеты анализа и разработки, такие как MATLAB®, можно устанавливать на осциллографы, работающие под управлением Windows, и использовать для анализа сигналов.



Рис. 59. Передняя панель с органами управления, характерными для аналогового осциллографа – всё знакомо ещё по учебникам.

Простота в использовании

Осциллографы должны быть просты в освоении и применении, помогая вам как можно эффективнее выполнять свою работу. Это значит, что пользователю необходимо тратить минимальное время на настройку измерительной системы и выполнение измерений, чтобы максимально сосредоточиться на своей разработке. Как правило, пользователи имеют различную базовую подготовку. В зависимости от этого пользователю будет удобно работать либо с классическим интерфейсом осциллографа, либо с оконным интерфейсом в стиле Windows™. Для удовлетворения столь различных требований осциллограф должен обладать эксплуатационной гибкостью.

Большинство осциллографов обладают определённым балансом между уровнем производительности и простотой пользования, предоставляя пользователю множество способов управления прибором. На передней панели осциллографа располагаются основные органы управления системами запуска, вертикального и горизонтального отклонения (рис. 59). Графический интерфейс пользователя со множеством иконок помогает быстро ориентироваться в расширенных функциях прибора (рис. 60). Сенсорный экран легко решает проблемы, связанные с нагромождением большого числа органов управления, обеспечивая доступ к логично расположенным экранным клавишам с чёткими



Рис. 60. Графическая панель управления предоставляет простой доступ даже к самым сложным функциям.

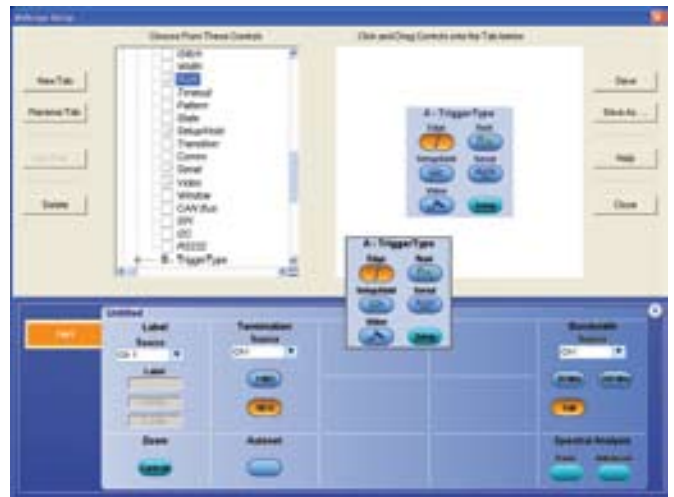


Рис. 61. Сенсорный экран решает проблемы избыточного нагромождения органов управления, обеспечивая быстрый доступ к множеству различных функций прибора.

обозначениями (рис. 61). Встроенная справочная система обеспечивает доступ ко всей информации по эксплуатации осциллографа и методам его применения в различных приложениях. Интуитивно понятные средства управления позволяют комфортно работать с прибором даже начинающим пользователям. При этом опытные пользователи легко находят доступ ко всем специализированным функциям осциллографа. Кроме того, существуют портативные модели осциллографов, предназначенные не только для стационарного, но и для мобильного применения (рис. 62).



Рис. 62. Портативные осциллографы весьма эффективны в разных условиях эксплуатации.

Работа с осциллографом

В настоящем разделе приводится краткое описание подготовки осциллографа к работе и решения практических задач с его помощью. Особое внимание уделено заземлению, правильной настройке и калибровке прибора, а также подключению и компенсации пробников.

Правильное заземление – важнейший этап при подготовке к работе с осциллографом. Заземление прибора необходимо для защиты пользователя от поражения электрическим током, а антистатическая защита предохраняет от повреждений исследуемую схему.

Заземление осциллографа

Заземление осциллографа означает соединение корпуса прибора с точкой, имеющей нулевой потенциал, которая называется «защитное заземление» (PE). Этот процесс осуществляется путем подключения трёхполюсной вилки сетевого кабеля прибора к розетке электропитания, имеющей контакт защитного заземления.

Заземление осциллографа необходимо для безопасной работы. Если произойдет утечка высокого напряжения на корпус незаземлённого осциллографа, то прикосновение к любой части этого корпуса, включая даже те элементы, которые кажутся изолированными, может привести к поражению пользователя электрическим током. Однако, если защитное заземление выполнено по всем правилам, то ток утечки вызовет срабатывание дифференциальной защиты, которая отключит питание прибора.

Заземление также необходимо для выполнения точных измерений при помощи осциллографа, который должен использовать ту же самую точку заземления, что и исследуемая электронная схема.

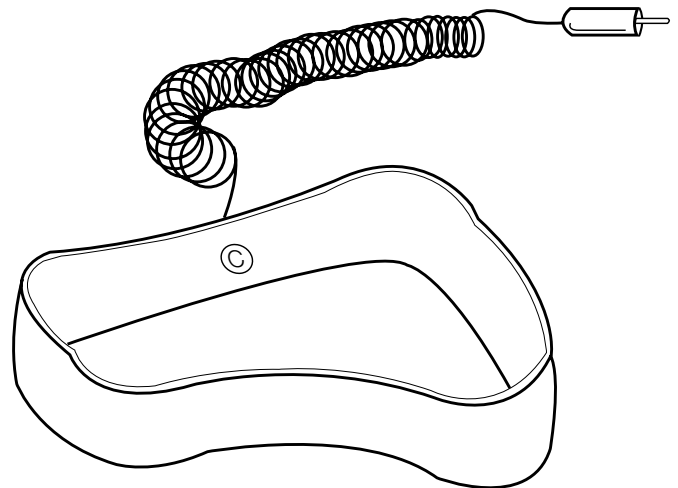


Рис. 63. Антистатический браслет, надеваемый на запястье.

Некоторые модели осциллографов не требуют наличия защитного заземления. Безопасность работы с такими приборами обеспечивается двойной изоляцией корпуса и органов управления.

При работе с интегральными схемами (ИС) также необходимо принять меры по защите исследуемой схемы от статического электричества. Интегральные схемы имеют в своем составе полевые транзисторы, которые могут быть повреждены статическим электричеством, накапливаемым на человеческом теле. Например, вы можете полностью вывести из строя дорогостоящую ИС, прикоснувшись к ее выводам после того, как прошлишь по ковру или сняли свитер. Для решения этой проблемы необходимо носить антистатический браслет, представленный на рис. 63, который безопасно снимает статический заряд с человеческого тела.

Настройка органов управления

После подключения осциллографа к сети питания взгляните на его переднюю панель. Как уже ранее описывалось, эта панель обычно разделена на три основные части, органы управления которых относятся к системам вертикального отклонения, горизонтального отклонения и запуска. Но при этом не исключено, что на вашем осциллографе будут и другие органы управления, в зависимости от его типа.

Обратите внимание на входные разъёмы осциллографа – к ним присоединяются пробники. Большинство моделей осциллографов имеют, по меньшей мере, два входных канала, при этом на экране отображается развертка сигнала каждого из этих каналов. Многоканальные модели используются для сравнения форм нескольких исследуемых сигналов между собой. В осциллографах MSO есть также и цифровые входные каналы.

Некоторые осциллографы также имеют кнопку AUTOSET (автоматическая настройка) или DEFAULT (установка по умолчанию), позволяющие настраивать органы управления в один приём. Если же применяемый вами осциллограф не обладает такой возможностью, то следует поочередно выставить органы управления в стандартное положение перед тем, как приступить к измерениям.

Ниже приведены общие инструкции по ручной настройке осциллографов в исходное положение:

- Настройте осциллограф для вывода на экран канала 1
- Настройте входную чувствительность (В/дел) в соответствии с предполагаемым уровнем измеряемого сигнала и установите линию развертки в среднее положение по вертикали
- Отключите плавное регулирование чувствительности (В/дел)
- Отключите усиление
- Установите для канала 1 режим связи по постоянному току
- Установите автоматический режим запуска
- В качестве источника сигнала запуска выберите канал 1
- Установите минимальное время удержания запуска или вообще отключите этот режим
- Настройте среднее значение скорости развертки (с/дел) и установите развертку в среднее положение по горизонтали

Калибровка прибора

Помимо соответствующей настройки прибора, для повышения точности измерений рекомендуется периодически выполнять автокалибровку. Эту процедуру нужно выполнять, если температура окружающей среды изменилась более чем на 5 °С с момента последней автокалибровки, или раз в неделю. В меню некоторых осциллографов эта процедура может называться «Компенсацией сигнального тракта». Более подробное описание калибровки приведено в руководстве на ваш осциллограф.

Подключение пробников

Теперь вы готовы подключить пробник к осциллографу. Пробник, при условии, что он соответствует характеристикам осциллографа, предоставит вам возможность доступа ко всем функциям и возможностям прибора, при этом будет обеспечиваться целостность исследуемого сигнала.

При измерениях сигналов требуется наличие двух соединений: соединение наконечника пробника с исследуемой цепью и соединение контакта «земли» пробника с «землей» исследуемого устройства. Для соединения с «землей» пробники, как правило, оснащаются зажимом типа «крокодил». На практике, необходимо прикрепить зажим «крокодил» к известной точке заземления исследуемого устройства, например, к металлическому шасси, а затем прикасаться наконечником пробника к контрольным точкам тестируемой схемы.

Компенсация пробника

Пассивные пробники ослабляют измеряемый сигнал, поэтому они должны быть согласованы с осциллографом. Перед применением пассивных пробников необходимо выполнить процедуру компенсации, т.е. согласовать их электрические характеристики с характеристиками конкретного осциллографа.

Пользователю необходимо выработать привычку компенсировать пробник каждый раз, когда проводится настройка осциллографа. Плохо согласованный пробник может значительно увеличить погрешность всех результатов проводимых вами измерений. На рис. 64 проиллюстрированы эффекты на примере тестового сигнала 1 МГц при использовании пробников, компенсированных не должным образом.

Большинство осциллографов имеют встроенный генератор опорного сигнала с выходом на передней панели, который применяется для компенсации пробников. Общие инструкции по компенсации пробников приводятся ниже:

- Подсоедините пробник к входу канала вертикального отклонения
- Подсоедините наконечник пробника к выходу генератора опорного сигнала
- Подсоедините зажим заземления пробника к заземлению
- Выведите на экран опорный сигнал (меандр);
- Выполните регулировку на пробнике таким образом, чтобы углы меандра стали максимально прямыми.

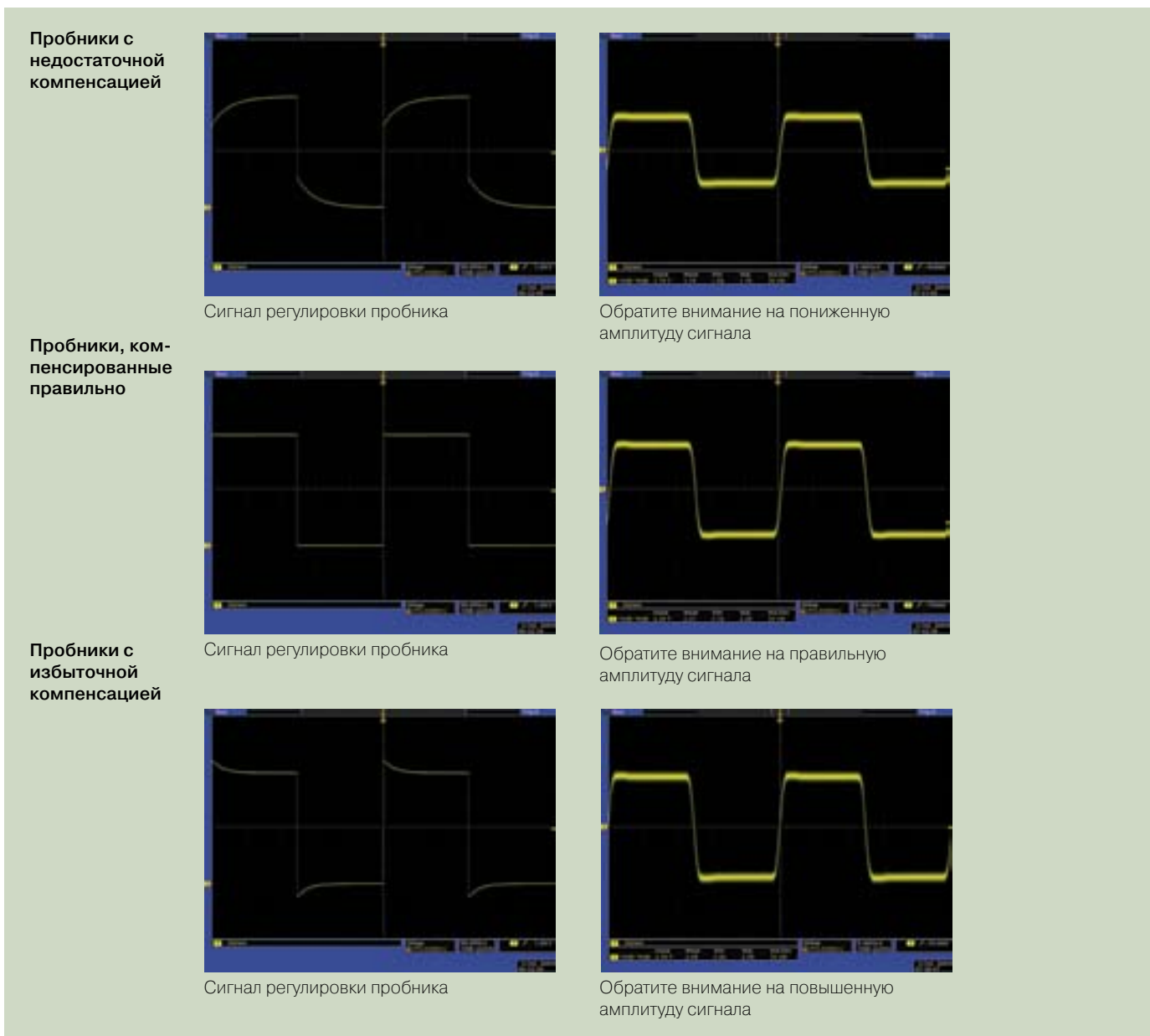


Рис. 64. Последствия неправильной компенсации пробников

При компенсации пробника всегда прикрепляйте к нему абсолютно все принадлежности, которые планируете использовать. Необходимо компенсировать пробник именно на том вертикальном канале, на котором будут выполняться

измерения. Это является залогом того, что осциллограф будет полностью соответствовать своим техническим характеристикам.

Технологии измерений при помощи осциллографа

Настоящий раздел рассматривает основные измерительные технологии. Два наиболее типичных вида измерений, которые обычно выполняются осциллографом – это измерения напряжения и времени. Любой другой вид измерений и сопутствующие им приложения базируются на одной из этих двух фундаментальных технологий.

В данном разделе также обсуждаются методы визуальной оценки результатов измерений. Такой метод широко распространён при работе с аналоговыми приборами и также может оказаться полезным для оценочной интерпретации данных, представленных на дисплеях DPO и DSO.

Необходимо помнить, что большинство цифровых осциллографов обладают средствами автоматизированных измерений, которые упрощают и ускоряют выполнение рутинных задач. Обладая навыками выполнения ручных измерений, которые описываются ниже, вы существенно облегчите задачу понимания сути автоматических режимов измерений.

Измерения напряжения

Напряжение представляет собой разность электрических потенциалов между двумя точками цепи, измеряемое в вольтах. Обычно (но не обязательно) одна из этих точек – «земля» (ноль вольт). Значения напряжения могут быть измерены от пика до пика, т.е. от точки с максимальным уровнем сигнала до точки с минимальным уровнем. В любом случае необходимо точно определять, о каком именно значении напряжения идёт речь.

По своему основному назначению, осциллограф представляет собой устройство для измерения напряжения. Как только вы измерили напряжение, другие параметры можно получить с помощью расчёта. Например, закон Ома говорит, что напряжение между двумя точками цепи равно силе тока в этой цепи, умноженной на сопротивление цепи. Таким образом, зная любые две переменные, вы можете легко вычислить третью, если применять следующие формулы:

$$\text{Напряжение} = \text{Сила тока} \times \text{Сопротивление}$$

$$\text{Сила тока} = \frac{\text{Напряжение}}{\text{Сопротивление}}$$

$$\text{Сопротивление} = \frac{\text{Напряжение}}{\text{Сила тока}}$$

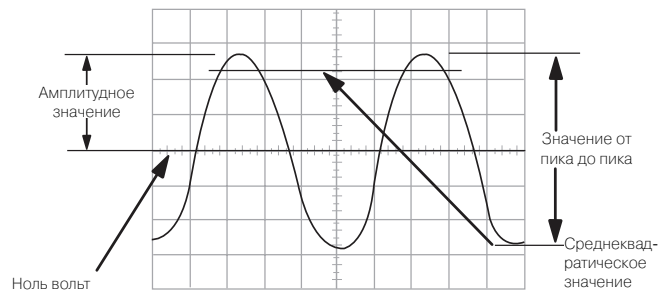


Рис. 65. Различные значения напряжения

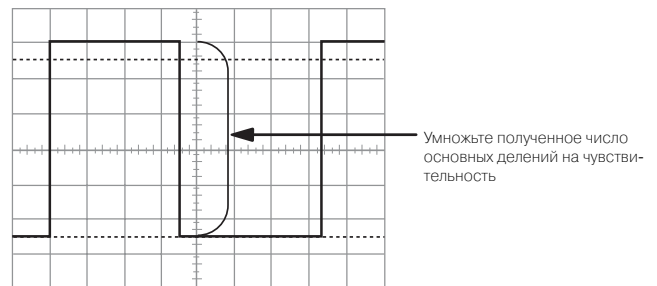
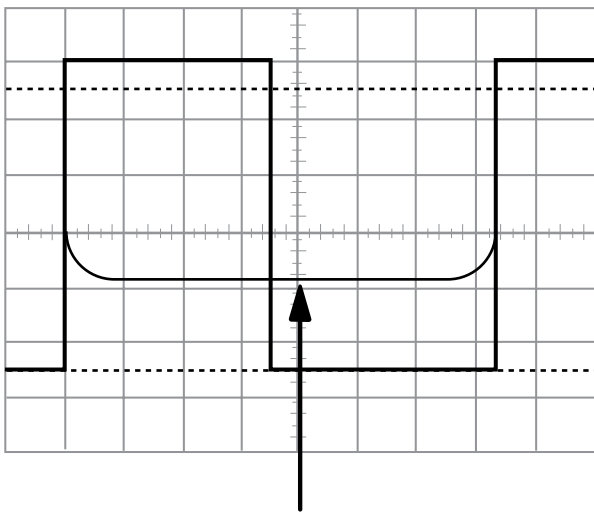


Рис. 66. Измерения напряжения по центру вертикальной шкалы

Другая, очень удобная формула позволяет рассчитать мощность: мощность сигнала постоянного тока равна напряжению, умноженному на силу тока. Расчёты для переменного тока будут более сложными, но принцип остаётся прежний: измерения напряжения – первый шаг для дальнейших расчётов прочих величин. На рис. 65 в качестве примера представлены амплитудное значение напряжения, напряжение от пика до пика и среднеквадратическое значение.

Наиболее общий метод измерения напряжения – это подсчёт числа делений вертикальной шкалы, перекрытых разверткой сигнала. Выберите такую чувствительность вертикального отклонения (В/дел), чтобы развертка сигнала занимала большую часть площади экрана по вертикали (рис. 66). Чем большую площадь экрана вы займете, тем точнее будут результаты.

Многие модели осциллографов обладают экранными маркерами, позволяющими измерять параметры сигналов автоматически, без подсчета делений шкалы вручную. Маркер – обычная линия, которую можно перемещать по экрану осциллографа. Две горизонтальные маркерные линии можно перемещать вверх и вниз для того, чтобы измерить амплитуду сигнала между ними, две вертикальные линии можно перемещать вправо и влево, чтобы измерить время. Положения курсоров определяются с указанием напряжения и времени.



Пример измерений времени по центру горизонтальной масштабной шкалы

Рис. 67. Измерения времени в центре горизонтальной масштабной шкалы

Измерения времени и частоты

Вы можете осуществлять измерения времени с использованием горизонтальной шкалы осциллографа. Измерения времени включают в себя измерения периода и длительности импульсов. Частота – величина обратная периоду, таким образом, зная период, можно рассчитать значение частоты. Точно также как и при измерениях напряжения, измерения времени более точны при позиционировании развертки измеряемого сигнала так, чтобы один период покрывал большую площадь экрана, как это проиллюстрировано на рис. 67.

Измерения длительности импульса и времени нарастания фронта

В некоторых случаях очень важно знать точные параметры формы импульса. Искажённые импульсы могут стать причиной неправильного функционирования цифровой схемы, кроме того, может нарушаться синхронизация в последовательности импульсов.

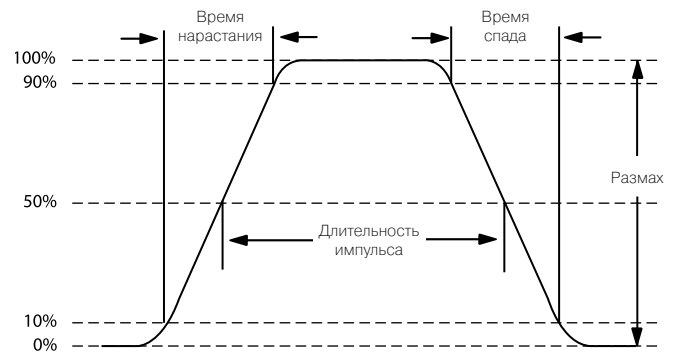


Рис. 68. Измерение времени нарастания фронта и длительности импульса

В стандартные измерения параметров импульсов входят измерения длительности импульса и времени нарастания фронта импульса. Время нарастания – это время, необходимое перепаду импульса для перехода от низкого уровня до высокого уровня. Для удобства время нарастания фронта импульса измеряется от 10% до 90% от значения полного размаха импульса. Такой подход устраняет любые погрешности, связанные с переходными углами. Длительность импульса – это время, требуемое импульсу для перехода от низкого уровня к высокому и обратно к низкому. Для удобства длительность импульса измеряется по уровню 50% от значения полного размаха импульса. На рис. 68 проиллюстрированы эти измерения.

Измерения параметров импульсов часто требуют точной настройки системы запуска осциллографа. Для того, чтобы в совершенстве овладеть техникой измерения импульсов, необходимо научиться эффективно пользоваться режимами удержания запуска и функцией упреждающего запуска цифрового осциллографа, как это подробно описано в разделе «Системы и органы управления осциллографа». Растяжка по горизонтали – другая полезная функция для измерений параметров импульсов, позволяющая просматривать мелкие детали очень коротких импульсов.

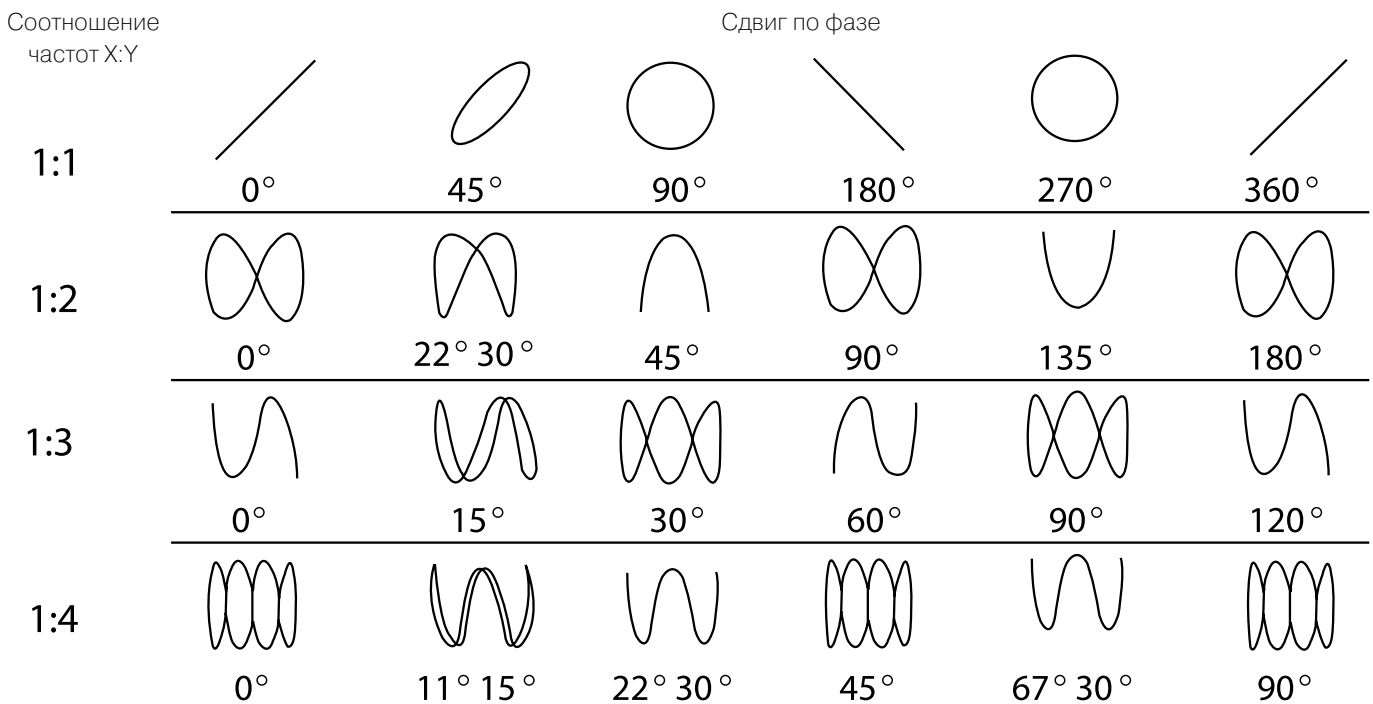


Рис. 69. Фигуры Лиссажу

Измерения сдвига по фазе

Один из методов измерения сдвига по фазе – разницы в синхронизации между двумя одинаковыми периодическими сигналами – это использование режима XY. Такая измерительная технология заключается в подаче одного сигнала на систему вертикального отклонения осциллографа, а другого сигнала – на систему горизонтального отклонения, откуда и произошло название режима XY, поскольку оси X и Y соответствуют горизонтальному и вертикальному отклонению. Получаемая таким образом развертка сигнала называется фигурой Лиссажу (по имени французского физика Jules Antoine Lissajous). Исходя из формы фигуры Лиссажу можно определить сдвиг фаз между двумя сигналами. Также можно узнать соотношение частот. На рис. 69 показаны фигуры Лиссажу для различных соотношений частот и сдвигов фаз.

Идея режима XY впервые была воплощена в аналоговых осциллографах. DSO (цифровые запоминающие осциллографы) могут не справиться с отображением фигуры Лиссажу в реальном времени. Некоторые DSO создают фигуры Лиссажу посредством постепенного накопления захваченных данных с последующим отображением развертки двух каналов в виде фигуры Лиссажу.

С другой стороны, DPO (осциллографы с цифровым люминофором) способны работать в истинном режиме XY в реальном времени с применением непрерывного потока оцифрованных данных. DPO также могут работать в режиме XYZ с различными градациями яркости отдельных участков развертки. В отличие от осциллографов DSO и DPO, аналоговые осциллографы отображают фигуры Лиссажу для сигналов с частотой не более нескольких мегагерц.

Прочие измерительные технологии

Настоящий раздел осветил только основные измерительные технологии. Другие измерительные технологии включают в себя настройку осциллографа для тестирования электрических компонентов на производственных линиях, захват быстротекущих переходных процессов, а также много другое. Измерительные технологии, применяемые в настоящее время в исследованиях и на производстве, весьма разнообразны, но из настоящего пособия, если вы прочли всё внимательно, можно почерпнуть достаточно знаний, чтобы приступить к работе с осциллографом. Практическая работа и дальнейшее изучение теории позволят вам в совершенстве освоить этот незаменимый прибор.

Письменные упражнения

Этот раздел содержит письменные упражнения, охватывающие информацию, приведенную в настоящем пособии. Они разделены на две части, каждая из которых содержит проверку знания терминов и проверку практических знаний.

Проверьте, хорошо ли вы усвоили приведенную в этих разделах информацию, сверив свои ответы с картой ответов в конце этого раздела на с. 54.

Часть I охватывает информацию, представленную в разделах:

- Осциллограф
- Характеристики осциллографов

Часть II охватывает информацию, представленную в разделах:

- Системы и органы управления осциллографа
- Работа с осциллографом
- Технологии измерений при помощи осциллографа

Часть I А. Проверка знания терминов

Допишите буквы из определений в правой колонке к соответствующим словам в левой колонке.

Термин	Определение
1. ___ Захват	A Единица измерения разности электрических потенциалов.
2. ___ Аналоговая схема	B Параметр, определяющий точность работы АЦП, выражается в битах.
3. ___ Полоса пропускания	C Термин, применяемый для обозначения положения точек периода сигнала в градусах.
4. ___ Цифровой люминофор	D Число повторений сигнала за одну секунду.
5. ___ Частота	E Время, необходимое сигналу для выполнения одного цикла.
6. ___ Глитч	F Сохраненное цифровое значение, представляющее напряжение сигнала в некоторой точке на оси времени.
7. ___ Период	G Распространенная форма сигнала, имеющего фронт, длительность и спад.
8. ___ Фаза	H Параметр, определяющий скорость нарастания фронта импульса.
9. ___ Импульс	I Схема осциллографа, от которой зависит скорость развертки.
10. ___ Точка развертки	J Изредка появляющийся в сигнале острый пик.
11. ___ Время нарастания	K Измеренный осциллографом однократно появляющийся сигнал.
12. ___ Точка выборки	L Процесс сбора осциллографом выборок от АПЦ, их обработка и сохранение в памяти.
13. ___ Цифровой запоминающий	M Нечто, работающее с непрерывно изменяющимися значениями.
14. ___ Генератор развертки	N Цифровая технология, позволяющая отображать информацию о сигнале в трех координатах в режиме реального времени.
15. ___ Переходной процесс	O Цифровой осциллограф с последовательной обработкой.
16. ___ Разрешающая способность АЦП	P Диапазон частот синусоидального сигнала, определяемый по уровню -3 дБ.
17. ___ Вольт	Q Необработанные данные от АЦП, используемые для расчета и отображения точек развертки.

Часть I В: Проверка практических знаний

Обведите кружком ответы, максимально соответствующие каждому утверждению. Некоторые утверждения имеют несколько правильных ответов.

1. С помощью осциллографа можно:

- a. Определять частоту сигнала.
- b. Выявлять неисправности электрических компонентов.
- c. Анализировать подробности сигнала.
- d. Все вышеупомянутое.

2. Разница между аналоговым и цифровым осциллографом в том, что:

- a. Аналоговые осциллографы не имеют экранного меню.
- b. Аналоговые осциллографы подают измеряемое напряжение прямо на схему формирования изображения, тогда как цифровые осциллографы сначала преобразуют напряжение в цифровые значения.
- c. Аналоговые осциллографы измеряют аналоговые значения, а цифровые осциллографы измеряют цифры.
- d. Аналоговые осциллографы не имеют системы захвата.

3. Система вертикального отклонения осциллографа делает следующее:

- a. Захватывает точки выборки с помощью АЦП.
- b. Запускает горизонтальную развертку.
- c. Позволяет регулировать яркость изображения.
- d. Ослабляет или усиливает входной сигнал.

4. Система развертки осциллографа делает следующее:

- a. Регулирует размер по вертикали.
- b. Показывает текущее время.
- c. Определяет интервал времени, соответствующий размеру экрана по горизонтали.
- d. Подает тактовый импульс на пробник.

5. На экране осциллографа:

- a. Напряжение откладывается по вертикальной оси, а время – по горизонтальной.
- b. Прямая диагональная линия соответствует напряжению, меняющемуся с постоянной скоростью.
- c. Прямая горизонтальная линия соответствует постоянному напряжению.
- d. Все, перечисленное выше.

6. Все периодические сигналы имеют следующие характеристики:

- a. Частоту, измеряемую в герцах.
- b. Период, измеряемый в секундах.
- c. Полосу, измеряемую в герцах.
- d. Все, перечисленное выше.

7. Если вы исследуете компьютер с помощью осциллографа, то, вероятно, обнаружите следующие типы сигналов:

- a. Пачки импульсов.
- b. пилообразные сигналы
- c. Синусоидальные сигналы.
- d. Все, перечисленное выше.

8. Оценивая характеристики аналогового осциллографа, нужно обратить внимание на:

- a. Полосу пропускания.
- b. Чувствительность системы вертикального отклонения.
- c. Разрешение АЦП.
- d. Скорость развертки.

9. Разница между цифровыми запоминающими осциллографами (DSO) и осциллографами с цифровым люминофором (DPO) в том, что:

- a. DSO имеет более широкую полосу пропускания.
- b. DSO регистрирует информацию о сигнале в трех координатах в режиме реального времени.
- c. DSO имеет цветной дисплей.
- d. DSO регистрирует больше мелких подробностей сигнала.

Часть II А: Проверка знания терминов

Допишите буквы из определений в правой колонке к соответствующим словам в левой колонке.

Термин	Определение
1. ___ Режим усреднения	A Нежелательное влияние пробника и осциллографа на исследуемую цепь, вызывающее искажение сигнала.
2. ___ Нагрузка на цепь	B Проводник, соединяющий электрические цепи с землей.
3. ___ Компенсация	C Режим дискретизации, в котором цифровой осциллограф делает столько выборок за время присутствия сигнала, сколько сможет, и затем строит из них изображение, применяя при необходимости интерполяцию.
4. ___ Связь	D Режим дискретизации, в котором цифровой осциллограф строит изображение повторяющегося сигнала путем захвата небольшой доли информации в каждом периоде.
5. ___ Заземление	E Устройство, преобразующее некоторую физическую величину, например, звук, давление, деформацию или яркость, в электрический сигнал.
6. ___ Режим эквивалентного времени	F Испытательное устройство, подающее сигнал на вход схемы.
7. ___ Координатная сетка	G Метод обработки, используемый цифровыми осциллографами для подавления шума в отображаемом сигнале.
8. ___ Интерполяция	H Метод соединения между собой двух цепей.
9. ___ Режим реального времени	I Метод «соединения точек», используемый для построения развертки сигналов по нескольким имеющимся точкам.
10. ___ Генератор сигналов	J Линии разметки на экране осциллографа для измерения разверток.
11. ___ Однократный запуск	K Метод запуска, при котором развертка запускается только один раз, а следующий запуск может произойти только после сброса.
12. ___ Датчик	L Настройка пробника с 10-кратным ослаблением, согласующая электрические характеристики пробника с электрическими характеристиками осциллографа.

Часть II В. Проверка практических знаний

Обведите кружком ответы, максимально соответствующие каждому утверждению. Некоторые утверждения имеют несколько правильных ответов.

1. Для безопасной работы с осциллографом нужно:
 - a. Заземлить осциллограф с помощью соответствующего трехполюсного сетевого кабеля.
 - b. Уметь распознавать потенциально опасные электрические компоненты.
 - c. Избегать прикосновений к неизолированным соединениям измеряемой схемы, даже при отключенном питании.
 - d. Все, перечисленное выше.
2. Заземление осциллографа необходимо:
 - a. Для безопасной работы.
 - b. Для обеспечения опорного потенциала при выполнении измерений.
 - c. Для совмещения развертки с горизонтальной осью шкалы.
 - d. Все, перечисленное выше.
3. Нагрузка на цепь возникает в результате того, что:
 - a. Входной сигнал имеет слишком большое напряжение.
 - b. Пробник и осциллограф оказывают влияние на измеряемую цепь.
 - c. Пробник с аттенуатором 10X не скомпенсирован.
 - d. На схему положили слишком тяжелый предмет.
4. Компенсация пробника нужна для:
 - a. Согласования электрических характеристик пробника с ослаблением 10X с характеристиками осциллографа.
 - b. Предотвращения повреждения тестируемой цепи.
 - c. Повышения точности измерений.
 - d. Все, перечисленное выше.
5. Функция прокрутки развертки используется для:
 - a. Масштабирования сигналов на экране.
 - b. Обнаружения синусоидальных сигналов.
 - c. Совмещения развертки сигнала с горизонтальной осью шкалы в аналоговых осциллографах.
 - d. Измерения длительности импульса.
6. Регулятор чувствительности используется для:
 - a. Масштабирования развертки по вертикали.
 - b. Перемещения развертки по вертикали.
 - c. Ослабления или усиления входного сигнала.
 - d. Установки значения напряжения, соответствующего каждому делению.
7. Соединение входа системы вертикального отклонения с землей приводит к следующему:
 - a. Отключает входной сигнал от осциллографа.
 - b. Приводит к появлению горизонтальной линии в режиме автоматического запуска.
 - c. Позволяет увидеть, где на экране находится уровень нуля.
 - d. Все, перечисленное выше.
8. Запуск необходима для:
 - a. Стабилизации на экране периодических сигналов.
 - b. Захвата однократных сигналов.
 - c. Маркировки определенной точки захваченного сигнала.
 - d. Все, перечисленное выше.
9. Разница между автоматическим и нормальным режимами запуска заключается в том, что:
 - a. В нормальном режиме запуск осуществляется однократно, а затем останавливается.
 - b. В нормальном режиме запуск происходит только тогда, когда сигнал достигает уровня запуска; в противном случае экран остается пустым.
 - c. В автоматическом режиме развертка работает постоянно, даже без сигнала запуска.
 - d. Все, перечисленное выше.
10. Режим захвата, максимально снижающий шум периодического сигнала, это:
 - a. Режим выборки.
 - b. Режим пикового детектора.
 - c. Режим огибающей.
 - d. Режим усреднения.

11. С помощью осциллографа можно измерять два основных параметра:
- Время и частоту.
 - Время и напряжение.
 - Напряжение и длительность импульса.
 - Длительность импульса и сдвиг фазы.
12. Если выбрана чувствительность 0,5 В/дел, максимальное значение сигнала, который поместится на экране (размером 8 x 10 делений), составит:
- 62,5 мВ (пик-пик).
 - 8 В (пик-пик).
 - 4 В (пик-пик).
 - 0,5 В (пик-пик).
13. Если выбрана скорость развертки 0,1 мс/дел, то время, соответствующее ширине экрана, равно:
- 0,1 мс
 - 1 мс
 - 1 с
 - 0,1 кГц
14. Длительность импульса принято измерять:
- По уровню 10% от полного размаха импульса.
 - По уровню 50% от полного размаха импульса.
 - По уровню 90% от полного размаха импульса.
 - Между уровнями 10% и 90% от полного размаха импульса.
15. Вы подключили пробник к исследуемой схеме, но на экране ничего не появилось. Вы должны:
- Убедиться, что яркость экрана не установлена на минимум.
 - Убедиться, что осциллограф настроен на отображение того канала, к которому подключен пробник.
 - Выбрать автоматический режим запуска, поскольку в нормальном режиме экран может оставаться пустым.
 - Выбрать для входа режим связи по переменному току и установить максимальное значение Вольт/деление, поскольку большое постоянное напряжение сигнала может вывести его развертку за пределы верхней или нижней границы экрана.
 - Убедиться, что пробник не закорочен и контакт «земли» подключен правильно.
 - Убедиться, что осциллограф запускается от канала, на который подан сигнал.
 - Все, перечисленное выше.

Карта ответов

В этом разделе приведены ответы на письменные упражнения из предыдущего раздела.

Часть I А. Проверка знания терминов

1. L	5. D	9. G	13. O
2. M	6. J	10. F	14. I
3. P	7. E	11. H	15. K
4. N	8. C	12. Q	16. B
			17. A

Часть I В. Проверка практических знаний

1. D	3. D	5. D	7. A
2. B,D	4. C	6. A,B	8. A,B,D
			9. B

Часть II А. Проверка знания терминов

1. G	4. H	7. J	10. F
2. A	5. B	8. I	11. K
3. L	6. D	9. C	12. E

Глоссарий

А

Амплитуда	Наибольшее отклонение периодически изменяющейся величины от её нулевого значения. В электронике обычно рассматривается амплитуда напряжения или тока.
Амплитудно-частотная характеристика	Амплитудно-частотная характеристика осциллографа определяет зависимость точности представления амплитуды входного сигнала от частоты. Для достижения минимальной погрешности важно, чтобы осциллограф имел плоскую АЧХ во всей полосе пропускания.
Аналоговый осциллограф	Прибор, отображающий форму сигнала за счет подачи входного сигнала (обработанного и усиленного) на систему вертикального отклонения электронного луча, перемещающегося по экрану электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) слева направо. Нанесенный на ЭЛТ слой люминофора создает светящуюся линию вдоль траектории луча.
Аналоговый сигнал	Сигнал, представляющий собой непрерывно меняющееся напряжение.
Аналого-цифровой преобразователь (АЦП)	Цифровой электронный компонент, преобразующий электрический сигнал в дискретные двоичные значения.

В

Вертикальная чувствительность	Величина, показывающая, какая амплитуда входного сигнала (системы вертикального отклонения) приходится на одно деление вертикальной шкалы; измеряется обычно в милливольт на деление (мВ/дел).
Вертикальное разрешение (АЦП)	Мера точности аналого-цифрового преобразователя (АЦП) цифрового осциллографа, который преобразует входное напряжение в численные значения, выраженная в битах. Метод расчета, например, в режиме высокого разрешения, который может повысить эффективное разрешение.
Волна	Общий термин, обозначающий периодически повторяющийся процесс. Распространенные типы волн включают синус, меандр, прямоугольник, пилу, треугольник, перепад, импульс. Волна может быть периодической, непериодической, синхронной, асинхронной.
Вольт	Единица измерения разности электрических потенциалов.
Выборка в реальном времени	Режим выборки, в котором осциллограф делает максимальное число выборок за время одного цикла захвата. Идеально подходит для сигналов, частотный диапазон которых не превышает половину максимальной частоты дискретизации осциллографа.
Выборка в эквивалентном масштабе времени	Режим выборки, в котором цифровой осциллограф строит изображение повторяющегося сигнала путем захвата небольшой доли информации в каждом периоде. Существует два типа такой выборки: произвольная и последовательная.

Г

Генератор развертки	Схема осциллографа, которая формирует сигнал управления разверткой
Герц (Гц)	Один период в секунду; единица измерения частоты.
Гигагерц (ГГц)	1 000 000 000 Гц; единица измерения частоты.
Глитч	Высокочастотная перемежающаяся помеха.
Горизонтальная развертка	Действие системы горизонтального отклонения, необходимое для построения на экране формы сигнала.
Градации яркости	Информация о частоте появления, важная для понимания реального поведения сигнала.

Д

Датчик	Устройство, преобразующее некоторую физическую величину, например, звук, давление, деформацию или яркость в электрический сигнал.
Деление	Измерительная разметка на координатной сетке осциллографа, состоящая из основных и малых делений.
Дискретизация	Преобразование входного аналогового сигнала в набор дискретных значений для сохранения, обработки и/или отображения. Бывает двух типов: с выборкой в реальном времени и эквивалентной выборкой.

Длина записи	Число точек сигнала, используемых для создания записи сигнала.
Длительность импульса	Время, в течение которого уровень сигнала меняется от низкого до высокого и возвращается снова к низкому уровню; обычно измеряется по уровню 50% от амплитуды.
Длительность фронта	Время, необходимое сигналу для перехода от низкого уровня к высокому. Обычно измеряется между 10% и 90% уровня.
З	
Заземление	Проводник, соединяющий электрические цепи с землей.
Запуск по нарастанию или спаду	Вид наклона входного сигнала схемы запуска, при котором будет сформирован сигнал запуска.
Земля	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проводник, с помощью которого электрическая цепь или ее эквивалент соединяется с землей для установки и поддержания опорного уровня напряжения. 2. Точка схемы с нулевым опорным потенциалом.
И	
Импульс	Широко распространенная форма сигнала с коротким фронтом, некоторой длительностью и коротким спадом.
Интерполяция	Метод «соединения точек», используемый для построения развертки быстрых сигналов по нескольким имеющимся точкам. Бывает двух типов: линейная и $\sin x/x$.
Источник сигнала	Контрольно-измерительный прибор, используемый для подачи сигнала на вход исследуемой цепи; сигнал с выхода этой цепи подается на осциллограф. Известен также, как генератор сигналов.
К	
Килогерц (кГц)	1000 Герц; единица измерения частоты.
Компенсация	Настройка пробника с аттенуатором 10X, согласующая электрические характеристики пробника с электрическими характеристиками осциллографа
Координатная сетка	Линии разметки на экране осциллографа для измерения кривых.
Кривая	Отображаемая форма сигнала на экране ЭЛТ, создаваемая движущимся электронным лучом.
Курсор	Экранный маркер, который можно совмещать с сигналом для выполнения точных измерений.
Л	
Логический анализатор	Прибор, используемый для отображения изменения логических состояний нескольких цифровых сигналов во времени. Анализирует цифровые данные и может представить их в виде исполняемой в реальном времени программы, потока значений, последовательности состояний и т.п.
М	
Меандр	Широко распространенный сигнал прямоугольной формы, у которого длительность импульса и длительность паузы равны.
Мегавыборки в секунду (Мвыб/с)	Единица измерения частоты дискретизации, равная одному миллиону выборок в секунду.
Мегагерц (МГц)	1 000 000 Герц; единица измерения частоты.
Микросекунда (мкс)	Единица измерения времени, равная 0,000001 секунды.
Миллисекунда (мс)	Единица измерения времени, равная 0,001 секунды.

Н

Нагрузка	Нежелательное влияние пробника и осциллографа на исследуемую цепь, вызывающее искажение сигнала.
Нагрузка цепи	Нежелательное влияние пробника и осциллографа на исследуемую цепь, вызывающее искажение сигнала.
Наклон	Наклон графика или кривой на экране осциллографа, отношение вертикального расстояния к горизонтальному. Положительный наклон увеличивается слева направо, а отрицательный – уменьшается слева направо
Наносекунда (нс)	Единица измерения времени, равная 0,000000001 секунды.
Напряжение	Разность электрических потенциалов между двумя точками; измеряется в Вольтах.

О

Обнаружение пикового значения	Используемый в цифровых осциллографах режим захвата, позволяющий увидеть мелкие подробности сигнала, которые, в противном случае, легко могут быть незамечены. Особенно полезен для исследования коротких, сильно разнесенных во времени импульсов.
Огибающая	Кривая, представляющая собой контур вдоль максимальных и минимальных значений сигнала, полученных в результате захвата нескольких периодов сигнала.
Однократный запуск	Режим запуска, в котором развертка запускается один раз и потом останавливается.
Однократный захват	Захваченный осциллографом однократный сигнал (например, переходной процесс).
Ослабление	Уменьшение амплитуды сигнала при прохождении его из одной точки в другую.
Осциллограф	Прибор, используемый для отображения изменений напряжения во времени. Слово «осциллограф» происходит от слова «oscillate» (колебаться), поскольку осциллографы часто используются для наблюдения электрических колебаний.
Осциллограф с цифровым люминофором (DPO)	Разновидность цифрового осциллографа, создающая изображение, близкое к изображению аналоговых осциллографов, одновременно предлагая все возможности цифрового осциллографа (сохранение сигнала, автоматические измерения и т.п.). DPO использует архитектуру параллельной обработки для передачи сигнала на растровый дисплей, который отображает развертку сигнала с градациями яркости в режиме реального времени. DPO отображает сигналы в трех измерениях: амплитуда, время и распределение амплитуды во времени.
Осциллограф смешанных сигналов (MSO)	Разновидность цифрового осциллографа, объединяющая базовые функции 16-канального логического анализатора с характеристиками 4-канального осциллографа с цифровым люминофором.
Ось Z	Параметр изображения осциллографа, который позволяет отображать изменения яркости по мере формирования кривой.
От пика до пика	Напряжение, измеренное от точки с максимальным уровнем до точки с минимальным уровнем.
Оцифровка	Процесс дискретизации сигнала аналого-цифровым преобразователем (АЦП) в дискретные моменты времени и преобразования напряжений сигнала в этих точках в численные значения, называемые выборками.

П

Пачка импульсов	Набор импульсов, следующих с небольшой задержкой друг за другом.
Переменный ток	Сигнал, периодически меняющийся во времени. Также, тип связи по входу осциллографа
Переходной процесс	Однократный сигнал помехи, возникающий в результате реакции динамической системы на приложенное к ней внешнее воздействие.
Период	Время, необходимое сигналу для выполнения одного колебательного цикла. Период равен $1/\text{частота}$.
Пиковое значение (V_p)	Максимальный уровень напряжения, отсчитываемый от опорного нулевого уровня.
Пилообразный сигнал	Периодический сигнал, уровень которого линейно нарастает от начального до конечного значения, а затем мгновенно возвращается к начальному.

Погрешность по горизонтали (развертка)	Погрешность, с которой система горизонтального отклонения отображает временные характеристики сигнала. Выражается обычно в процентах.
Погрешность усиления	Ошибка, возникающая при ослаблении или усилении сигнала системой вертикального отклонения. Выражается обычно в процентах.
Полоса пропускания	Диапазон частот, обычно ограниченный спадом АЧХ на 3 дБ.
Постоянный ток	Сигнал, не меняющийся во времени. Также, тип связи по входу осциллографа.
Пробник	Устройство для подачи сигнала на вход осциллографа. Обычно имеет заостренный металлический наконечник для обеспечения электрического контакта с элементами цепи, провод, подключенный к «земле» схемы и гибкой кабель для передачи сигнала на осциллограф.
Р	
Развертка с задержкой	Развертка, которая запускается с некоторой задержкой относительно основной развертки. Позволяет лучше рассмотреть некоторые события, а также увидеть участки осциллограммы, недоступные с помощью одной только основной развертки.
Растр	Тип отображения.
Режим XY	Метод измерения, в котором один сигнал, как и всегда, подается на вход системы вертикального отклонения, а второй сигнал – на вход системы горизонтального отклонения. Позволят отображать фигуры Лиссажу.
Режим запуска	Режим, определяющий, будет ли осциллограф отображать развертку при отсутствии условий запуска. Основными режимами запуска являются «Нормальный» и «Автоматический».
Режим захвата	Режим, определяющий способ получения точек осциллограммы из выборок сигнала. Примеры режимов захвата – режим выборки, пикового детектора, высокого разрешения,гибающей, усреднения и база данных сигналов.
С	
Связь	Метод соединения между собой двух цепей. Соединение, пропускающее переменную и постоянную составляющие сигнала, называется связью по постоянному току. Соединение, пропускающее только переменную составляющую сигнала (через конденсатор или трансформатор), называется связью по переменному току.
Сдвиг фазы	Сдвиг по времени между двумя одинаковыми по другим параметрам сигналами.
Синусоида	Широко распространенная форма сигнала, описываемая тригонометрической функцией $\sin(x)$.
Скорость записи	Способность аналогового осциллографа строить кривую изменения сигнала от одной точки до другой. Эта способность ограничена для редко повторяющихся сигналов, имеющих быстро изменяющиеся детали, например, для цифровых логических сигналов.
Скорость захвата сигнала	Определяет скорость, с которой осциллограф регистрирует сигналы. Измеряется в осциллограммах в секунду.
Скорость развертки	Параметр осциллографа, определяющий временные характеристики системы горизонтального отклонения. Скорость развертки выражается в секундах на деление.
Схема запуска	Схема, в определенный момент времени формирующая сигнал запуска для генератора развертки.
Т	
Точка выборки	Необработанные данные с АЦП, используемые для расчета точек развертки.
Точка развертки	Цифровое значение, представляющее напряжение сигнала в указанный момент времени; вычисляется на основании точек выборки и сохраняется в памяти.

У

Удержание запуска	Функция, позволяющая настроить период времени после момента запуска, в течение которого запуск больше не выполняется.
Упреждающий запуск	Способность цифрового осциллографа показывать форму сигнала непосредственно перед сигналом запуска. Позволяет задавать ширину окна обзора исследуемого сигнала как после точки запуска, так и до нее.
Уровень запуска	Уровень, которого должен достичь входной сигнал схемы запуска, чтобы был сформирован сигнал запуска.
Усиление	Увеличение амплитуды сигнала при передаче его из одной точки в другую.
Усреднение	Метод обработки, используемый цифровыми осциллографами для уменьшения шума отображаемого сигнала.

Ф

Фаза	Этап колебательного процесса от начала одного периода до начала следующего периода, выраженный в градусах.
Фокусировка	Орган управления аналогового осциллографа, настраивающий четкость изображения на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ).
Форма сигнала	Графическое представление изменяющегося со временем напряжения.
Целостность сигнала	Точность реконструкции сигнала, определяемая системными и техническими характеристиками осциллографа, а также характеристиками пробника, используемого для захвата сигнала.

Ц

Цифровая обработка сигнала	Применение математических алгоритмов для повышения точности измерения параметров сигнала.
Цифровой запоминающий осциллограф (DSO)	Разновидность цифрового осциллографа, регистрирующая сигнал путем дискретизации (с помощью аналого-цифрового преобразователя). Использует архитектуру последовательной обработки для управления выборкой, интерфейсом пользователя и растровым дисплеем.
Цифровой осциллограф	Разновидность осциллографа, использующая аналого-цифровой преобразователь (АЦП) для преобразования измеренного напряжения в цифровую информацию. К цифровым осциллографам относятся: цифровые запоминающие осциллографы, осциллографы с цифровым люминофором, осциллографы смешанных сигналов и цифровые стробоскопические осциллографы.
Цифровой сигнал	Сигнал, выборки параметров которого представлены дискретными двоичными числами.
Цифровой стробоскопический осциллограф	Разновидность цифрового осциллографа, использующая для захвата и отображения сигнала метод выборки в эквивалентном масштабе времени. Идеально подходит для точной регистрации сигналов, частотные составляющие которых значительно превышают частоту дискретизации осциллографа.

Ч

Частота	Число повторений сигнала за одну секунду, измеряется в герцах (Гц). Частота равна 1/период.
Частота дискретизации	Частота, с которой цифровой осциллограф делает выборки сигнала. Измеряется в выборках в секунду (выб/с).

Ш

Шум	Нежелательное напряжение или ток в электрической цепи.
------------	--

Э

Эффективное число разрядов	Мера способности цифрового осциллографа точно воспроизводить форму синусоидального сигнала. Эта величина характеризует погрешность реального АЦП осциллографа относительно «идеального» АЦП.
-----------------------------------	--