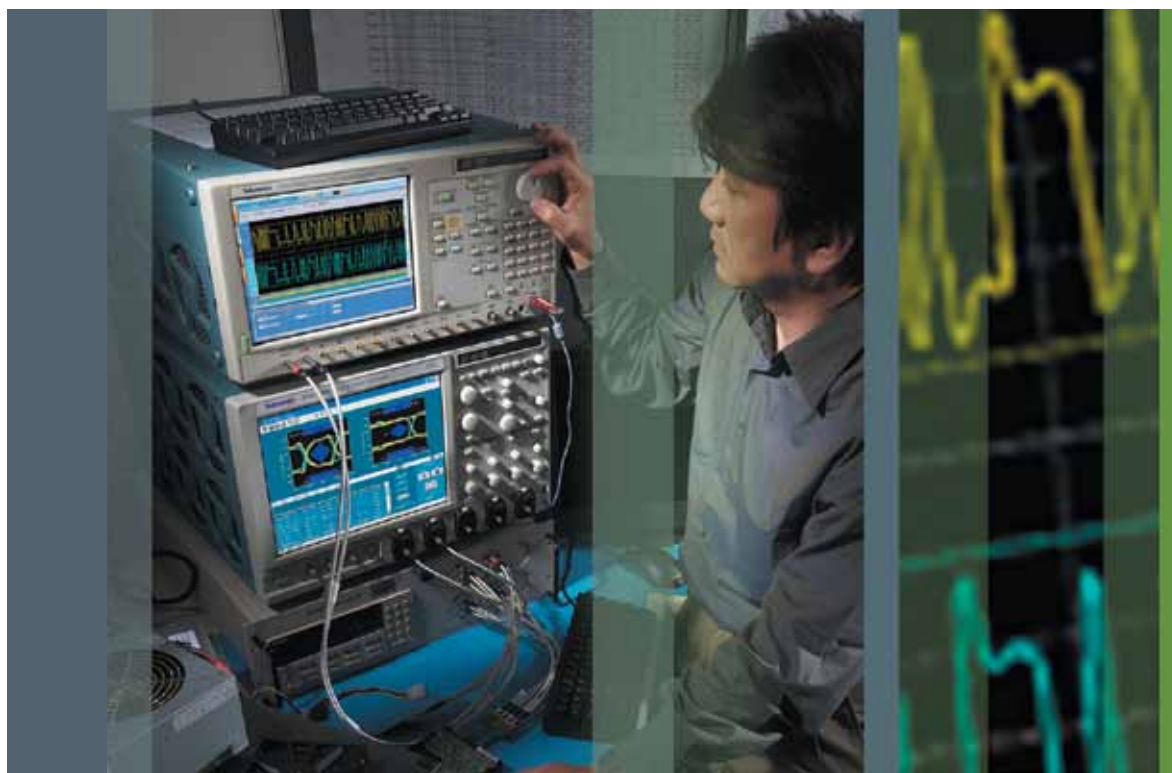


Генераторы сигналов от А до Я



Содержание

Полная измерительная система	3
Генератор сигналов	4
Аналоговый или цифровой	5
Основные применения генератора сигналов	6
Проверка	6
Тестирование цифровых модульных передатчиков и приемников	6
Измерение характеристик	6
Тестирование ЦАП и АЦП	6
Тестирование в предельных режимах	6
Тестирование коммуникационных приемников	6
Методы генерации сигналов	6
Формы колебаний	7
Характеристики колебаний	7
Амплитуда, частота и фаза	7
Длительность фронта и спада	7
Длительность импульса	8
Смещение	9
Дифференциальные и несимметричные сигналы	9
Основные формы сигналов	10
Синусоидальные сигналы	10
Меандры и прямоугольные сигналы	10
Пилообразные и треугольные сигналы	11
Перепады и импульсы	11
Сложные сигналы	12
Модулированные сигналы	12
Сви́пирование по частоте	13
Цифровые последовательности и кодированные цифровые сигналы	13
Типы генераторов сигнала	14
Генераторы аналоговых и смешанных сигналов	15
Типы генераторов аналоговых и смешанных сигналов ...	15
Генераторы сигналов произвольной формы	15
Генераторы сигналов произвольной формы и стандартных функций (AFG)	15
Генераторы сигналов произвольной формы (AWG)	17
Системы и органы управления генератора смешанных сигналов	19
Описание параметров	21
Объем памяти (длина записи)	21
Частота дискретизации (такты́вая частота)	21
Полоса пропускания	23
Вертикальное разрешение (по амплитуде)	23
Горизонтальное разрешение (по времени)	24
Сдвиг области	24
Число выходных каналов	25
Цифровые выходы	25
Фильтрация	26
Планирование последовательностей	26
Встроенные редакторы	28
Функции импорта данных	29
Создание сигналов с помощью генераторов смешанных сигналов	30
Создание сложных сигналов	31
ArbExpress™	31
SerialXpress®	32
RFXpress™	33
Источники логических сигналов	34
Типы источников логических сигналов	34
Генераторы импульсных последовательностей (PPG) ...	34
Генераторы временных соотношений (DTG)	34
Системы и органы управления источника логических сигналов	39
Описание параметров	40
Скорость передачи данных	40
Объем последовательностей	40
Вертикальное разрешение (по амплитуде)	40
Горизонтальное разрешение (по времени)	40
Число выходных каналов	41
Планирование последовательностей	41
Встроенные редакторы	41
Функции импорта данных	41
Создание сигналов с помощью источника логических сигналов	42
Заключение	43
Глоссарий	44

Полная измерительная система

Если мы говорим о приборах для измерения параметров электронного оборудования, то первое, что приходит в голову, это, как правило, осциллограф или логический анализатор. Однако эти приборы способны выполнять измерения лишь в том случае, если на них поступает сигнал. И можно привести множество примеров, когда такой сигнал отсутствует, пока на исследуемое устройство не будет подан внешний сигнал.

Например, тензометрический усилитель не создает сигнал – он просто усиливает сигнал, поступающий от датчика. Аналогичным образом, мультиплексор, подключенный к цифровой шине адреса, не является источником сигналов; он лишь перенаправляет сигнальный трафик, поступающий от счетчиков, регистров и других элементов. Однако усилители и мультиплексоры обязательно должны тестироваться до того, как они начнут работать в составе соответствующей системы. Чтобы использовать регистрирующий прибор для оценки поведения таких устройств, нужно подать им на вход воздействующий сигнал.

Приведем еще один пример. Инженерам нужно измерить характеристики разрабатываемой схемы и убедиться, что она соответствует требованиям технического задания во всем рабочем диапазоне и за его пределами. Такое измерение называется испытанием в предельно допустимых режимах. Такая измерительная задача требует законченного решения – решения, обеспечивающего не только измерение, но и создание необходимых сигналов. Набор инструментов для измерения характеристик цифровых схем отличается от своего собрата в сфере аналоговых и смешанных сигналов, но в любом случае такой набор должен включать источники воздействующего сигнала и регистрирующие приборы.

Генератор сигнала, или источник сигнала, представляет собой источник воздействующего сигнала, который в паре с регистрирующим прибором позволяет создать законченное измерительное решение. Эти два прибора окружают исследуемое устройство (ИУ) с двух сторон – со стороны входа и со стороны выхода, как показано на рис. 1. В зависимости от конфигурации, генератор сигналов может создавать воздействующие сигналы в виде аналоговых сигналов, цифровых последовательностей, модулированных сигналов, преднамеренных искажений, шума и многого другого. Для выполнения эффективных измерений в ходе разработки, определения характеристик или диагностики, важно правильно выбрать оба элемента этого решения.



Рис. 1. Для большинства измерений требуется решение, состоящее из генератора сигналов и регистрирующего прибора. Цепь запуска облегчает захват выходного сигнала исследуемого устройства.

Целью настоящего пособия является пояснение роли генераторов сигнала, их вклада в измерительное решение в целом и способов их применения. Понимание особенностей различных типов генераторов и их возможностей очень важно для исследователей, инженеров и техников. Выбор правильного инструмента облегчает работу и позволяет быстро получить достоверные результаты.

Познакомившись с этим пособием, вы сможете:

- описать работу генератора сигналов;
- описать типы электрических сигналов;
- описать разницу между генераторами смешанных сигналов и генераторами логических сигналов;
- понять основные органы управления генератором;
- создать простые сигналы.

Если вам понадобится дополнительная помощь, или у вас возникнут вопросы и комментарии, обратитесь к представителю компании Tektronix или посетите сайт www.tektronix.com/signal_generators.

Генератор сигналов

Генератор сигналов функционирует в полном соответствии со своим названием: генерирует сигналы, используемые в качестве воздействующих сигналов в ходе измерений параметров электронных устройств. Большинству схем требуется входной сигнал с изменяющейся во времени амплитудой. Такой сигнал может быть истинным биполярным сигналом переменного тока¹ (пиковые значения которого попеременно поднимаются выше или опускаются ниже нулевого уровня), или он может колебаться относительно некоторого уровня постоянного напряжения (положительного или отрицательного). Форма сигнала может представлять собой синусоиду или другую периодическую функцию, цифровой импульс, двоичную последовательность или полностью произвольную форму.

Генератор сигналов может создавать «идеальные» сигналы или добавлять к сигналу известные искажения (или ошибки) нужной величины и типа (см. рис. 2). Эта возможность является одним из главных достоинств генератора сигналов, поскольку часто невозможно создать предсказуемые искажения в нужном месте и в нужное время с помощью самой исследуемой схемы. Реакция исследуемого устройства на эти искажения демонстрирует его способность работать в неблагоприятных условиях, выходящих за пределы нормального режима.

¹ Обычно под сигналом «переменного тока» понимается сигнал, принимающий положительные и отрицательные значения относительно уровня 0 В и, следовательно, изменяющий направление тока один раз за период. Однако в данном документе под переменным током понимается любой изменяющийся сигнал, независимо от его привязки к нулевому уровню. Например, сигнал, колеблющийся между уровнями +1 В и +3 В, считается сигналом переменного тока, несмотря на то, что ток всегда течет в одном и том же направлении. Большинство генераторов могут генерировать сигналы, колеблющиеся относительно нулевого уровня (истинные сигналы переменного тока), или сигналы со смещением (с постоянной составляющей).

Аналоговый или цифровой

Большинство современных генераторов опирается на цифровые технологии. Многие из них удовлетворяют и цифровым, и аналоговым требованиям, хотя наиболее эффективным обычно является решение, возможности которого оптимизированы для решаемой задачи – аналоговой или цифровой.

Генераторы сигналов произвольной формы (AWG) и стандартных функций предназначены в первую очередь для создания аналоговых и смешанных сигналов. Для создания и изменения сигналов практически любой мыслимой формы эти приборы используют метод дискретизации. Обычно такие генераторы имеют от 1 до 4 выходов. В некоторых AWG эти главные аналоговые выходы дополняются отдельными выходами маркеров (для облегчения синхронизации с внешними приборами) и синхронными цифровыми выходами, на которые последовательно выводятся выборки сигнала в цифровой форме.

Генераторы цифровых сигналов (логические источники) включают два класса приборов. Импульсные генераторы создают поток прямоугольных сигналов или импульсов на небольшом числе выходов, обычно с очень высокой частотой. Как правило, эти приборы используются для испытаний высокоскоростного цифрового оборудования. Генераторы цифровых последовательностей, известные также, как генераторы данных, обычно создают 8, 16 и более синхронных потоков импульсов в качестве воздействующих сигналов для подачи на шины компьютеров, цифровые телекоммуникационные устройства и т.п.

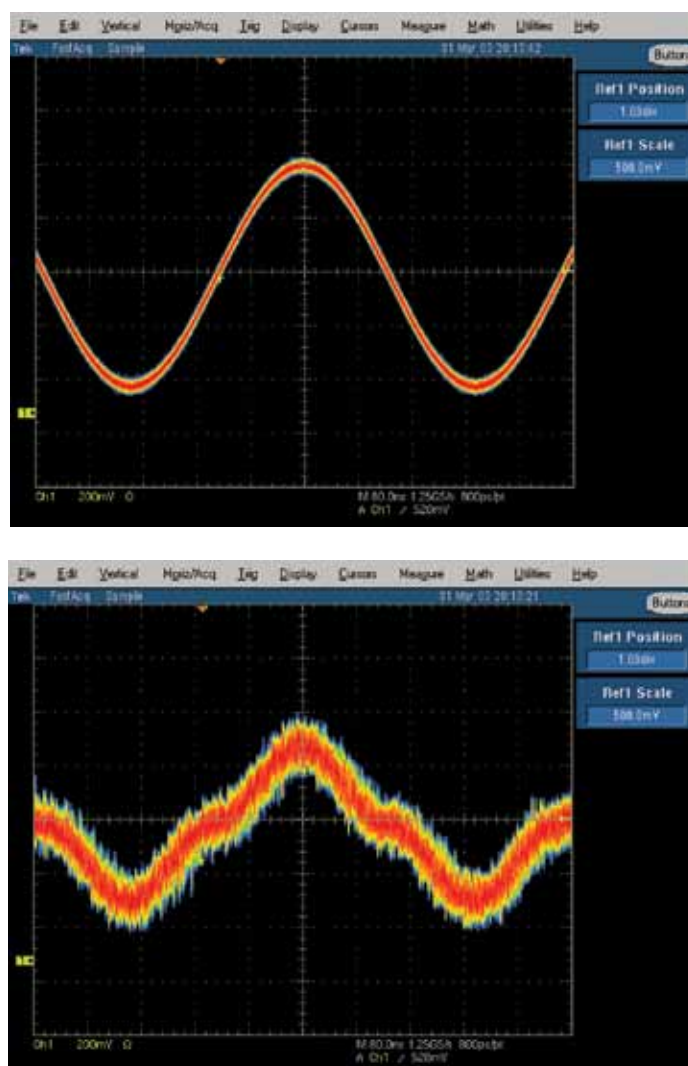


Рис. 2. Идеальный сигнал (вверху) и реальный сигнал (внизу). Универсальный генератор сигналов может вносить контролируемые искажения для тестирования и измерения параметров устройств в предельных режимах работы.

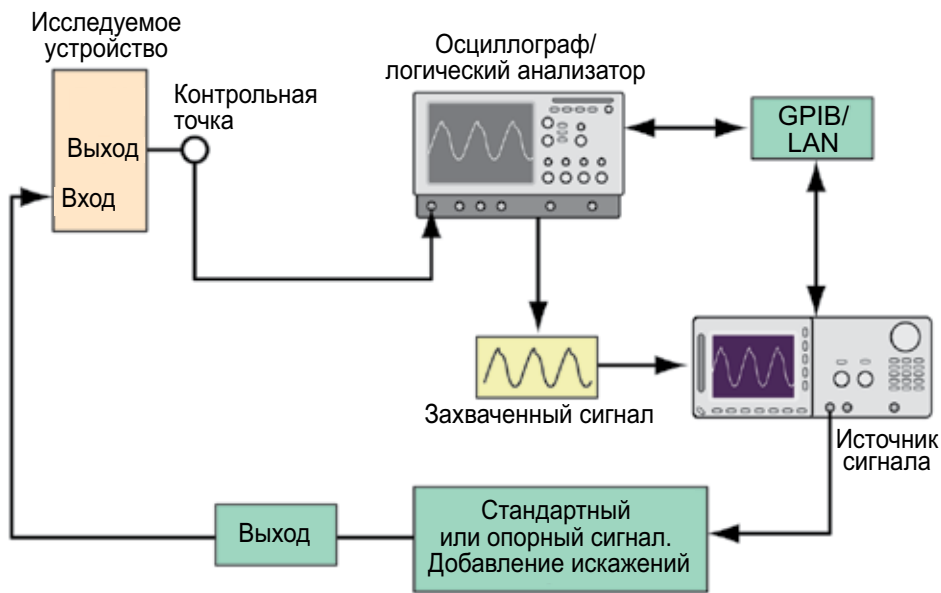


Рис. 3. Генераторы могут использовать стандартные, созданные пользователем или захваченные сигналы, при необходимости добавляя искажения для специальных случаев тестирования.

Основные применения генератора сигналов

Генераторы сигналов находят сотни разных применений, но в контексте электронных измерений их можно разбить на три основные категории: проверка, измерение характеристик и тестирование в предельных режимах. Ниже приведены некоторые примеры такого применения:

Проверка

Тестирование цифровых модульных передатчиков и приемников

Создателям новых передатчиков и приемников для беспроводных устройств приходится имитировать модулирующие сигналы IQ – идеальные и с искажениями – для проверки соответствия новым или специализированным стандартам беспроводной связи. Некоторые генераторы сигналов произвольной формы могут создавать необходимые для этого сигналы с малыми искажениями и высоким разрешением со скоростями до 1 Гбит/с по двум независимым каналам – один для сигнала “I”, а другой для сигнала “Q”.

Иногда для тестирования приемника нужен реальный ВЧ сигнал. В этом случае, для прямого синтеза такого сигнала можно использовать генераторы сигналов произвольной формы с частотой дискретизации до 200 Гигавыборок/с.

Измерение характеристик

Тестирование ЦАП и АЦП

Вновь разрабатываемые цифро-аналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые (АЦП) преобразователи необходимо подвергать всестороннему тестированию для определения пределов линейности, монотонности и искажений. Современные AWG могут создавать одновременно синфазные аналоговые и цифровые сигналы для таких устройств со скоростями до 1 Гбит/с.

Тестирование в предельных режимах

Тестирование коммуникационных приемников

Инженерам, работающим с последовательными цифровыми потоками (широко применяемыми в цифровых коммуникационных шинах и усилителях дисковых накопителей), нужно подавать на такие устройства искаженные сигналы, в частности, сигналы с джиттером и с нарушенными временными соотношениями. Хорошие генераторы сигналов могут избавить инженера от долгих часов расчетов, предлагая эффективные встроенные средства создания и редактирования джиттера. Эти приборы могут смещать фронты сигналов на столь малые величины, как 200 фс (0,2 пс).

Методы генерации сигналов

Существует несколько способов создания сигналов с помощью генераторов. Выбор метода зависит от имеющейся информации о исследуемом устройстве и от его входных характеристик, а также от того, нужно ли вносить в сигнал искажения или ошибки и т.п. Современные производительные генераторы предлагают, как минимум, три способа получения сигналов:

- **Создание:** создание совершенно новых сигналов для моделирования и тестирования
- **Репликация:** синтез недоступных реальных сигналов (захваченных с помощью осциллографа или логического анализатора)
- **Генерация:** создание идеальных или искаженных опорных сигналов для промышленных стандартов с указанными допусками

Формы колебаний

Характеристики колебаний

«Форму колебаний» можно определить, как последовательность изменяющихся значений, повторяющаяся с определенной периодичностью. В природе колебания встречаются на каждом шагу: звуковые колебания, биотоки мозга, океанские волны, световые волны, колебания напряжения и многое другое. Все они представляют собой периодически повторяющиеся процессы. Обычно генераторы сигналов создают электрические колебания (как правило, колебания напряжения), которые повторяются с заданной периодичностью.

Время полного повторения волны называется «периодом». Форма колебаний является графическим представлением волнового процесса – изменения его во времени. График волны напряжения представляет собой традиционную диаграмму в декартовых координатах, по горизонтальной оси которой отложено время, а по вертикальной – напряжение. Заметьте, что некоторые приборы могут захватывать или создавать волны тока, мощности и других величин. В настоящем документе мы сосредоточимся на традиционных волнах напряжения.

Амплитуда, частота и фаза

Формы колебаний имеют много характеристик, но основными являются амплитуда, частота и фаза.

- **Амплитуда:** определяет значение напряжения сигнала. Амплитуда переменного сигнала постоянно изменяется (в русскоязычной литературе амплитудой называют размах или максимальное значение переменной величины, прим. пер.). Генераторы сигналов позволяют задать диапазон напряжений, например, от -3 до $+3$ вольт. В результате будет генерироваться сигнал, изменяющийся между этими двумя значениями, причем скорость его изменения зависит от формы волны и от частоты.
- **Частота:** скорость повторения периодического сигнала. Частота измеряется в Герцах (Гц), или в периодах в секунду. Частота является обратной величиной от периода колебаний, который равен времени между двумя аналогичными значениями в соседних колебаниях. Чем выше частота, тем меньше период.
- **Фаза:** теоретически, это положение начала периода колебаний по отношению к точке 0 градусов. Практически, фазой называют смещение начала периода колебания по отношению к опорному колебанию или опорной метке времени.

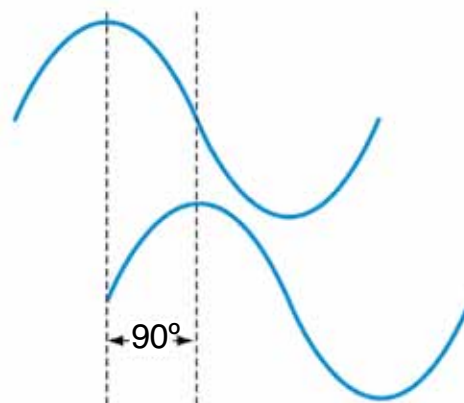


Рис. 4. Сдвиг фазы (известный также, как задержка) описывает сдвиг по времени между двумя сигналами. Обычно фаза выражается в градусах (как показано на рисунке), но в некоторых случаях удобнее использовать время.

Проще всего объяснить понятие фазы на примере синусоидального сигнала. Уровень напряжения синусоидального сигнала математически связан с круговым движением. Подобно полному обороту, один период синусоиды равен 360 градусам. Фазовый угол синусоиды описывает прошедшую часть полного периода.

Два сигнала могут иметь одинаковую частоту и амплитуду, но отличаться по фазе. Сдвиг фазы (известный также, как задержка) описывает сдвиг по времени между двумя аналогичными во всех других отношениях сигналами, как показано на рис. 4. В электронике фазовые сдвиги являются широко распространенным показателем.

Амплитуда, частота и фаза являются основными характеристиками сигнала, используемыми генератором для оптимизации сигнала в соответствии с требованиями практически любого приложения. Кроме того, имеются и другие характеристики, дополнительно определяющие сигнал, которые также могут регулироваться во многих генераторах.

Длительность фронта и спада

Длительности фронта и спада обычно описывают поведение импульсных и прямоугольных сигналов. Эти параметры описывают время, необходимое сигналу для перехода из одного состояния в другое. В современных цифровых схемах эти значения измеряются наносекундами и даже меньшими величинами.

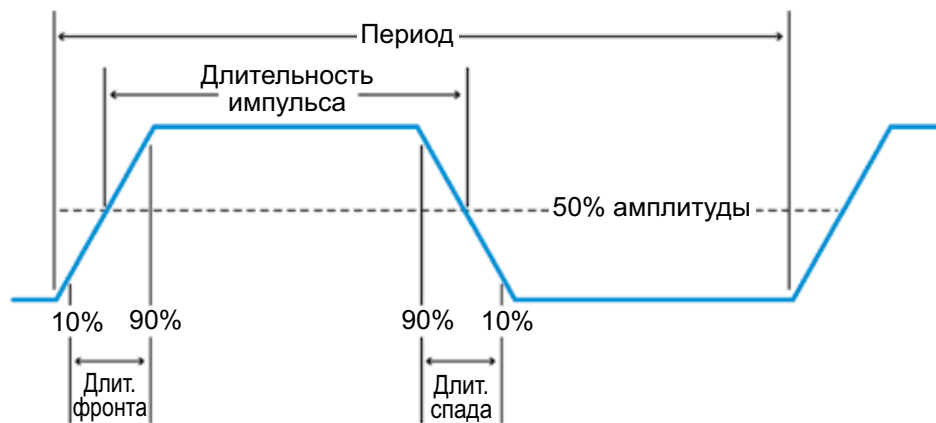


Рис. 5. Основные параметры импульса

Длительность фронта и спада измеряется как время прохождения сигнала между точками, соответствующими 10% и 90% амплитуды (в некоторых случаях используются точки 20% и 80%). На рис. 5 показан типичный импульс и некоторые его характеристики. Примерно такой сигнал вы увидите на экране осциллографа, частота дискретизации которого значительно превышает частоту входного сигнала. При более низких частотах дискретизации сигнал будет выглядеть более «прямоугольным».

В некоторых случаях длительности фронта и спада генерируемых импульсов нужно изменять независимо, например, в импульсах, генерируемых для измерения параметров усилителя с несимметричной скоростью обработки, или для управления временем охлаждения лазера в установке для точечной сварки.

Длительность импульса

Длительностью импульса называется интервал времени между фронтом и спадом. Заметьте, что термин «фронт» может относиться как к положительному перепаду, так и к отрицательному перепаду, что относится и к термину «спад». Другими словами, эти термины определяют порядок следования событий в течение заданного периода, сама же полярность импульса не влияет на определение его фронта или спада. Длительность импульса определяется временем между точками, соответствующими 50% амплитуды фронта и спада.

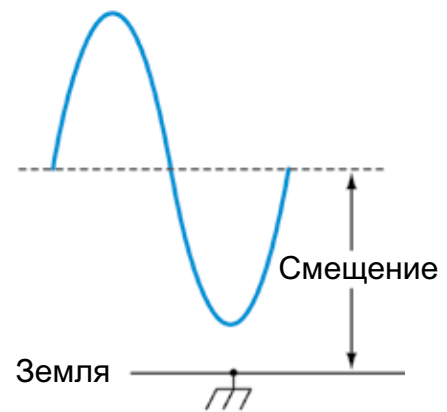


Рис. 6. Смещение описывает постоянную составляющую сигнала, состоящего из суммы постоянного и переменного напряжения.

Другой термин, «коэффициент заполнения», используется для описания относительной длительности высокого и низкого уровня импульса. Например, на рис. 5 показан импульс с коэффициентом заполнения 50% (в русскоязычной литературе используется понятие «скважность» – отношение периода импульса к его длительности, т.е. импульс на рис. 5 имеет скважность 2. Прим. пер.). В отличие от этого, прямоугольный сигнал с периодом 100 нс, активный высокий уровень которого длится 60 нс, будет иметь коэффициент заполнения 60%.

Для лучшего понимания коэффициента заполнения представьте себе исполнительный механизм, который для предотвращения перегрева двигателя подает на двигатель односекундный импульс, после чего делает паузу на три секунды. В результате такой привод простаивает три секунды из каждых четырех – т.е. коэффициент заполнения в этом случае равен 25%.

Смещение

Не все сигналы изменяются симметрично относительно земли (0 В). Напряжением смещения называют напряжение между нулевым уровнем и центральной линией сигнала. В сущности, напряжение смещения равно постоянной составляющей сигнала, состоящего из суммы переменного и постоянного напряжения, как показано на рис. 6.

Дифференциальные и несимметричные сигналы

Дифференциальными сигналами называются сигналы, использующие два комплементарных сигнальных тракта, передающих копии одного и того же сигнала прямой и обратной полярности (относительно земли). Если в течение периода сигнала сигнал одного тракта становится более положительным, то сигнал другого тракта становится в равной степени более отрицательным. Например, если в некоторый момент времени значение сигнала в одном из трактов равно +1,5 В, то значение сигнала в другом тракте будет равно -1,5 В (при условии идеальной синфазности сигналов). Дифференциальная линия хорошо подавляет внешние наводки и шумы, пропуская только полезные сигналы.

На практике более распространена несимметричная конфигурация, в которой используется лишь один тракт прохождения сигнала и земля. На рис. 7 показаны дифференциальный и несимметричный способы передачи сигнала.

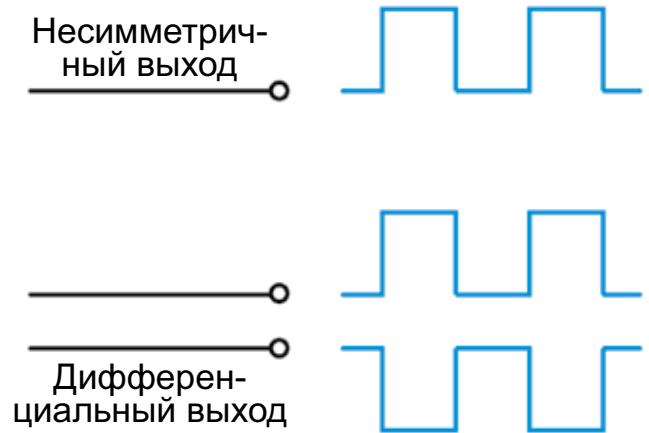


Рис. 7. Несимметричные и дифференциальные сигналы.

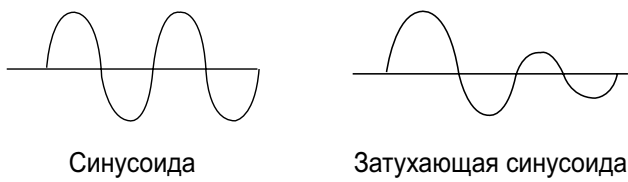


Рис. 8. Синусоида и затухающая синусоида.

Основные формы сигналов

Сигналы могут иметь всевозможные формы. В большинстве электронных приборов используются сигналы одной или нескольких описанных ниже форм, зачастую с добавлением шума или искажений:

- Синусоидальные сигналы
- Меандры и прямоугольные сигналы
- Пилообразные и треугольные сигналы
- Перепады и импульсные сигналы
- Сложные сигналы

Синусоидальные сигналы

Синусоидальные сигналы, вероятно, самые узнаваемые из всех сигналов. Большинство источников питания переменного тока вырабатывают именно синусоидальные сигналы. В обычных бытовых электрических розетках в домах присутствует напряжение синусоидальной формы. И практически всегда синусоидальные сигналы используются для демонстрации законов электротехники в учебных лабораториях. Синусоидальный сигнал описывается простой математической функцией – его форму идеально определяет кривая « $\sin x$ » в пределах 360 градусов.

Специальным случаем синусоиды является затухающая синусоида, которая представляет собой затухающие колебания, возникающие в цепи после подачи на нее импульса.

На рис. 8 приведены примеры синусоидального и затухающего синусоидального сигнала.

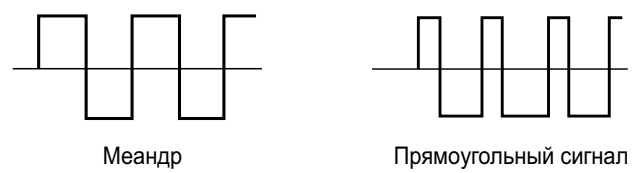


Рис. 9. Меандр и прямоугольный сигнал

Меандры и прямоугольные сигналы

Меандры и прямоугольные сигналы являются базовыми сигналами, составляющими основу всей цифровой электроники, хотя, конечно, они находят применение и в других областях. Сигнал меандр представляет собой напряжение, переключающееся между двумя фиксированными уровнями через равные интервалы времени. Обычно такие сигналы используются для проверки усилителей, которые должны обрабатывать быстрые переходы между двумя уровнями напряжения (т.е. описанные ранее фронты и спады импульсов). Меандр является идеальным сигналом тактовой частоты для цифровых систем – компьютеров, беспроводных коммуникационных устройств, систем ТВ высокой четкости и многих других систем.

Сигнал прямоугольной формы аналогичен по характеристикам меандру, за исключением того, что интервалы высокого и низкого уровня не равны между собой, как описано ранее в пояснении термина «коэффициент заполнения». Примеры меандра и сигнала прямоугольной формы приведены на рис. 9.

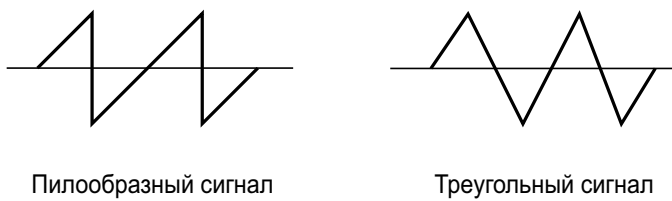


Рис. 10. Пилообразный и треугольный сигнал

Пилообразные и треугольные сигналы

Пилообразные и треугольные сигналы очень похожи на те геометрические формы, от которых произошли их названия. Пилообразный сигнал в каждом периоде линейно нарастает до пикового значения и затем мгновенно спадает. Треугольный сигнал имеет сопоставимые времена нарастания и спада. Часто такие сигналы используются для управления другими напряжениями, например, в аналоговых осциллографах и телевизорах. Пример пилообразного и треугольного сигнала приведен на рис. 10.

Перепады и импульсы

«Перепадом» называют сигнал, демонстрирующий внезапное изменение уровня, например, при замыкании выключателя питания.

«Импульс» непосредственно связан с прямоугольным сигналом. Подобно сигналу прямоугольной формы, он получается путем перехода напряжения вверх и затем вниз, или вниз и затем вверх, между двумя фиксированными уровнями. По своей природе импульсы являются двоичными сигналами и поэтому

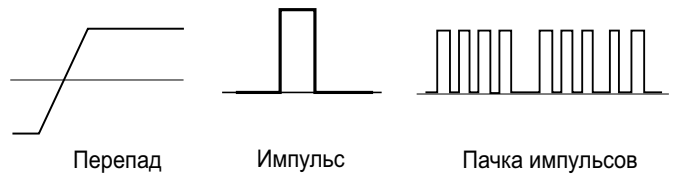


Рис. 11. Перепад, импульс и пачка импульсов

являются основным средством передачи информации (данных) в цифровых системах. Импульс может представлять один бит информации, проходящий через компьютер. Группа совместно передаваемых импульсов образует пачку импульсов. Синхронизированная группа пачек (которая может передаваться параллельно или последовательно) образует цифровую последовательность. Примеры перепада, импульса и пачки импульсов приведены на рис. 11.

Обратите внимание, что хотя цифровые данные представлены обычно импульсами, сигналами прямоугольной формы или меандрами, реальные цифровые сигналы имеют более округлые углы и пологие фронты.

Иногда дефекты цепи приводят к спонтанному возникновению импульсов. Обычно такие переходные сигналы носят непериодический характер и называются «глитчами». Одной из проблем отладки цифровых схем является отделение глитчей от полезных, но узких импульсов данных. И одним из достоинств некоторых типов генераторов является возможность добавления глитчей в пачку импульсов.

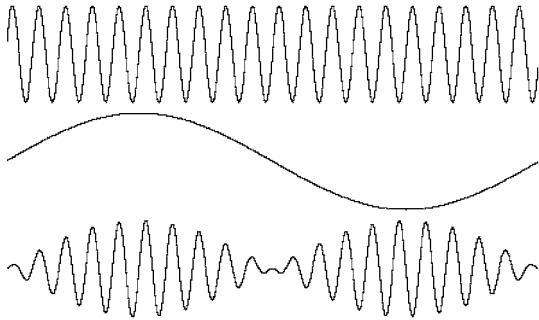


Рис. 12. Амплитудная модуляция

Сложные сигналы

В реальных электронных системах сигналы редко похожи на описанные выше идеальные формы. Только в некоторых случаях сигналы тактовой частоты или немодулированные несущие имеют форму чистого меандра или синусоиды. Большинство других сигналов имеют более сложную форму вследствие наложения искажений (возникающие из-за таких паразитных явлений, как распределенная емкость, взаимовлияние сигналов и многих других) или модуляции. Некоторые сигналы могут содержать элементы синусоид, меандров, перепадов и импульсов.

К сигналам сложной формы относятся:

- сигналы с аналоговой, цифровой, широтно-импульсной и квадратурной модуляцией;
- цифровые последовательности и кодированные цифровые сигналы;
- псевдослучайные потоки битов и слов.

Модулированные сигналы

Изменения амплитуды, фазы и/или частоты модулированных сигналов позволяют наложить низкочастотную информацию на сигнал несущей высокой частоты. Результирующие сигналы могут передавать любую информацию от речи до данных и видеоизображений. Если генератор специально не приспособлен для этого, воспроизвести такие сигналы очень сложно.

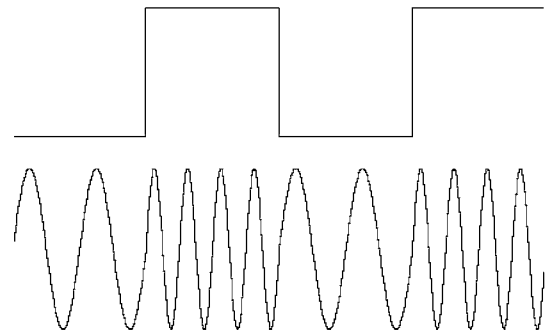


Рис. 13. Частотная манипуляция (ЧМн)

Аналоговая модуляция

В системах радиовещания широко распространена амплитудная (АМ) и частотная (ЧМ) модуляция. В таких типах модуляции модулирующий сигнал изменяет амплитуду или частоту несущей. На приемной стороне цепь демодуляции интерпретирует изменения амплитуды или частоты и извлекает из сигнала необходимую информацию.

Фазовая модуляция (ФМ) для наложения полезной информации модулирует фазу несущей.

Пример аналоговой модуляции приведен на рис. 12.

Цифровая модуляция

Подобно другим цифровым технологиям, цифровая модуляция основана на двух состояниях, позволяющих передавать двоичные данные. В системах с амплитудной манипуляцией (АМн) цифровой модулирующий сигнал заставляет сигнал выходной частоты переключаться между двумя значениями амплитуды, в системах с частотной манипуляцией (ЧМн) несущая переключается между двумя частотами (центральной частотой и частотой смещения), а в системах с фазовой манипуляцией (ФМн) несущая переключается между двумя значениями фазы. В ФМн "0" передается сигналом той же фазы, что и предыдущий сигнал, а "1" передается сигналом противоположной фазы.

Другим широко распространенным типом цифровой модуляции является широтно-импульсная модуляция (ШИМ); она часто применяется в цифровых аудиосистемах. Как следует из ее названия, она применима только к импульсным сигналам. В системах ШИМ модулирующий сигнал вызывает изменение длительности импульса (описанной выше скважности).

Пример цифровой модуляции приведен на рис. 13.

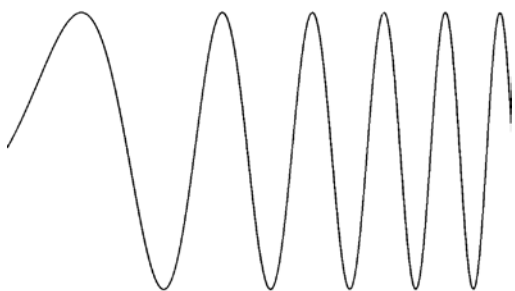


Рис. 14. Синусоидальный сигнал со свипированием по частоте.

Свипирование по частоте

Измерение частотных характеристик электронного устройства порождает потребность в «свипирующем» синусоидальном сигнале – сигнале, частота которого меняется по определенному закону за определенный период времени. Изменение частоты может происходить линейно и выражаться в «герцах в секунду» или логарифмически и выражаться в «октавах в секунду». Многофункциональные свипирующие генераторы поддерживают свипирование с выбираемой начальной частотой, частотой удержания, конечной частотой и соответствующими интервалами. Кроме того, генератор вырабатывает синхронный со свипированием сигнал запуска, который можно использовать для управления осциллографом, измеряющим выходной отклик исследуемого устройства.

Квадратурная модуляция

В основе современных цифровых сетей беспроводной связи лежит технология квадратурной модуляции (IQ). Квадратурная модуляция использует две несущие – синфазную (I) и квадратурную (Q), сдвинутую ровно на 90 градусов относительно несущей "I". Эти несущие модулируются так, чтобы получить четыре возможных состояния. На передающей стороне две несущих объединяются и передаются по одному каналу, а на приемной стороне они разделяются и демодулируются. Формат IQ позволяет передать значительно больше информации, чем другие виды аналоговой и цифровой модуляции, что расширяет эффективную полосу системы. Пример квадратурной модуляции приведен на рис. 15.

Цифровые последовательности и кодированные цифровые сигналы

Цифровая последовательность состоит из нескольких синхронизированных потоков импульсов, составляющих одно слово данных, которое может иметь ширину 8, 12, 16 и более битов. Генерацию слов данных для подачи на цифровые шины и процессоры выполняет специальный класс генераторов – генераторы цифровых последовательностей. Слова в этих последова-

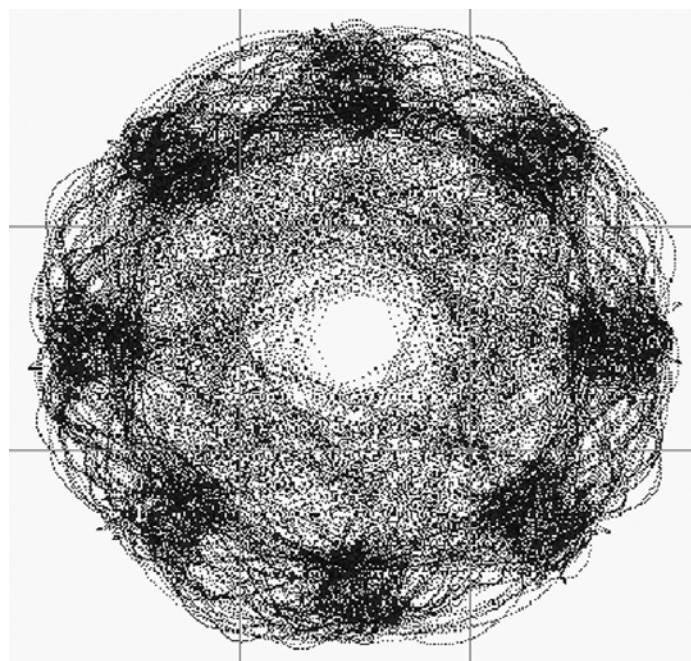


Рис. 15. Квадратурная модуляция.

тельно передаются в строгой последовательности циклов, причем активность каждого бита в каждом цикле определяется выбранным методом кодирования. Метод кодирования определяет длительность импульсов внутри циклов, составляющих потоки данных.

Ниже приведен список наиболее распространенных методов кодирования. В описании первых трех методов предполагается, что цикл начинается с двоичного значения "0" – т.е. с напряжения низкого логического уровня.

- **Без возврата к нулю (NRZ).** При появлении в цикле достоверного бита, сигнал переходит в "1" и остается в этом состоянии до начала следующего цикла.
- **Задержанный без возврата к нулю (DNRZ).** Подобен NRZ, за тем исключением, что сигнал переходит в "1" после указанной задержки.
- **С возвратом к нулю (RZ).** При появлении достоверного бита, сигнал переходит в "1" и затем возвращается к "0" в пределах этого же цикла.
- **С возвратом к единице (R1):** В сущности, этот метод представляет собой инверсию метода RZ. В отличие от других методов, приведенных в этом списке, R1 предполагает, что цикл начинается с "1", затем при появлении достоверного бита он переключается в "0", и затем снова возвращается к "1", до окончания цикла.

Двоичные потоки

Псевдослучайные двоичные потоки (PRBS) и псевдослучайные потоки слов (PRWS) используются для преодоления характерного ограничения компьютеров: их неспособности создавать истинно случайные числа. И все же случайные события могут с успехом применяться в цифровых системах. Например, идеально «чистые» цифровые видеосигналы могут содержать неприятные для глаз ступенчатые линии и заметные контуры на поверхностях, которые должны быть гладкими. Добавление контролируемого шума может замаскировать эти артефакты, не оказывая существенного влияния на передаваемую информацию.

Для создания случайного шума цифровые системы генерируют поток чисел, которые выглядят случайными, хотя на самом деле определяются предсказуемой математической формулой. На самом деле, такие «псевдослучайные» числа представляют собой набор последовательностей, повторяющихся со случайной частотой. В результате получается PRBS. Псевдослучайный поток слов определяет способ представления нескольких потоков PRBS на нескольких параллельных выходах генератора.

PRWS часто используется для тестирования параллельно-последовательных преобразователей или мультиплексоров. Эти устройства преобразуют сигнал PRWS в последовательный поток псевдослучайных битов.

Типы генераторов сигнала

В общем случае, генераторы сигналов можно разделить на генераторы смешанных сигналов (генераторы сигналов произвольной формы и генераторы сигналов произвольной формы и стандартных функций) и источники логических сигналов (генераторы импульсов и цифровых последовательностей). Каждый из этих типов обладает определенными преимуществами, которые делают его более или менее предпочтительным для тех или иных приложений.

Генераторы смешанных сигналов предназначены для создания сигналов с аналоговыми характеристиками. Такие сигналы простираются от чисто аналоговых, таких как синусоиды и треугольники, до меандров, обладающих скруглениями и искажениями, что является неотъемлемой особенностью реальных сигналов. Универсальные генераторы смешанных сигналов позволяют управлять амплитудой, частотой и фазой сигнала, а также постоянным смещением и длительностью фронтов и спадов. С помощью таких генераторов можно создавать искажения, такие как глитчи, добавлять джиттер фронтов, модуляцию и многое другое.

Генераторы цифровых сигналов используются для подачи сигналов на цифровые системы, их выходными сигналами являются последовательности двоичных импульсов. Специализированные источники цифровых сигналов не обладают возможностью генерировать синусоидальные или треугольные сигналы. Функции источников цифровых сигналов оптимизированы для работы с компьютерными шинами и аналогичными приложениями. Эти функции могут включать программные средства для быстрой разработки цифровых последовательностей, а также аппаратные средства, такие как пробники для согласования уровней логических элементов различных серий.

Как уже объяснялось, практически все современные высокопроизводительные генераторы сигналов, от генераторов стандартных функций до генераторов сигналов произвольной формы и генераторов цифровых последовательностей, основаны на цифровой технологии, что обеспечивает гибкое программирование и исключительную точность.

Генераторы аналоговых и смешанных сигналов

Типы генераторов аналоговых и смешанных сигналов

Генераторы сигналов произвольной формы

Исторически сложилось так, что задачу создания разных сигналов выполняют отдельные специализированные генераторы сигналов – от генераторов сверхчистых аудиосигналов до многогигагерцовых генераторов радиочастотных сигналов. И хотя существует множество серийно выпускаемых приборов, зачастую пользователю для решения стоящих перед ним задач приходится дорабатывать существующий генератор или самому изготавливать специализированный генератор. Проектирование измерительного генератора – очень сложная задача и, конечно, время, потраченное на разработку дополнительного оборудования, вычитается из самого проекта.

К счастью, технология дискретизации и обработки сигнала дала нам решение, позволяющее решить практически любую задачу с помощью одного единственного прибора – генератора сигналов произвольной формы. Генераторы сигналов произвольной формы можно разделить на генераторы сигналов произвольной формы и стандартных функций (AFG) и генераторы сигналов произвольной формы (AWG).

Генераторы сигналов произвольной формы и стандартных функций (AFG)

Генератор AFG предназначен для решения широкого спектра задач и на сегодняшний день генераторы этого типа являются наиболее распространенными. Обычно такой прибор предлагает меньше возможностей по изменению сигнала, чем аналогичный AWG, но обладает превосходной стабильностью и быстрым откликом на изменение частоты. Если исследуемому устройству необходима синусоида и меандр (не говоря уже о прочих сигналах) и возможность почти мгновенного переключения между двумя частотами, то решить эту задачу можно с помощью AFG. Другим достоинством AFG является низкая цена, что делает его весьма привлекательным для приложений, не требующих гибкости AWG.

У AFG и AWG есть много общих черт, хотя по конструкции AFG является более специализированным прибором. AFG обладает уникальными преимуществами: он создает стабильные сигналы стандартных функций – в частности, широко применяемые синусоиды и меандры – обладающие высокой точностью и быстро перестраиваемые по частоте. Быстрая перестройка означает возможность быстрого и чистого перехода с одной частоты на другую.

Большинство AFG предлагает набор следующих широко используемых сигналов и функций:

- Синусоида
- Меандр
- Треугольник
- Свипирование
- Импульс
- Линейное нарастание
- Модуляция
- Гаверсинус

И хотя AWG тоже могут генерировать все эти сигналы, современные AFG обеспечивают улучшенное управление фазовыми, частотными и амплитудными характеристиками выходного сигнала. Кроме того, многие AFG позволяют модулировать сигнал внутренним или внешним источником, что очень важно для некоторых типов тестирования на соответствие стандартам.

Старые модели AFG для создания выходных сигналов использовали аналоговые задающие генераторы с последующей обработкой сигнала. Последние модели AFG используют технологию прямого цифрового синтеза (DDS) тактовой частоты, с которой выборки сигнала извлекаются из памяти.

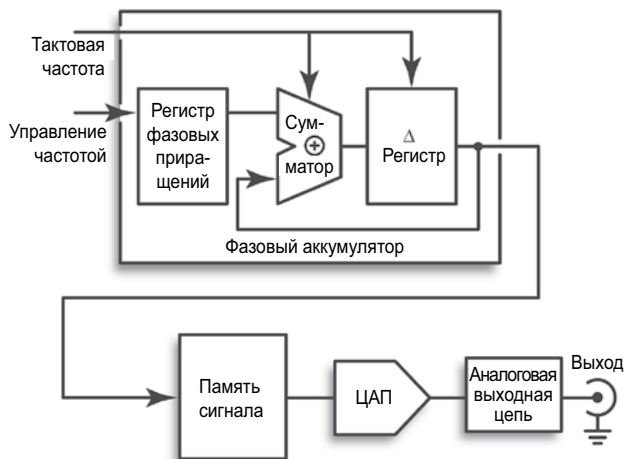


Рис. 16. Упрощенная архитектура AFG.

Особенностью технологии DDS является синтез выходных сигналов и всех частот, используемых внутри прибора, только из одной тактовой частоты. На рис. 16 показана упрощенная архитектура AFG, построенного на основе DDS.

Регистр фазовых приращений в фазовом аккумуляторе принимает инструкции от контроллера частоты, показывающие, на сколько должна изменяться фаза выходного сигнала в каждом следующем периоде. В современных производимых AFG разрешение по фазе может достигать 2^{-30} , что примерно равно $1/1000\ 000\ 000$.

Выход фазового аккумулятора используется в качестве тактовой частоты для памяти сигналов. Работа этого прибора очень напоминает работу AFG, за тем исключением, что память сигналов содержит обычно лишь несколько базовых сигналов, таких как синус и меандр. Аналоговая выходная цепь обычно представляет собой фиксированный фильтр нижних частот, который обеспечивает поступление на выход только запрограммированной полезной частоты (подавляя проникновение тактовой частоты).

Чтобы лучше понять, как фазовый аккумулятор создает нужную частоту, представьте себе, что контроллер посылает значение "1" в 30-битный регистр фазовых приращений. Выходной регистр фазовых приращений фазового аккумулятора будет изменять фазу на $360/2^{30}$ градусов в каждом периоде, поскольку полный период выходного сигнала соответствует фазе 360 градусов. Следовательно, значение "1" регистра фазовых приращений соответствует минимальной частоте выходного сигнала и требует 2^{30} приращений для создания одного периода. Генератор будет работать на этой частоте до поступления нового значения в регистр фазовых приращений.

Значения больше "1" будут быстрее проходить полный период 360 градусов, создавая более высокую выходную частоту (некоторые AFG используют другой подход: они повышают выходную частоту, пропуская некоторые выборки, ускоряя, тем самым, считывание содержимого памяти). Единственное, что при этом меняется, это значение фазы, поступающее от контроллера частоты. Главную тактовую частоту менять не надо. Кроме того, это позволяет начинать генерацию сигнала с любой точки периода.



Рис. 17. Серия выборок, представляющих синусоиду (слева); реконструированная синусоида (справа).

Допустим, нам надо получить синусоиду, которая начинается с максимума положительной полуволны. Элементарная математика говорит, что этот максимум соответствует фазе 90 градусов. Следовательно:

$$2^{30} \text{ приращений} = 360^\circ; \text{ и}$$

$$90^\circ = 360^\circ / 4; \text{ следовательно,}$$

$$90^\circ = 2^{30} / 4$$

Когда фазовый аккумулятор получает значение, эквивалентное $(2^{30} / 4)$, он заставляет память сигналов начать генерацию с точки, содержащей положительный максимум синусоидального сигнала.

В памяти готовых сигналов типичного AFG хранятся несколько стандартных сигналов. Обычно, наиболее частое применение находят синусоидальные сигналы и меандры. Сигналы произвольной формы хранятся в области памяти, доступной для перепрограммирования пользователем. Эти сигналы можно определять с той же гибкостью, как и в традиционных AWG. Однако архитектура DDS не поддерживает сегментирование памяти и последовательный вывод сигналов. Такими расширенными возможностями обладают только высокопроизводительные AWG.

Архитектура DDS обеспечивает исключительно высокую скорость перестройки частоты, упрощая программирование частотных и фазовых изменений, что полезно для тестирования устройств, использующих частотную модуляцию – например, компонентов радиостанций и спутниковых систем. И если вам хватает частотного диапазона AFG, то такой генератор идеально подходит для тестирования ЧМн и телефонных технологий со скачкообразной перестройкой частоты, таких как GSM.

И, хотя AFG не обладает возможностью создания практически любых форм сигналов, как это делает AWG, он может воспроизводить большинство широко распространенных сигналов, используемых в лабораториях, ремонтных центрах и конструкторских отделах. Кроме того, он обеспечивает превосходную скорость перестройки частоты. И, что немаловажно, AFG зачастую является самым экономичным решением.

Генераторы сигналов произвольной формы (AWG)

Хотите ли вы получить поток данных, в точности соответствующий по форме функции Лоренца, для измерения характеристик дискового накопителя, или сложномодулированный ВЧ сигнал для тестирования телефона GSM или CDMA, генератор сигналов произвольной формы (AWG) может создать сигнал любой мыслимой формы. При этом для создания нужного сигнала можно использовать множество методов – от математической формулы до «рисунка» сигнала.

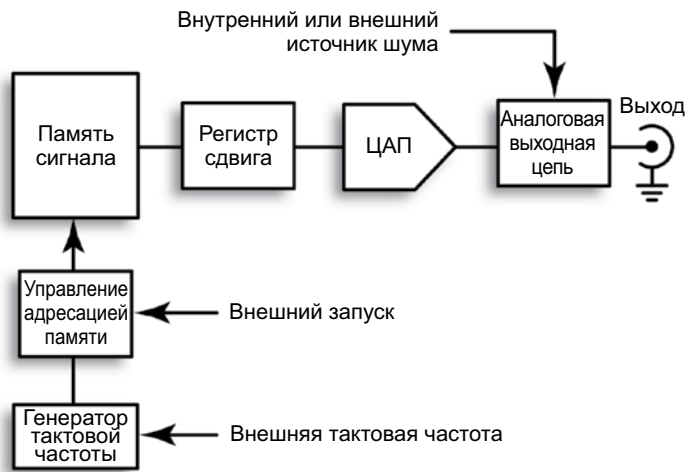


Рис. 18. Упрощенная архитектура генератора сигналов произвольной формы.

В сущности, AWG представляет собой сложную систему воспроизведения, которая создает сигналы на основе сохраненных цифровых данных, описывающих постоянно изменяющиеся уровни напряжения сигнала переменного тока. Блок-схема этого прибора обманчиво проста. Если обратиться к более привычным терминам, AWG можно представить, как плеер компакт-дисков, который считывает сохраненные данные в реальном времени (в AWG – из собственной памяти сигнала; в CD плеере – с диска). Оба эти устройства выдают на выход аналоговый сигнал.

Для понимания принципа работы AWG нужно сначала усвоить общую концепцию цифровой дискретизации. Суть цифровой дискретизации полностью описывается ее названием: она определяет сигнал с помощью дискретных выборок, или точек данных, представляющих собой последовательность измеренных напряжений вдоль графика сигнала. Эти выборки можно определить, реально измеряя сигнал, например, осциллографом, или используя графические или математические методы. На рис. 17 (слева) показана серия выборок. Все выборки получены через равные интервалы времени, хотя по виду кривой может показаться, что интервалы не равны. В AWG значения выборок сохраняются в двоичной форме в быстром Оперативном Запоминающем Устройстве (ОЗУ).

Используя сохраненную информацию, сигнал можно в любое время реконструировать, считывая значения из памяти и пропуская их через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Результат показан на рис. 17 (справа). Обратите внимание, что выходная цепь AWG содержит фильтр, который объединяет отдельные точки в чистый, непрерывный выходной сигнал. В результате исследуемое устройство не «видит» отдельных точек сигнала, а воспринимает его как непрерывную аналоговую волну.

Упрощенная блок-схема AWG, реализующая описанные функции, показана на рис. 18.

AWG предлагает гибкость, практически не достижимую другими приборами. Обладая возможностью воспроизводить сигнал любой мыслимой формы, AWG может применяться практически везде, от моделирования работы антиблокировочной системы тормозов автомобиля до тестирования беспроводных сетей в предельных режимах.



Рис. 19. Высокопроизводительный генератор смешанных сигналов Tektronix AWG7000.

Системы и органы управления генератора смешанных сигналов

В соответствии с ролью источника сигнала законченного измерительного решения, органы управления и подсистемы генератора смешанных сигналов предназначены для ускорения создания всевозможных типов сигналов и для воспроизведения сигналов с исключительной точностью.

Для наиболее важных и часто изменяемых параметров сигнала на лицевой панели имеются специальные органы управления. Более сложные функции и те, которые нужны нечасто, доступны через меню на экране прибора.

Регулятор уровня используется для установки амплитуды и смещения выходного сигнала. В генераторе сигналов, показанном на рис. 19, отдельный регулятор уровня на передней панели позволяет легко устанавливать амплитуду и смещение, не обращаясь к многоуровневой системе меню.

Управление синхронизацией устанавливает частоту выходного сигнала путем изменения частоты дискретизации. И в этом случае отдельный аппаратный регулятор упрощает настройку важных временных параметров.

Обратите внимание, что ни один из описанных выше параметров не управляет формой выходного сигнала. Эта функция расположена в меню на **Экране редактирования/управления**. Сенсорная панель или мышь позволяет выбрать нужную форму представления, которое может предложить органы управления для настройки последовательностей или цифрового выхода на графическом интерфейсе пользователя, как показано на рис. 20. Открыв такую страницу, вы просто заполняете бланк с помощью цифровой клавиатуры или с помощью универсальной поворотной ручки.



Рис. 20. Интерфейс пользователя AWG, показывающий вкладку выбора меню.

Описание параметров

Ниже приведены определения некоторых параметров, приводимых в технических характеристиках генераторов смешанных сигналов. Эти термины встречаются практически во всех брошюрах, справочниках и учебниках, описывающих генераторы сигналов и способы их применения.

Объем памяти (длина записи)

Объем памяти (или длина записи) непосредственно связан с тактовой частотой. Объем памяти определяет максимальное число выборок, которое можно сохранить. Каждая выборка сигнала занимает одну ячейку памяти. Каждая ячейка памяти соответствует по времени одному интервалу дискретизации для текущей тактовой частоты. Например, если тактовая частота равна 100 МГц, сохраненные выборки отстоят по времени на 10 нс.

Объем памяти оказывает важное влияние на достоверность воспроизведения сигнала на разных частотах, поскольку от него зависит число выборок, сохраненных для построения сигнала. Объем памяти особенно критичен для точного воспроизведения сложных сигналов. Преимущества большого объема памяти можно кратко сформулировать так:

- Возможность сохранения большего числа периодов сигнала в сочетании с возможностью последовательного воспроизведения позволяет гибко объединять несколько разных сигналов для создания бесконечных циклов, последовательностей и т.п.
- Возможность сохранения большего числа мелких деталей сигнала. Сложные сигналы могут содержать высокочастотные составляющие на фронтах и переходах. Эти быстрые переходные процессы трудно интерполировать. Для точного воспроизведения сложного сигнала можно использовать имеющийся объем памяти для сохранения большего числа переходов и флуктуаций, а не большего числа периодов сигнала.

Высокопроизводительные генераторы смешанных сигналов обладают большим объемом памяти и высокими частотами дискретизации. Эти приборы могут сохранять и воспроизводить сложные сигналы, такие как псевдослучайные двоичные последовательности. Аналогичным образом эти быстрые источники сигнала с большим объемом памяти могут генерировать очень короткие импульсы и переходные процессы.

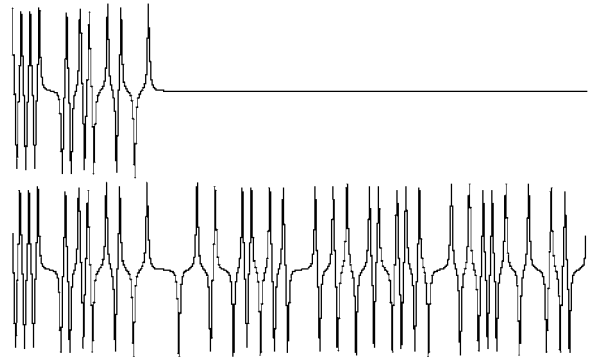


Рис. 21. При достаточном объеме памяти генератор сигналов произвольной формы способен воспроизводить очень сложные сигналы.

Частота дискретизации (тактовая частота)

Частота дискретизации, измеряемая обычно в мегавыборках или в гигавыборках в секунду (Мвыб/с, Гвыб/с), является максимальной тактовой частотой, на которой может работать данный прибор. Частота дискретизации влияет на частоту и достоверность главного выходного сигнала. Согласно теореме Котельникова, для точной передачи формы сигнала, частота дискретизации или тактовая частота должна не менее чем в два раза превышать частоту самой высокой спектральной составляющей генерируемого сигнала. Например, для генерации синусоидального сигнала частотой 1 МГц нужно выполнить дискретизацию с частотой более 2 мегавыборок в секунду. Хотя эту теорему чаще цитируют в качестве рекомендаций по захвату сигналов, например, для осциллографов, ее применимость к генераторам сигналов совершенно очевидна: для точного воспроизведения мелких подробностей, сохраненные сигналы должны состоять из достаточного числа точек.

Генератор сигналов может считывать точки из памяти с любой частотой в пределах своих технических характеристик. Если набор сохраненных точек отвечает требованиям теоремы Котельникова и описывает синусоидальный сигнал, генератор сигналов может выполнить соответствующую фильтрацию и подать на выход синусоидальный сигнал.

Расчет частоты сигнала, которую способен воспроизвести генератор, требует решения нескольких простых уравнений. Давайте рассмотрим случай, когда в памяти генератора сохранен один период сигнала:

При частоте дискретизации 100 Мвыб/с и объеме памяти (или длине записи) 4000 выборок, получаем

$$F_{\text{выхода}} = \text{Тактовая частота} / \text{Объем памяти}$$

$$F_{\text{выхода}} = 100\,000\,000 / 4000$$

$$F_{\text{выхода}} = 25\,000 \text{ Гц (или 25 кГц)}$$

Эту концепцию иллюстрирует рис. 22.

При указанной тактовой частоте выборки разнесены примерно на 10 нс. Эта величина представляет собой разрешающую способность по времени (по горизонтали). Не следует путать эту разрешающую способность с разрешающей способностью по амплитуде (по вертикали).

На следующем этапе предположим, что ОЗУ содержит не один, а четыре периода сигнала:

$$F_{\text{выхода}} = (\text{Тактовая частота} / \text{Объем памяти}) \times (\text{Число периодов в памяти})$$

$$F_{\text{выхода}} = (100\,000\,000 / 4000) \times (4)$$

$$F_{\text{выхода}} = (25\,000 \text{ Гц}) \times (4)$$

$$F_{\text{выхода}} = 100\,000 \text{ Гц}$$

Новая частота равна 100 кГц. Эта концепция продемонстрирована на рис. 23.

В этом примере разрешение по времени каждого периода сигнала оказывается меньше, чем в примере с одним периодом – а именно, ровно в четыре раза. Теперь каждая выборка соответствует интервалу 40 нс. Повышение частоты достигается ценой потери горизонтального разрешения.

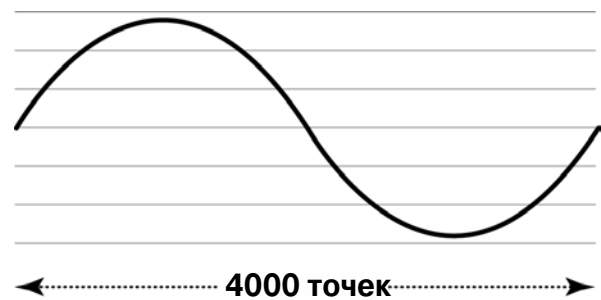


Рис. 22. При тактовой частоте 100 МГц, один, состоящий из 4000 точек сигнал, появляется на выходе в виде сигнала частотой 25 кГц.

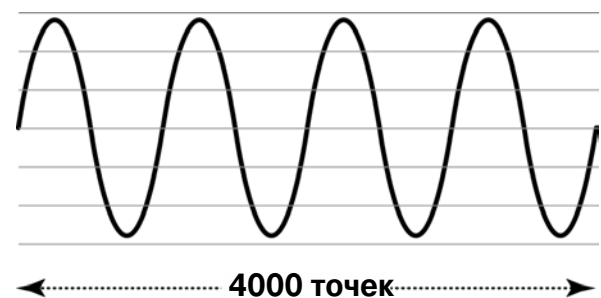


Рис. 23. Сохраняя четыре периода при тактовой частоте 100 МГц, мы получаем сигнал частотой 100 кГц.

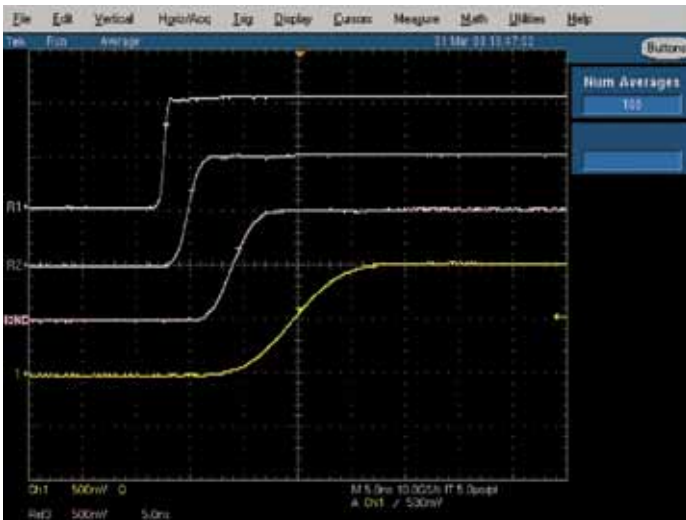


Рис. 24. Достаточная полоса гарантирует воспроизведение всех подробностей сигнала.

Полоса пропускания

Полоса пропускания прибора – это аналоговый параметр, не зависящий от частоты дискретизации. Аналоговая полоса выходной цепи генератора сигналов должна быть достаточной для обработки максимальной частоты, которую можно получить при данной частоте дискретизации. Другими словами, полоса должна быть достаточной для пропускания высших частотных составляющих сигнала без ухудшения его характеристик. Важность полосы пропускания демонстрирует экран осциллографа на рис. 24. Самая верхняя кривая показывает неискаженный фронт широкополосного сигнала, а остальные кривые демонстрируют ухудшение крутизны фронта в результате сокращения полосы пропускания выходной цепи.

Вертикальное разрешение (по амплитуде)

В случае генераторов смешанных сигналов вертикальное разрешение определяется разрядностью двоичного слова цифро-аналогового преобразователя, причем большее число битов соответствует большему разрешению. Вертикальное разрешение ЦАП определяет точность амплитуды и искажения воспроизводимого сигнала. ЦАП с недостаточным разрешением порождает ошибки квантования, вызывающие искажения формы генерируемого сигнала.

И хотя часто считается, что чем больше, тем лучше, в случае AWG более высокочастотные приборы обычно обладают меньшим

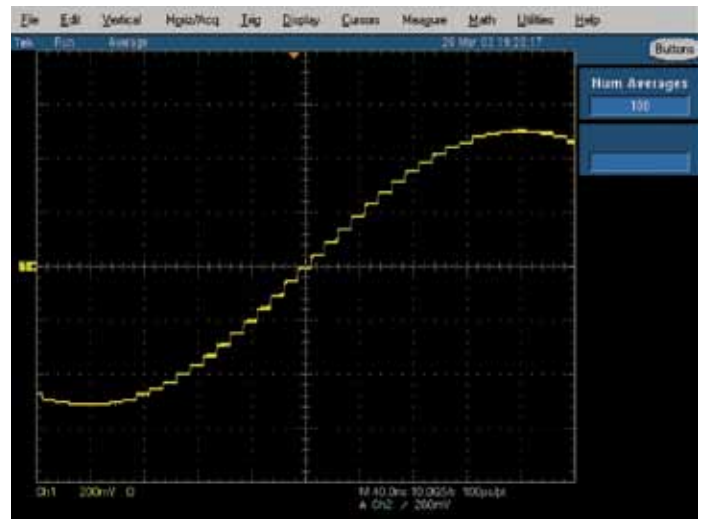


Рис. 25. Низкое вертикальное разрешение (вверху); высокое вертикальное разрешение (внизу). Вертикальное разрешение определяет точность воспроизведения амплитуды сигнала.

разрешением – 8 или 10 битов – чем приборы общего назначения, предлагающие разрешение 12 или 14 битов. AWG с разрешением 10 битов разбивает весь диапазон выходного напряжения на 1024 ступени. Если, например, этот AWG имеет полный размах выходного напряжения 2 В, то каждая выборка соответствует шагу примерно в 2 мВ – минимальное приращение, обеспечиваемое прибором без дополнительных аттенюаторов и при отсутствии других ограничивающих факторов архитектуры, таких как коэффициент усиления и смещение выходного усилителя.

Горизонтальное разрешение (по времени)

Горизонтальное разрешение определяет минимальное приращение времени, которое можно использовать для создания сигналов. Обычно его можно рассчитать по формуле:

$$T = 1/F$$

где T – разрешение по времени в секундах, а F – частота дискретизации.

Согласно этому определению, разрешение по времени генератора сигналов с максимальной тактовой частотой 100 МГц равно 10 наносекундам. Другими словами, выходной сигнал этого генератора складывается из последовательных выборок, отстоящих друг от друга на 10 нс.

Некоторые приборы предлагают средства, существенно расширяющие разрешение выходного сигнала по времени. И хотя они не повышают базового разрешения прибора, они вносят в сигнал изменения, которые создают эффект воспроизведения фронта с приращениями в пикосекундном диапазоне.

Сдвиг области

Функция сдвига области сдвигает указанный фронт сигнала вправо или влево, в прямую или в противоположную сторону от запрограммированного центрального значения. Если указанная величина сдвига меньше интервала дискретизации, исходный сигнал передискретизируется с применением интерполяции для получения сдвинутых значений.

Сдвиг области позволяет моделировать джиттер и другие незначительные сдвиги фронтов, превышающие разрешение прибора. И снова, рассматривая пример генератора с тактовой частотой 100 МГц, можно сказать, что бессмысленно сдвигать фронт с шагом 10 нс для имитации джиттера. Реальный джиттер проявляется в нижнем пикосекундном диапазоне. Функция сдвига области позволяет сдвигать фронт с шагом в несколько пикосекунд, что значительно точнее передает реальное проявление джиттера.

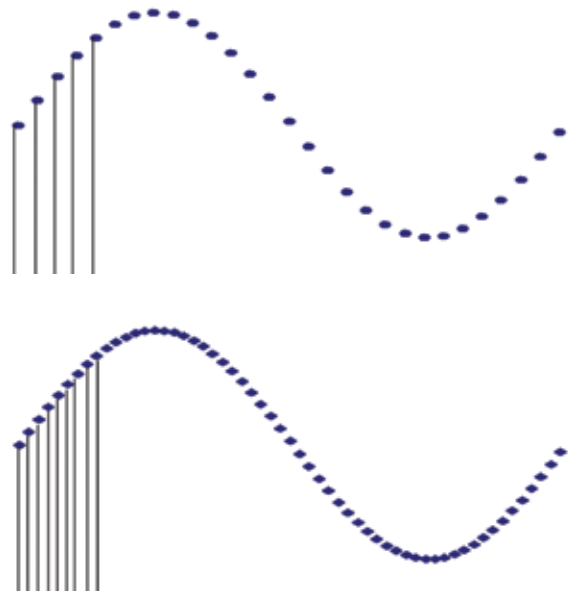


Рис. 26. Низкое горизонтальное разрешение (вверху); высокое горизонтальное разрешение (внизу). Горизонтальное разрешение или разрешение по времени определяет минимальный шаг времени, с которым может изменяться длительность фронта, периода или импульса.

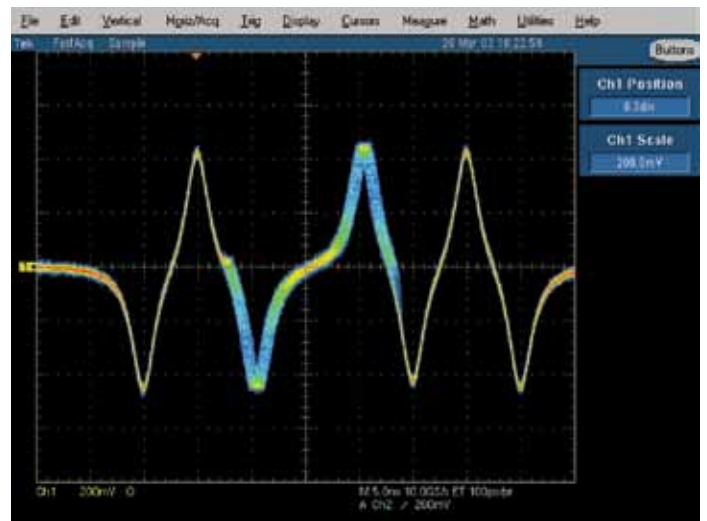


Рис. 27. Сдвиг области.

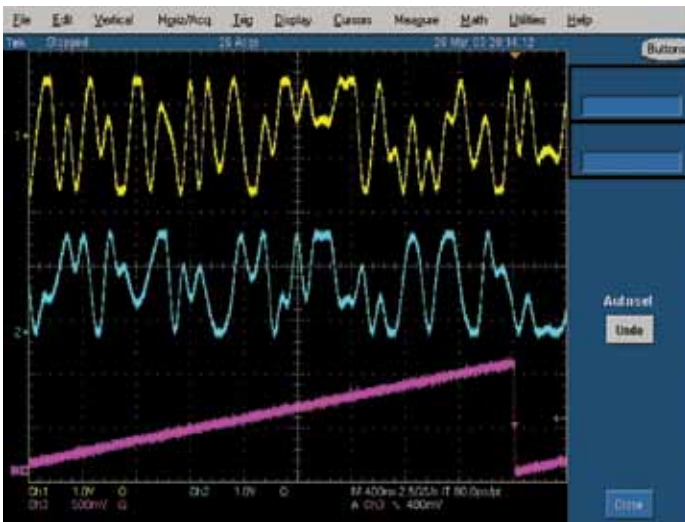


Рис. 28. Несколько выходных каналов.

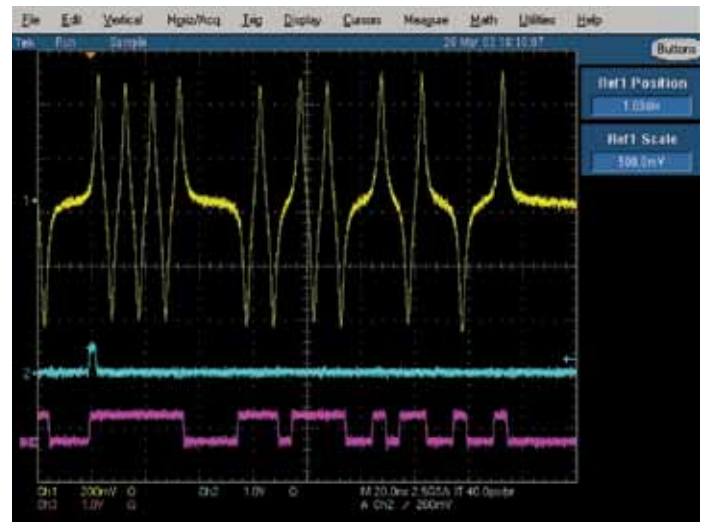


Рис. 29. Выходы маркеров.

Число выходных каналов

Многие приложения требуют наличия нескольких испытательных сигналов. Например, для тестирования антиблокировочной системы тормозов автомобиля требуется четыре сигнала (по вполне очевидным причинам). Биофизические исследования требуют нескольких генераторов для имитации различных электрических сигналов, генерируемых человеческим телом. Сложное телекоммуникационное оборудование, использующее сигналы с IQ модуляцией требует отдельного сигнала для каждой из двух составляющих.

В ответ на эти потребности появились AWG с различными конфигурациями выходных каналов. Некоторые AWG могут выводить до четырех независимых аналоговых сигналов с полной полосой. Другие предлагают до двух аналоговых выходов и до 16 дополнительных высокоскоростных цифровых выходов для тестирования схем смешанных сигналов. Последний класс приборов позволяет адресовать аналоговые шины, шины данных и адреса с помощью одного интегрированного прибора.

Цифровые выходы

Некоторые AWG имеют отдельные цифровые выходы. Эти выходы делятся на две категории: выходы маркеров и выходы параллельных данных.

Выходы маркеров выдают двоичный сигнал, синхронный с основным аналоговым сигналом генератора. В общем случае, маркеры позволяют выводить импульс (или импульсы), синхронный с некоторой точкой сигнала (выборкой).

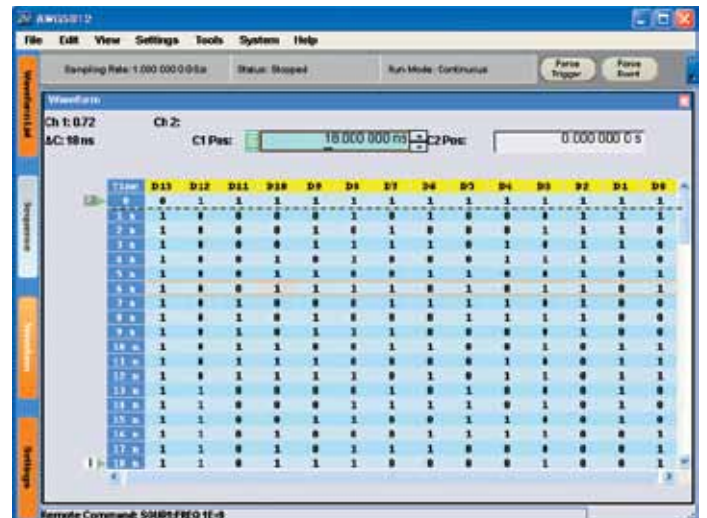


Рис. 30. Выходы параллельных данных.

Импульсы маркеров можно использовать для синхронизации цифровой части исследуемого устройства, которое одновременно с этим получает аналоговый сигнал с генератора смешанных сигналов. Не менее важно и то, что маркеры могут использоваться для запуска регистрирующих приборов на выходной стороне исследуемого устройства. Обычно выходы маркеров формируются в памяти, независимой от памяти основного сигнала.

Показанные на рис. 30 параллельные цифровые выходы берут цифровые данные из той же памяти, что и основной аналоговый выход. Когда на аналоговом выходе появляется некоторое аналоговое значение, его цифровой эквивалент выводится на параллельный цифровой выход. Эта цифровая информация может использоваться для сравнения данных при тестировании цифро-аналоговых преобразователей и многих других устройств. Альтернативно, цифровые выходы могут программироваться независимо от аналогового выхода.

Фильтрация

После определения базового сигнала с ним можно проделать другие операции, такие как фильтрация или планирование последовательности, соответственно для изменения или расширения этого сигнала.

Фильтрация позволяет вырезать из сигнала некоторые диапазоны частот. Например, при тестировании аналого-цифровых преобразователей нужно, чтобы аналоговый входной сигнал, поступающий с генератора сигналов, не содержал частот, превышающих половину тактовой частоты преобразователя. Это предотвращает нежелательное наложение спектров на выходе исследуемого устройства, которое может отрицательно сказаться на результатах тестирования. Наложение спектров возникает в результате проникновения побочных продуктов преобразования в полезный диапазон частот. Если на выходе исследуемого устройства присутствуют наложившиеся спектры, провести достоверные измерения не удастся.

Одним из надежных способов исключить эти частоты заключается в включении в тракт сигнала фильтра нижних частот с большой крутизной среза, который пропускает частоты ниже частоты среза и сильно подавляет частоты выше частоты среза. Кроме того, фильтры могут использоваться для изменения формы сигнала, например, формы меандра или треугольника. Иногда проще изменить форму существующего сигнала, чем создавать новый. В прошлом, для достижения таких результатов приходилось использовать генератор сигналов и внешний фильтр. К счастью, многие современные генераторы сигналов оборудованы встроенными управляемыми фильтрами.

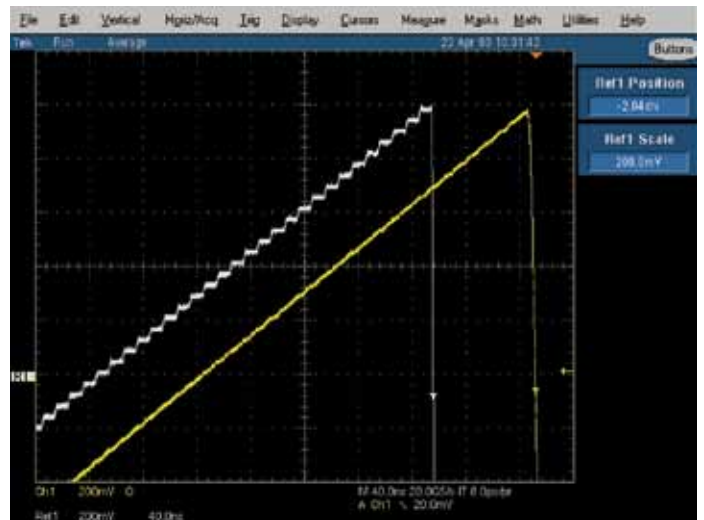


Рис. 31. Сигнал до и после фильтрации. Исходный сигнал (вверху) представляет собой нефильтранный нарастающий сигнал, тогда как сигнал канала 1 (внизу) представляет собой фильтрованный нарастающий сигнал.

Планирование последовательностей

Часто для полного исследования исследуемого устройства приходится создавать длинные последовательности сигналов. Если части сигналов должны повторяться, то функция планирования последовательностей может сэкономить долгие часы утомительного программирования. Функция планирования последовательностей позволяет сохранить в памяти прибора большое число «виртуальных» периодов сигнала. Планировщик последовательностей использует инструкции, аналогичные тем, что применяются в языках программирования: циклы, переходы и т.п. Эти инструкции, хранящиеся в отдельной области памяти, заставляют повторяться указанные фрагменты сигнала. Программируемые счетчики повторений, ветвления в зависимости от внешних событий и другие механизмы управления определяют число рабочих циклов и порядок, в котором они выполняются. Планировщик последовательностей позволяет генерировать сигналы практически неограниченной длины.

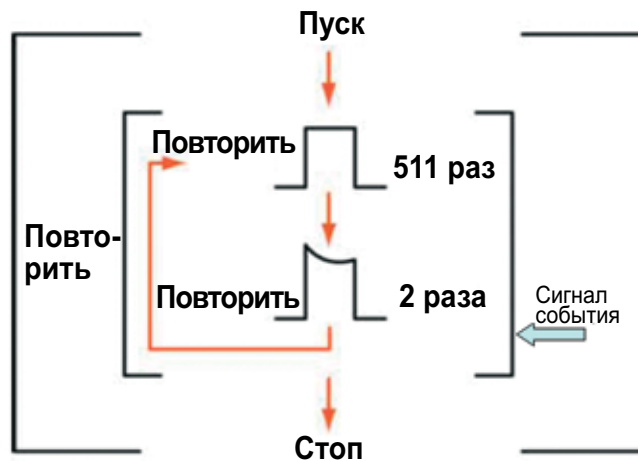


Рис. 32. Объем памяти сигнала AWG можно расширить за счет циклов и повторений.

В качестве очень простого примера представьте себе, что в память объемом 4000 точек записан чистый импульс, занимающий половину этой памяти (2000 точек), и искаженный импульс, занимающий оставшуюся половину. Если мы ограничены простым повторением содержимого памяти, генератор сигналов будет поочередно повторять два импульса, пока не поступит команда останова. Однако планировщик последовательностей меняет эту ситуацию.

Предположим, что искаженный импульс должен появляться два раза подряд после каждых 511 циклов. Вы можете написать последовательность, которая 511 раз повторяет чистый импульс, затем переключается на искаженный импульс, повторяет его два раза и возвращается к началу цикла, выполняя его снова и снова. Эта концепция показана на рис. 32.

Число циклических повторений может быть бесконечным, равным заданному значению или управляться внешним событием. Учитывая приведенное ранее обсуждение компромисса между числом сохраненных периодов сигнала и разрешением по времени, планировщик последовательностей предоставляет значительно большую гибкость без ущерба для разрешения отдельных сигналов.

Обратите внимание, что любой следующий сегмент последовательности должен начинаться с того же значения амплитуды, на котором закончился предыдущий сегмент. Другими словами, если последняя выборка синусоидального сегмента имела величину 1,2 В, начальное значение следующего сегмента последовательности тоже должно быть равно 1,2 В. В противном случае, при переходе к следующему значению возникнет нежелательный глитч.

Хотя приведенный пример очень прост, он демонстрирует возможности, необходимые для обнаружения нерегулярных ошибок, зависящих от комбинации данных. В качестве одного из примеров можно привести межсимвольные помехи в коммуникационных каналах. Межсимвольная помеха может появиться, если состояние сигнала в одном цикле влияет на сигнал в следующем цикле, искажая или даже меняя его значение. С помощью планировщика последовательностей можно провести длительный тест в предельных режимах, продолжающийся дни и даже недели, используя в качестве источника воздействия генератор сигналов.

Встроенные редакторы

Допустим, вам нужно составить последовательность из сегментов сигнала, которые имеют одинаковую форму, но отличаются по амплитуде. Для создания таких амплитудных вариаций вы можете пересчитать форму сигнала или перестроить ее с помощью автономного редактора. Однако оба этих подхода приводят к непроизводительным потерям времени. Лучший метод заключается в применении встроенного редактора, который может непосредственно изменять память сигнала, как по времени, так и по амплитуде.

Для упрощения задачи создания сигналов современные генераторы смешанных сигналов предлагают несколько типов редакторов:

- **Графический редактор** – позволяет конструировать и просматривать точное представление сигнала. Затем результирующие точки данных компилируются и сохраняются в памяти сигнала.
- **Редактор последовательностей** – предлагает управляющие конструкции, аналогичные тем, что содержатся в языках программирования (циклы, переходы и т.п.), которые применяются к сохраненным сигналам, участвующим в создании последовательности.

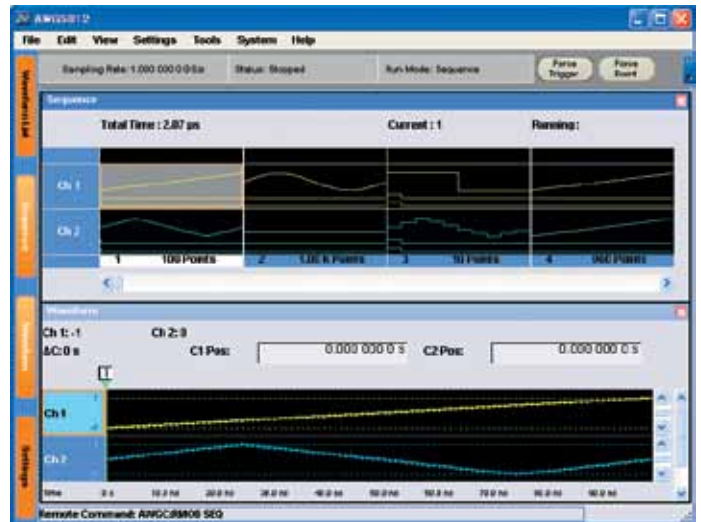


Рис. 33. Для гибкого создания сигналов используется сочетание графического редактора с редактором последовательностей.

Функции импорта данных

Функции импорта данных позволяют использовать сигналы, созданные за пределами генератора.

Например, сигнал, захваченный современным цифровым осциллографом, можно легко передать в генератор смешанных сигналов через интерфейс GPIB или Ethernet. Эта операция составляет основу методологии, в которой для тестирования серийной продукции используется эталонный сигнал, полученный от «эталонного устройства». Для изменения этого сигнала, как и любого другого сохраненного сигнала, можно пользоваться встроенными средствами редактирования.

Другим полезным источником сигналов могут быть имитаторы и другие средства автоматизированного проектирования электронных устройств (EDA). Обладая возможностью вводить, сохранять и пересоздавать данные EDA, генератор может ускорить создание первых прототипов разрабатываемых устройств.

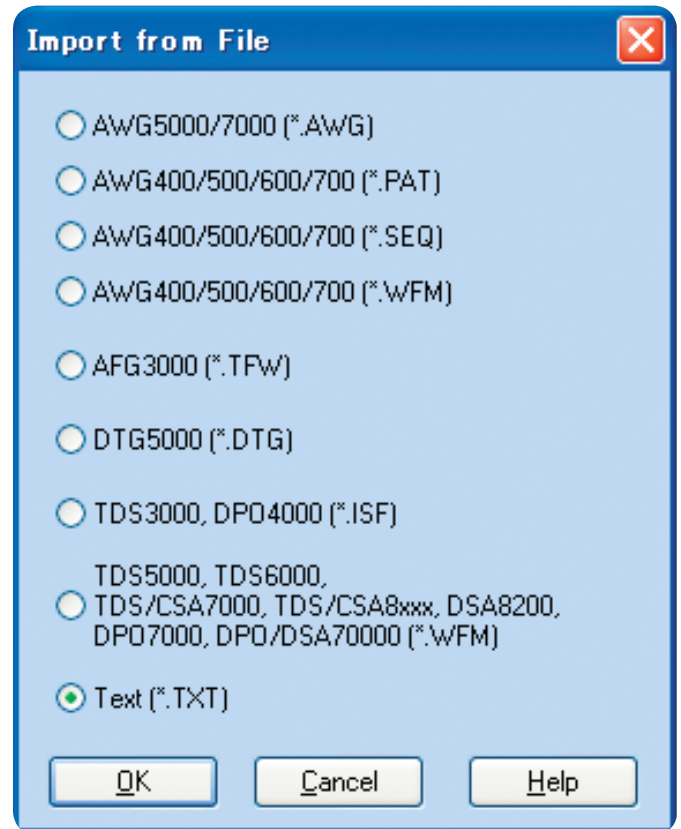


Рис. 34. Функция импорта данных

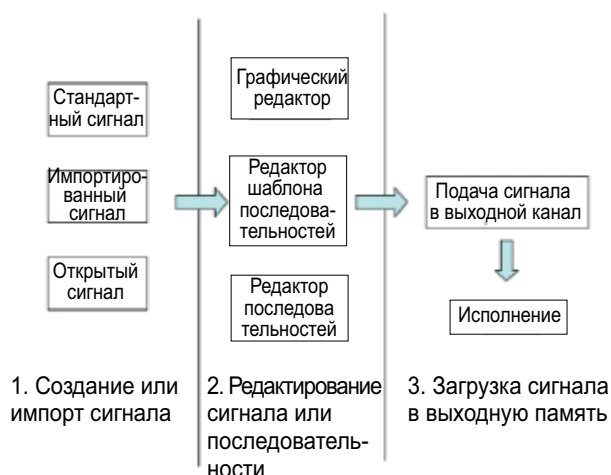


Рис. 35. Основные этапы создания сигнала с помощью AWG.

Создание сигналов с помощью генераторов смешанных сигналов

Современные генераторы смешанных сигналов, и, в частности AWG, предлагают несколько способов создания и редактирования сигналов. Кроме того, некоторые приборы содержат специальные, готовые к применению сигналы. На рис. 35 показаны этапы создания сигнала с помощью AWG.

Созданные файлы сигналов обычно предусматривают длительное хранение, так как сигналы (или их сегменты) вполне могут пригодиться в будущем. Поэтому предназначенные для инженерной работы AWG оборудованы жестким диском, на котором сохраняются файлы сигналов и последовательностей. На первом этапе выполняется создание сигналов, для чего используются стандартные сигналы или сигналы, импортированные из других приборов или моделирующего программного обеспечения.

На этапе редактирования или создания сигналов используется набор редакторов. Простейший редактор сигналов использует «сырые» сегменты сигналов и предлагает средства их изменения, включая математические операции, функции вырезания и вставки и многое другое.

Редактор последовательностей оптимизирован для манипуляции цифровыми данными сигналов. Хотя для цифровой обработки наиболее удобен истинный редактор последовательностей, редактор последовательностей, встроенный в AWG, позволяет выделять отдельные биты и изменять их временные или амплитудные параметры – то, что не умеет делать ни один цифровой генератор.

Диапазон создаваемых сигналов простирается от простых формул синусоиды до функций логарифмического свипирования и многого другого. И снова, функции вырезания и вставки упрощают создание сложных сигналов.

Последний этап настройки AWG заключается в компиляции файлов, там, где это необходимо (например, файлов редактора уравнений), и в сохранении скомпилированных файлов на жестком диске. Операция «Загрузки» переносит сигнал в динамическую память AWG, где он мультиплексируется и передается на ЦАП для преобразования в аналоговую форму.

Это, собственно, и есть основные этапы создания сигнала на AWG. Как уже объяснялось, файлы сигналов могут объединяться в последовательности с помощью отдельного редактора последовательностей, позволяя получить поток сигнала практически неограниченной длины и любой степени сложности.

Создание сложных сигналов

В современных условиях, на фоне сократившихся циклов разработки и ускорения продвижения товаров на рынок, важно тестировать проектируемые схемы с помощью реальных сигналов как можно раньше и как можно эффективнее. Для генерации таких реальных сигналов их надо сначала создать. Создание таких сигналов исторически было связано с определенными трудностями, что замедляло продвижение на рынок проектируемых и тестируемых продуктов. С появлением таких программных средств общего назначения, как ArbExpress, или специальных прикладных программ, таких как SerialExpress® и RFExpress™, создание и редактирование сложных сигналов существенно упростилось.

ArbExpress™

ArbExpress представляет собой средство создания и редактирования сигналов для AWG и AFG. Это работающее под управлением Windows приложение позволяет захватывать сигналы с осциллографов Tektronix или создавать их с помощью библиотеки стандартных сигналов.

Под руководством «Мастера захвата осциллограмм» вы можете установить соединение с нужным осциллографом и выбрать

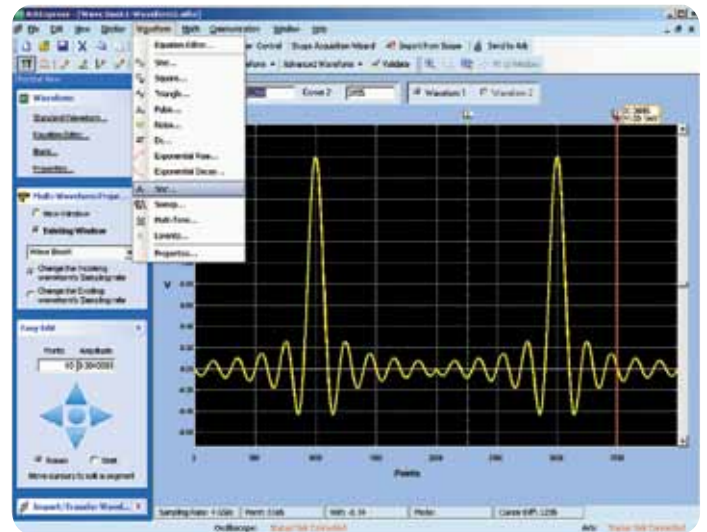


Рис. 36. Удобное создание и редактирование сигналов с помощью ПО ArbExpress™.

источник данных из имеющегося набора каналов и областей памяти. Сигналы можно импортировать полностью или сегментами, извлекаемыми с помощью курсора. Кроме того, сигналы можно передискретизировать, приводя их в соответствие с разрешением соответствующего генератора.

Также в ПО ArbExpress можно произвольно определять сигналы на основе стандартных сигналов с помощью функции рисования или по таблице численных значений. После создания сигнала к нему легко добавляются аномалии с помощью математических функций или средств редактирования. Кроме того, сегменты или готовые сигналы можно удобно сдвигать по оси времени или амплитуды. Это позволяет легко генерировать сигналы, встречающиеся в реальных условиях.

SerialXpress®

Последнее поколение высокоскоростных последовательных шин может передавать данные со скоростью от 500 кбит/с до 12 Гбит/с. Такие скорости требуют создания новых схем, работающих с меньшими временными допусками, что порождает необходимость измерения параметров приемника в дополнение к традиционному тестированию передатчика. SerialXpress представляет собой прикладное программное обеспечение, предназначенное специально для высокоскоростных последовательных шин, таких как SATA, HDMI, PCI-Express и т.п. Для эффективной оценки поведения схемы и ее соответствия действующим стандартам инженерам нужно ввести в процесс тестирования множество известных аномалий. Периодический джиттер, случайный джиттер, добавление и коррекция предсказаний, изменяющаяся крутизна фронтов – вот лишь неполный перечень особенностей сигнала, которые надо моделировать для проверки правильного функционирования приемника.

Прикладное ПО, подобное SerialXpress, упрощает внесение искажений в ходе тестирования на соответствие стандартам. Во многих случаях, это ПО обеспечивает такую гибкость и возможности управления сигналом, которые ранее требовали применения нескольких приборов. На рис. 37 и 38 показан интерфейс настройки SerialXpress для типичного сигнала SerialATA (SATA). ПО позволяет легко управлять скоростью передачи данных, амплитудой сигнала, длительностью фронтов/спадов и вносить искажения. Кроме того, SerialXpress позволяет контролировать размер и величину искажений, и каждое из них может анализироваться независимо или совместно с другими аномалиями.

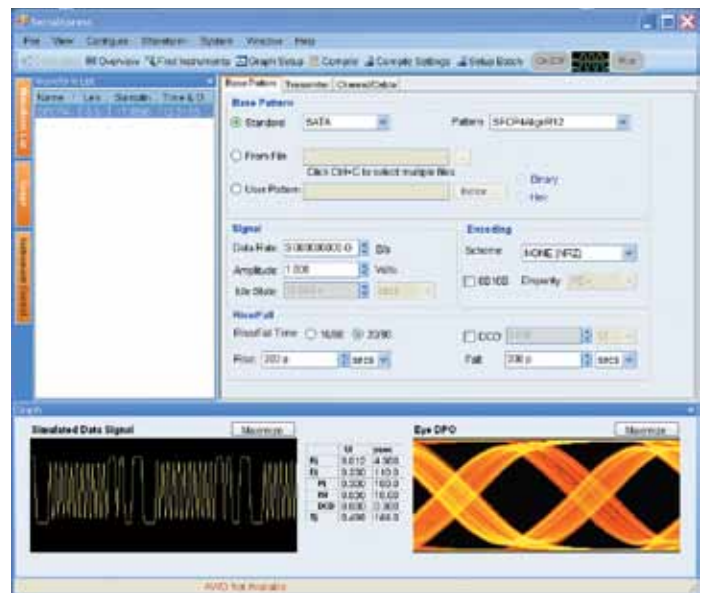


Рис. 37. Стандартный сигнал SATA с предсказаниями.

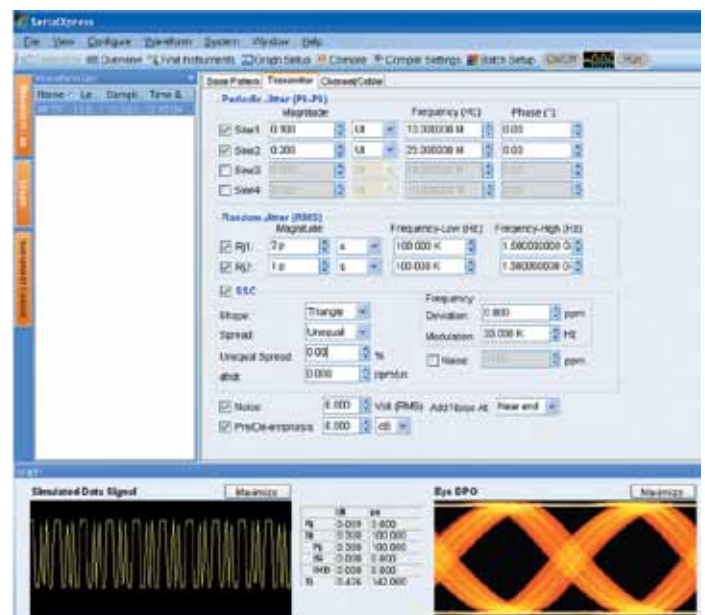


Рис. 38. Программа SerialXpress упрощает внесение искажений.

RFXpress™

RFXpress представляет собой современное компьютерное программное обеспечение с графическим интерфейсом, которое позволяет визуально проверять сигналы и настройки. RFXpress упрощает и ускоряет синтез сигналов за счет функции перетаскивания мышью и применения калибровочных процедур на основе Мастеров. Позволяя создавать точные сигналы для тщательного и воспроизводимого тестирования допусков и соответствия стандартам, RFXpress существенно ускоряет создание сигналов, сокращая, тем самым, общее время разработки и тестирования.

Для упрощения процесса создания сигналов общего назначения или сигналов, соответствующих определенным стандартам, RFXpress содержит функции автоматической коррекции циклических переходов и нормализации амплитуды сигналов. Автоматическая коррекция циклических переходов устраняет спектральные выбросы, появляющиеся при непрерывном повторении сигнала с большой разницей по амплитуде между началом и концом сигнала.

Кроме того, RFXpress предлагает специальную дополнительную опцию, поддерживающую расширенные функции сигнала WiMedia. И хотя WiMedia определяет группы ВЧ диапазонов и центральные частоты, инженерам может потребоваться выполнить тестирование на промежуточной частоте. RFXpress позволяет определять сигналы на промежуточных частотах, а также на стандартных ВЧ частотах, принятых в WiMedia, которые лежат в пределах возможностей AWG.

В режиме совместимости с WiMedia можно легко синтезировать сложные сигналы MB-OFDM. RFXpress содержит принятые в WiMedia стандарты сигналов, позволяя выбирать свойства сигналов на самом высоком уровне. Это упрощает программирование особенностей сигнала, определяемых стандартом, одновременно снижая вероятность непреднамеренной ошибки при создании сигнала.

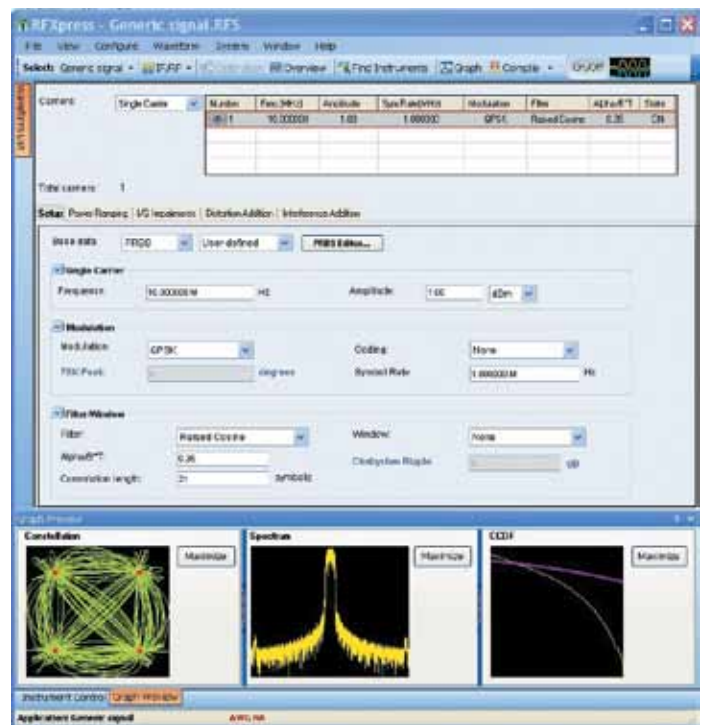


Рис. 39. Простая ВЧ несущая, созданная в RFXpress.

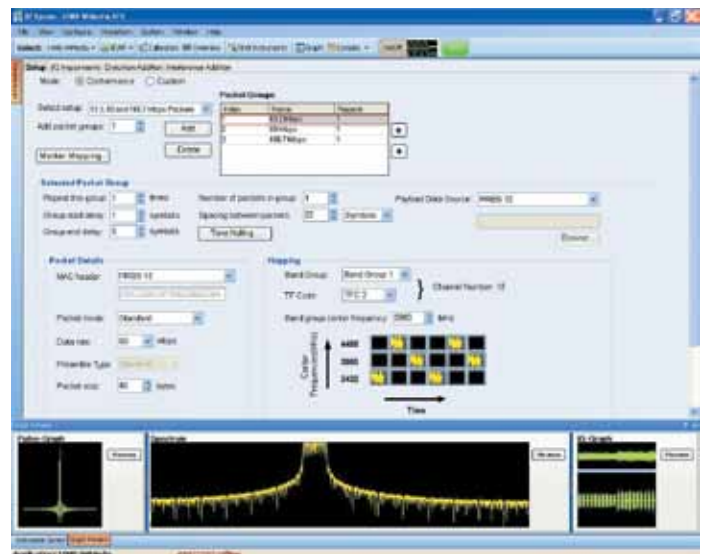


Рис. 40. ПО RFXpress легко создает сложные сигналы со сверхширокой полосой.

Источники логических сигналов

Типы источников логических сигналов

Источники логических сигналов представляют собой специализированные приборы, отвечающие специфическим требованиям тестирования цифрового оборудования. Они отвечают требованиям специальных испытательных сигналов для цифровых устройств, требующих длинных, непрерывных двоичных последовательностей со специальным содержанием и временными характеристиками. Источники логических сигналов можно разделить на два класса – генераторы импульсных последовательностей и генераторы временных соотношений.

Генераторы импульсных последовательностей (PPG)

Генераторы импульсных последовательностей выводят меандр или поток импульсов на небольшое число выходов, обычно с очень высокой частотой. Если поток импульсов не модулирован, он обычно не содержит никакой информации (данных). Тем не менее, высокая частота и крутые фронты импульсного генератора превращают его в идеальный прибор для тестирования высокоскоростного цифрового оборудования.

Генераторы временных соотношений (DTG)

Если AWG и AFG предназначены в первую очередь для генерации аналоговых сигналов, задача генератора временных соотношений заключается в создании больших объемов двоичной информации. Генератор временных соотношений, известный также, как генератор кодовых последовательностей или генератор данных, создает потоки нулей и единиц, необходимые для тестирования компьютерных шин, микропроцессоров и других цифровых элементов.

В конструкторских отделах генератор временных соотношений является ценным источником испытательных сигналов почти для всех классов цифровых устройств. Грубо говоря, DTG полезен для функционального тестирования, отладки новых схем и анализа отказов существующих схем. Кроме того, он незаменим для измерения допусков на временные и амплитудные характеристики.

DTG может использоваться на ранних этапах проектирования для подмены несуществующих пока системных компонентов. Например, его можно запрограммировать так, чтобы он выраба-

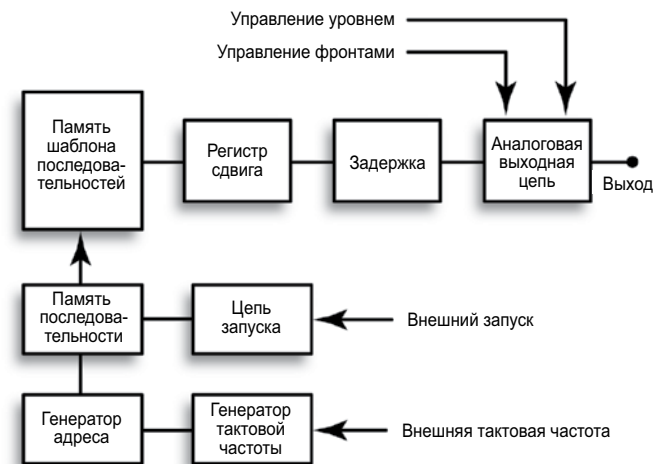


Рис. 41. Упрощенная архитектура PPG или DTG.

тывал прерывания и данные для вновь разрабатываемой шины, если процессор, который должен выдавать эти сигналы, еще не существует. Аналогичным образом, DTG может подавать адрес на шину памяти или даже цифровой эквивалент синусоиды на тестируемый ЦАП.

Благодаря возможности создавать очень длинные последовательности и вносить случайные ошибки в потоки данных, DTG поддерживает долговременные тесты на надежность, обеспечивающие соответствие военным и аэрокосмическим стандартам. Кроме того, возможность реагировать на внешние события, поступающие от исследуемого устройства, дает дополнительную гибкость в требовательных приложениях.

С не меньшим успехом DTG может применяться для тестирования полупроводниковых приборов, таких как специализированные микросхемы и программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), или дисковых накопителей – цепей записи жестких дисков и DVD. В равной степени он полезен для тестирования датчиков изображения на ПЗС и драйверов/контроллеров ЖК-дисплеев. DTG является эффективным решением практически во всех случаях, когда приходится создавать сложные двоичные последовательности.

Подобно AWG и AFG, DTG содержит генератор адреса, память сигналов (или последовательностей), регистр сдвига и т.п. Однако ЦАП в схеме DTG отсутствует. ЦАП не нужен потому, что генератору последовательностей не нужно воспроизводить непрерывно меняющиеся уровни аналоговых сигналов. И хотя DTG имеет аналоговую выходную цепь, эта цепь используется для установки напряжений и параметров фронтов, применимых ко всей последовательности – большинство DTG позволяют программировать уровни логической единицы и нуля.

DTG имеет специальные функции, предназначенные для тестирования джиттера и временных соотношений. Некоторые современные DTG имеют на передней панели простые органы управления, позволяющие перемещать все или выбранные фронты шагами по 0,2 пс в пределах 5 и более наносекунд. Такие небольшие изменения временных соотношений моделируют классический джиттер, в котором фронт импульса беспорядочно смещается относительно номинального центрального положения. Вы можете тестировать допуски на джиттер, изменяя временные сдвиги фронтов относительно сигнала тактовой частоты и наблюдая производимый эффект.

Лучшие современные DTG позволяют применять этот джиттер ко всей последовательности или только к отдельным импульсам с помощью функции маскирования, выделяющей указанные фронты. На рис 42 показан экран осциллографа с цифровым люминофором (DPO) с захваченным выходным сигналом генератора последовательностей с добавленным джиттером. На вставке показан упрощенный и увеличенный вид того же события.

Другие функции придают современному DTG дополнительную гибкость для ответственного тестирования джиттера. Некоторые приборы оборудованы входом внешнего аналогового модулирующего сигнала, который управляет сдвигом фронта (в пикосекундах) и скоростью, с которой он происходит. Имея под рукой столько параметров для управления джиттером, вы можете подвергнуть исследуемое устройство широкому диапазону воздействий, встречающихся в реальных условиях.

Схема задержки играет вторую, не менее важную роль в тестировании проблем синхронизации, таких как нарушение условий



Рис. 42. DTG использует небольшие смещения по времени для имитации джиттера.

установки и удержания. Многие тактируемые устройства требуют, чтобы сигнал данных появлялся на несколько фемтосекунд раньше фронта импульса тактовой частоты (время установки) и оставался действительным в течение нескольких фемтосекунд после спада импульса тактовой частоты (время удержания). Схема задержки позволяет легко реализовать эти условия. Также, как она может сдвинуть фронт сигнала на несколько пикосекунд, она может сдвинуть его и на несколько сотен пикосекунд или даже сотен наносекунд. Это как раз то, что нужно для оценки времени установки и удержания. В ходе этого теста выполняется сдвиг фронтов и спадов входных данных на доли наносекунды при постоянном положении фронтов тактовой частоты. Результирующий выходной сигнал исследуемого устройства регистрируется осциллографом или логическим анализатором. Когда исследуемое устройство начинает выдавать достоверные данные, соответствующие входному сигналу, положение переднего фронта данных соответствует времени установки. Кроме того, этот подход можно использовать для выявления метастабильных условий, в которых состояние выхода исследуемого устройства становится непредсказуемым.

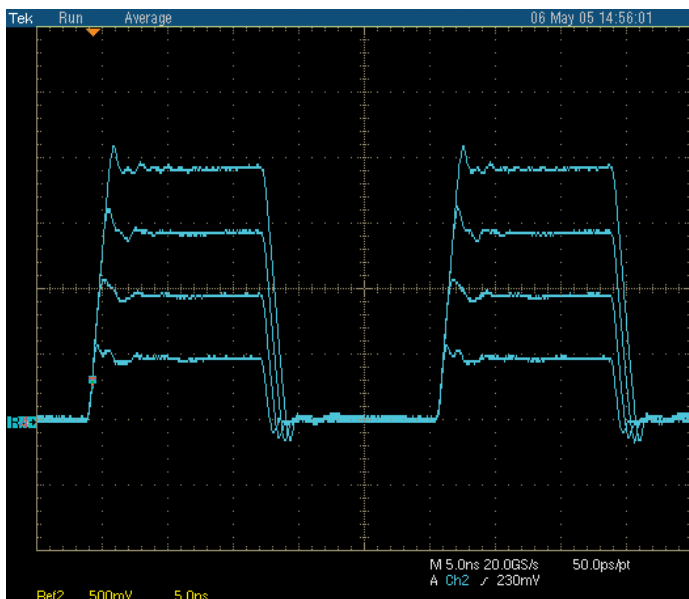


Рис. 43. Программируемые флуктуации напряжения на выходе генератора последовательностей позволяют применять один и тот же уровень напряжения ко всей последовательности.

И хотя функционал DTG не включает общих операций обработки сигнала, таких как фильтрация, он, тем не менее, предлагает некоторые средства манипуляции выходным сигналом. Необходимость в таких функциях возникает потому, что проблемы цифровых схем не ограничиваются только цифровыми проблемами, такими как джиттер и нарушение синхронизации. Некоторые отказы связаны с аналоговыми явлениями, такими как беспорядочно меняющиеся уровни напряжения или пологие фронты. Генератор последовательностей должен уметь моделировать оба явления.

Флуктуации напряжения испытательного сигнала являются основным средством тестирования в предельных режимах. Подавая на цифровое устройство изменяющиеся уровни напряжения, особенно уровни немного ниже порога логической единицы, можно предсказать поведение и надежность устройства в целом. Исследуемое устройство с перемежающимися (и трудно регистрируемыми) отказами практически наверняка попадет в разряд «сложных» отказов при снижении напряжения.

На рис. 43 показан результат настройки DTG на генерацию нескольких дискретных логических уровней. В данном случае результаты нескольких инструкций показаны одновременно, но в реальности прибор применяет один уровень напряжения ко всей последовательности.

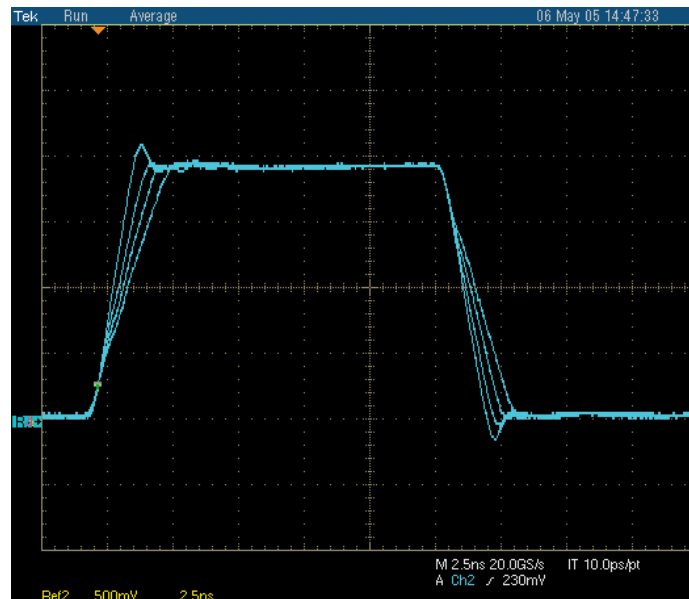


Рис. 44. Программируемые флуктуации длительности фронта на выходе генератора последовательностей.

Другой распространенной причиной проблем в цифровых устройствах являются длительности переходов (или фронтов). Импульс с длинным фронтом может привести к несвоевременному срабатыванию логической схемы и нарушить ввод данных. Длинные фронты печально известны своей способностью порождать так называемое «сосязание сигналов» – еще одну причину перемежающихся отказов. Совокупность разных конструктивных особенностей, в частности, распределенные емкости и индуктивности, может ухудшать фронт импульса по мере прохождения его от источника к точке назначения. Поэтому инженеры пытаются добиться того, чтобы их схемы могли работать с широким диапазоном длительности фронта. Аналогично флуктуациям напряжения, затягивание фронта импульса является частью каждого тестирования в предельных режимах и проверки допусков. Флуктуации длительности фронта реализуются с помощью «Преобразователей времени перехода», подключенных к выходу DTG. Рис. 44 иллюстрирует эффект программируемых флуктуаций длительности фронта.

Поскольку DTG ориентирован исключительно на цифровое тестирование, он обладает специальными возможностями, отсутствующими у AWG и AFG, такими как сложный секвенсор, несколько выходов, разные источники последовательностей и специальный дисплей.

Никакой объем внутренней памяти не позволит сохранить многие миллионы слов (известных также, как векторы), необходимых для тщательного тестирования цифрового устройства. Поэтому генераторы последовательностей оборудованы сложными секвенсорами – абсолютно необходимыми в мире генерации данных и последовательностей. Генератор последовательностей должен выдавать чрезвычайно длинные и сложные последовательности, и должен реагировать на внешние события – обычно на выходные сигналы исследуемого устройства, вызывающие условные ветвления в секвенсоре генератора. И хотя объем памяти последовательностей DTG обычно не превышает 64 миллионов битов на канал, секвенсор DTG, подобно AWG, обладает способностью зацикливать короткие сегменты последовательности для получения потоков данных значительно большей длины. Он может ждать появления внешнего события и затем выполнять серию повторяющихся отсчетов или условных переходов. Кроме того, секвенсор DTG поддерживает многоуровневое вложенное зацикливание и ветвление. Этот инструмент может управляться обычными командами программирования и генерировать адреса, данные, такты и управляющие сигналы практически для всех мыслимых цифровых устройств. Секвенсор DTG обладает уникальной способностью бесконечного расширения последовательности. Алгоритм на рис. 45 показывает, как несколько коротких инструкций и сегментов последовательности разворачиваются в миллионы строк испытательных данных.

Наличие нескольких выходов также превращает DTG в идеальный прибор для цифровых приложений. В то время как AWG и AFG могут иметь два или четыре выхода, генератор последовательностей предлагает 8, 32 или даже сотни выходных каналов для поддержки многочисленных линий данных и/или адреса типичных цифровых устройств. Поскольку ручной ввод сложных цифровых последовательностей может оказаться невероятно трудоемким и, к тому же, подвержен ошибкам, современные DTG должны обладать возможностью ввода данных из логических анализаторов, осциллографов, имитаторов и даже из табличных процессоров. Кроме того, цифровые данные можно получать на разных этапах моделирования и проверки разрабатываемых схем.

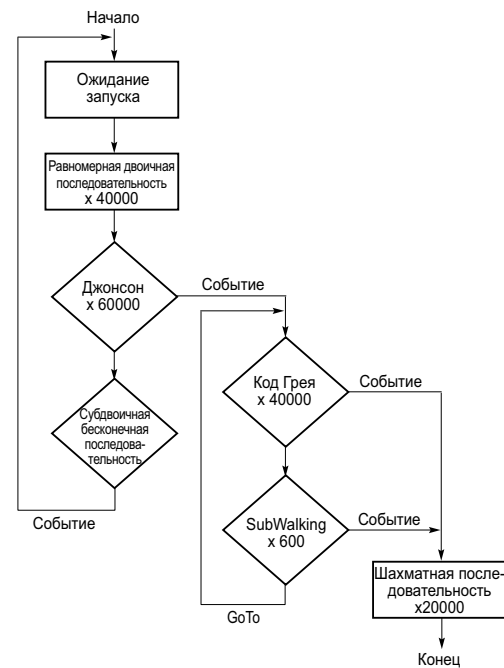


Рис. 45. Алгоритм работы секвенсора DTG, демонстрирующий циклы и условные ветвления.

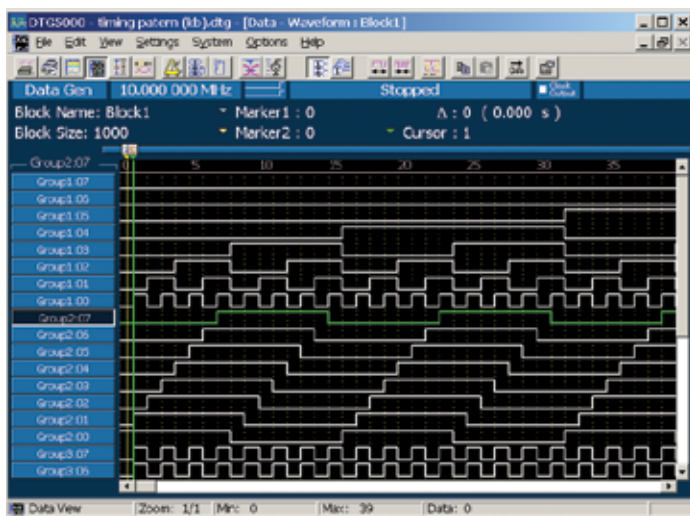


Рис. 46. Многоканальное представление шины в DTG.

Кроме того, дисплей DTG должен выделять детали нескольких каналов одновременно, а не детали зависимости амплитуды сигнала от времени (как на дисплее AWG). Он должен предлагать маркеры, прокрутку и другие удобные функции, позволяющие сфокусироваться на интересующих данных. На рис. 46 приведен пример многоканального отображения последовательности.

И, наконец, DTG часто используется в тестах, критичных к характеристикам фронтов, включая точность напряжения, скорость нарастания и положение фронта. К сожалению, простого вывода высококачественного сигнала на разъем передней панели прибора недостаточно. Зачастую сигнал должен поступать на



Рис. 47. Генератор последовательностей DG2020A с выносным интерфейсом.

тестовую оснастку через разъемы и кабели длиной более одного метра, что существенно ухудшает временные характеристики и фронты сигнала. Некоторые современные генераторы последовательностей решают эту проблему с помощью выносных интерфейсов, которые буферизуют сигнал и позволяют сохранить характеристики прибора на всем пути к исследуемому устройству. На рис. 47 показан генератор последовательностей DG2020A с выносным интерфейсом. Этот интерфейс минимизирует ухудшение фронтов, вызванные емкостью кабелей, и обеспечивает достаточный входной ток для исследуемого устройства без «просадки» сигнала.

Системы и органы управления источника логических сигналов

На рис. 48 показан расширенный источник логических сигналов – генератор временных соотношений Tektronix DTG5334.

Подобно генератору смешанных сигналов, источник логических сигналов предлагает функции, вызываемые через меню, плюс кнопки прямого доступа на передней панели, ускоряющие работу с часто применяемыми функциями, такими как регулировка временных параметров и уровня. Современные источники логических сигналов должны содержать специализированные, дружественные функции для управления цифровыми параметрами, плюс широкий диапазон средств проектирования последовательностей, что заметно отличает их от AWG.

Экран управления временными параметрами прибора, показанного на рис. 48, построен на основе Windows. Другие модели могут использовать разного рода специальные интерфейсы. Среда Windows выгодно отличается тем, что обеспечивает простое подключение к стандартным сетям, периферийным устройствам и портам ввода/вывода, таким как USB. Как уже объяснялось в разделе AWG, экран редактирования/управления позволяет создавать последовательности, настраивать уровни и осуществлять общий ввод данных. Некоторые источники логических сигналов оборудованы отдельным выходом VGA (в дополнение к встроенному дисплею), который можно использовать для подключения больших внешних мониторов.

Многие приборы имеют на передней панели **кнопки быстрого доступа** для вызова часто используемых функций: настройки значений данных и установки значений времени и амплитуды. Эти кнопки экономят время, позволяя обойтись без разветвленной системы меню.

Кнопка **Пуск/Останов последовательности** позволяет запустить сохраненную последовательность. При выполнении определенных условий нажатие этой кнопки приводит к тому, что последовательности данных начинают поступать на главные входные разъемы. Обычно эти условия заключаются в следующем: присутствует сигнал запуска (поступающий либо от кнопки **Ручного запуска**, либо со входа **Внешнего запуска**), выход разрешен кнопкой **Выход Вкл/Откл**. Обычно кнопка **Выход Вкл/Откл** используется для отключения сигнала во время разработки программы для предотвращения подачи данных на подключенное устройство.



Рис. 48. Высокопроизводительный источник логических сигналов – генератор временных соотношений Tektronix DTG5334.

Клавиши **Меню/Навигации**, **Поворотная ручка** и **Цифровая клавиатура** используется для разработки программ. Клавиши Меню/Навигации открывают меню, тогда как Поворотная ручка и Клавиатура облегчают ввод численных данных – временных параметров, двоичных данных и т.п.

В свете различия электрических параметров семейств современной логики и шин, предпочтительным решением становятся модульные выходы. Модули могут оптимизироваться для специфических значений импеданса, тока и напряжения конкретного семейства логики, гарантируя максимальную точность в интересующем вас диапазоне. Кроме того, модульные выходы позволяют сэкономить на цене ненужных модулей. Можно оборудовать прибор любым числом выходных модулей – от одного до 32.

Хоть и не выведенные на переднюю панель, но, тем не менее, важные – выходы сигналов синхронизации на задней панели прибора. Эти сигналы можно использовать для синхронизации регистрирующих приборов, самого исследуемого устройства или даже других источников сигнала. Обратите внимание, что имеется также выход синхросигнала на передней панели, который можно использовать для повседневной работы.

Описание параметров

Источники цифровых сигналов имеют много общих параметров со своими собратьями AWG и AFG.

Скорость передачи данных

Скорость передачи данных – это скорость, с которой источник цифрового сигнала может подавать на выход полные циклы двоичной информации. При этом конкретный бит данных в пределах цикла может менять или не менять свое состояние. Время между границами цикла определяет скорость данных в мегабитах или гигабитах в секунду.

Объем последовательностей

Подобно объему памяти AWG, объем последовательностей определяет максимальный объем данных, которые можно сохранить для создания последовательностей. Чем больше память, тем больше изменений в последовательностях можно сохранить. Для создания практически бесконечной последовательности из фрагментов, источник цифрового сигнала использует секвенсор.

Вертикальное разрешение (по амплитуде)

Вертикальным разрешением (разрешением по амплитуде) называется минимальное приращение напряжения, которое можно запрограммировать в источнике сигнала. В цифровом контексте, эта величина относится к логическим уровням, настраиваемым для данного семейства устройств. Хотя номинально эти уровни считаются «фиксированными», их можно изменять в пределах определенного диапазона для тестирования в предельных режимах (например, при пониженном напряжении). Вертикальное разрешение определяет возможные приращения таких изменений.

Горизонтальное разрешение (по времени)

Горизонтальное разрешение (разрешение по времени) определяет минимальное приращение времени, с которым можно изменять длительность фронта, периода или импульса.

Число выходных каналов

В отличие от своих аналоговых собратьев, источники цифровых последовательностей обычно подают сигнал сразу на несколько входов исследуемого устройства. Одному цифровому компоненту или шине может потребоваться 8, 16 и более выходов источника сигнала. При этом прибор должен предоставлять средства объединения этих сигналов в группы, в которых несколько сигналов управляются, как одно целое. Типичным примером является объединение всех сигналов адреса в одну группу, всех сигналов данных в другую группу, а сигналов разрешения записи в третью группу. Такой формат позволяет одновременно изменять напряжение на всех адресных линиях, что необходимо, например, для тестирования в предельных режимах.

Планирование последовательностей

Планирование последовательностей составляет основу генератора цифровых последовательностей. Используя конструкции, свойственные языкам программирования, такие как циклы и переходы, встроенный секвенсор генератора может переключаться между многими, независимо определенными блоками данных. Блок представляет собой сегмент некоторой длины, например, 512 циклов, который можно использовать многократно. Это позволяет создать множество вариаций, которые могут применяться для тщательной проверки цифровых устройств.

Встроенные редакторы

Для повышения удобства редактирования цифровых последовательностей нужны средства редактирования. Некоторые высокопроизводительные источники цифрового сигнала имеют встроенные функции редактирования, которые позволяют обойтись без внешнего компьютера и редактора. Эти редакторы позволяют настраивать тактовые частоты и потоки данных, а также предлагают возможность просмотра сигналов на экране прибора. Альтернативные табличные редакторы используют знакомый формат табличных процессоров для конструирования последовательностей с помощью традиционных методов вырезания и вставки.

Функции импорта данных

Современные источники цифровых последовательностей могут импортировать последовательности из систем автоматизированного проектирования или других приборов. Это очень полезно для проверки разрабатываемых схем, поскольку позволяет обойтись без разработки специальных последовательностей для проверки прототипа и экономит массу времени.



Рис. 49. Экран редактирования/управления

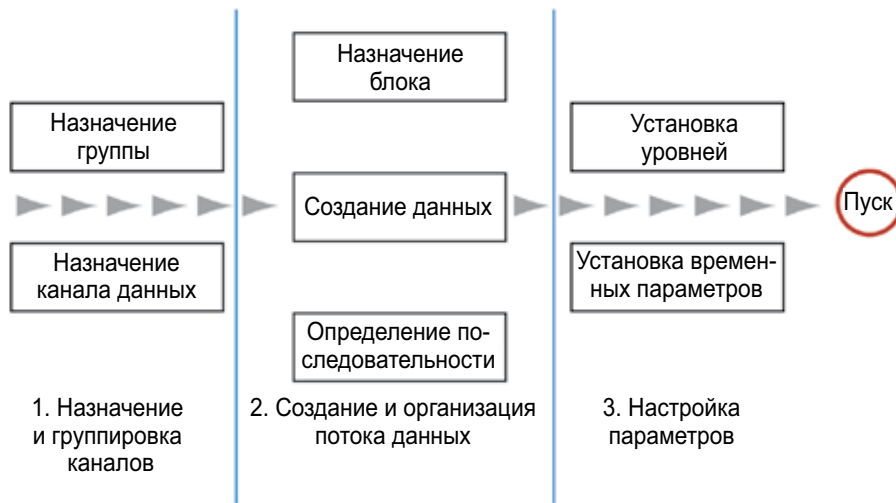


Рис. 50. Этапы создания цифровых сигналов с помощью источника цифровых сигналов

Создание сигналов с помощью источника логических сигналов

Для создания испытательных цифровых сигналов, которые будут подаваться на исследуемое устройство, используется процедура, отличающаяся от аналогичной процедуры в аналоговых системах. В высокопроизводительном источнике логических сигналов процесс складывается из этапов определения групп подобных сигналов, применения к ним шаблонов тактовой частоты и данных и установки логических уровней.

На рис. 49 показан экран редактирования сигналов генератора серии DTG5000. На рис. 50 приведена упрощенная блок-схема этапов проектирования цифрового сигнала в источнике логических сигналов.

В соответствии с требованиями цифровых устройств, источник логических сигналов позволяет группировать каналы данных в соответствии с входными и выходными контактами устройства. Это позволяет распределить информацию, сохраненную в памяти прибора, по выбранным выходным каналам. Большинство цифровых исследуемых устройств имеют группы тактовых частот, адреса и данных, и эти группы можно распределить по эквивалентным группам каналов источника логических сигналов. Такая архитектура позволяет изменять такие значения, как напряжение или задержка, в пределах целой группы каналов, а не по одному каналу поочередно.

На следующем этапе создаются «блоки» последовательностей, из которых будет складываться последовательность. Блок представляет собой фрагмент последовательности определенной

длины, например, 1024 бита. Стандартный подход заключается в создании пакета блоков, который можно использовать в различных последовательностях по мере исполнения тестовой последовательности.

После определения нужного числа блоков нужно заполнить эти блоки данными. Некоторые источники логических сигналов предлагают библиотеки готовых последовательностей в классических форматах: «Бегущие единицы», «Шахматная доска», «Код Грея» и так далее. Чередуя блоки, можно подать на исследуемое устройство множество разных последовательностей. С этой работой помогает справиться встроенный редактор последовательностей. Программирование последовательности сводится к простому заполнению таблицы инструкциями, определяющими порядок блоков, число повторений и другие условия, такие как циклы и переходы.

На последнем этапе создания сигнала указываются логические уровни и временные характеристики, которые будут применяться к исследуемому устройству. В современном электронном оборудовании применяется множество семейств логических элементов с различными требованиями к логическим уровням. К счастью, для удовлетворения этих требований современные источники цифровых сигналов предлагают готовые настройки (не исключая возможность произвольной установки). Другие настраиваемые параметры включают сопротивление и напряжение оконечной нагрузки, методы кодирования (RZ, NRZ и т.п.), тактовые частоты, задержки фронтов и многое другое. И снова, ввод всех этих данных осуществляется через простые таблицы.

Заключение

Многие инженеры считают задачи диагностики неисправностей и проверки разрабатываемых схем чисто «измерительными» проблемами и подсознательно считают, что для решения таких проблем вполне достаточно осциллографа или логического анализатора. Однако этим регистрирующим приборам необходим важный партнер: источник воздействий – генератор сигналов.

Сочетание воздействующих приборов с регистрирующими приборами позволяет получить полное решение, способное подавать на исследуемое устройство сложные реалистичные сигналы и регистрировать результирующие выходные параметры. Осциллограф является стандартным регистрирующим прибором. Но лишь генератор сигналов позволяет реально контролировать то, что поступает на вход устройства. А это необходимо для полного понимания того, что будет происходить на выходе этого устройства.

Аналогичным образом генераторы сигналов позволяют выполнять проверку допусков и измерение характеристик. Работая с генератором сигналов и с осциллографом или с логическим анализатором, инженеры могут определять предельные режимы работы своих устройств, намеренно создавая максимально неблагоприятные условия с помощью источника сигналов и измеряя результаты с помощью осциллографа или захватывая данные логическим анализатором при возникновении ошибок.

В любых приложениях – от разработки дисковых накопителей до тестирования на соответствие коммуникационным стандартам – генераторы сигналов и регистрирующие приборы работают в одной упряжке, образуя законченное контрольно-измерительное решение.

Глоссарий

NRZ (без возврата к нулю) – типичная цифровая последовательность (вид кодирования), в которой сигнал переключается в “1” при появлении в цикле достоверного бита и остается в таком состоянии до границы следующего цикла (при условии, что цикл начинается с двоичного “0”).

Аберрация – положительный или отрицательный выброс сигнала

Амплитуда – уровень сигнала (в русскоязычной литературе амплитудой называют размах или максимальное значение переменной величины, прим. пер.). В электронике обычно рассматриваются амплитудные значения напряжения или мощности сигнала.

Амплитудная манипуляция (АМн) – разновидность цифровой модуляции, в которой цифровой модулирующий сигнал переключает выходной сигнал между двумя значениями амплитуды.

Амплитудная модуляция (АМ) – разновидность аналоговой модуляции, когда изменения амплитуды накладывает низкочастотную информацию на сигнал несущей высокой частоты; чаще всего используется в радиовещании.

Аналоговый сигнал – сигнал, напряжение которого непрерывно изменяется.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – цифровой электронный компонент, преобразующий непрерывный аналоговый сигнал в пропорциональные дискретные двоичные (цифровые) значения.

Блок – фрагмент последовательности выбранной длины, например, 1024 бита; составная часть цифровой последовательности на выходе источника логических сигналов.

Быстрая перестройка – возможность быстрого и чистого перехода с одной частоты на другую

Вертикальное разрешение – минимальное приращение напряжения, которое можно запрограммировать в генераторе сигналов; разрядность двоичного слова ЦАП, в битах, которая определяет точность амплитуды и искажения воспроизводимого сигнала.

Возврат к единице (R1) – широко распространенный цифровой метод кодирования, в котором сигнал переходит в “0” при появлении достоверного бита и затем возвращается к “1” в том же самом цикле (при условии, что цикл начинается с двоичной “1”).

Возврат к нулю (RZ) – широко распространенный цифровой метод кодирования, в котором сигнал переходит в “1” при появлении достоверного бита и затем возвращается к “0” в том же самом цикле (при условии, что цикл начинается с двоичного “0”).

Волна – общий термин, обозначающий форму, периодически повторяющуюся со временем. Распространенные типы волны включают синус, меандр, прямоугольник, пилу, треугольник, перепад, импульс; может быть периодической, непериодической, синхронной, асинхронной.

Вольт – единица измерения напряжения.

Встроенный редактор – встроенное в генератор сигналов средство редактирования, позволяющее легко изменять сигналы, как по времени, так и по амплитуде.

Вход события – используется в сочетании с функцией планирования последовательностей генератора сигналов. При поступлении сигнала на вход события (логического сигнала ТТЛ), генератор сигналов переходит к следующей строке или сигналу последовательности.

Выборки – точки данных, каждая из которых представляет собой мгновенное значение напряжения сигнала, измеренные через определенные промежутки времени; для расчета точек сигнала используются необработанные данные с АЦП.

Выход маркера – разновидность цифрового выхода, выводящего двоичный сигнал, синхронный с основным аналоговым выходным сигналом; обычно поступает из памяти, независимой от основной памяти сигнала.

Выходной сигнал – аналоговый сигнал или цифровая последовательность, поступающие на выходные разъемы генератора.

Генератор временных соотношений – подобен генератору импульсов с дополнительной возможностью управления временными характеристиками импульсов, такими как задержка или межканальный сдвиг; может поддерживать параметрическое управление напряжением и фронтами выходного сигнала.

Генератор импульсных последовательностей – разновидность источника логических сигналов, который может выводить поток импульсов на небольшое число выходов, обычно с очень высокой частотой; известен также, как генератор импульсов.

Генератор последовательностей – разновидность источника логических сигналов, генерирующего цифровые последовательности по нескольким каналам; известен также, как генератор данных.

Генератор свипирования – генератор стандартных функций, способный изменять частоту сигнала, обычно синусоиды, по определенному закону.

Генератор сигналов произвольной формы (AWG) – тип генератора аналоговых/смешанных сигналов, в памяти которого возможно создание аналогового сигнала произвольной формы; сложная система воспроизведения, генерирующая сигналы на основе сохраненных цифровых данных, описывающих непрерывно изменяющиеся уровни напряжения сигнала переменного тока.

Генератор сигналов произвольной формы и стандартных функций (AFG) – тип генератора аналоговых/смешанных сигналов, генерирующего стабильные сигналы стандартных форм.

Генератор сигналов стандартных функций – разновидность генератора сигналов, генерирующего фундаментальные сигналы, такие как синусоида или меандр.

Генератор смешанных сигналов – тип генератора сигналов, такого как генератор сигналов произвольной формы или генератор стандартных функций, способного создавать как аналоговые сигналы, так и цифровые последовательности.

Генератор тактовой частоты – генератор сигналов, способный выводить только прямоугольные сигналы; преимущественно используется в качестве источника тактовой частоты.

Генератор цифровых последовательностей – тип генератора сигналов, который генерирует один или несколько потоков цифровых последовательностей; известен также, как генератор последовательностей или генератор данных.

Генератор цифровых сигналов – разновидность генератора сигналов, который выводит цифровые последовательности; известен также, как источник логических сигналов.

Гигагерц (ГГц) – 1000 000 000 Гц; единица измерения частоты.

Глитч – высокочастотная непериодическая импульсная помеха.

Горизонтальное разрешение – минимальное приращение времени, которое можно использовать для создания сигналов; минимальное приращение времени, с которым можно изменять длительность фронта, период или длительность импульса.

Графический редактор – встроенный в генератор сигналов инструмент, позволяющий создавать и просматривать сигналы; затем результирующие данные компилируются и сохраняются в памяти сигналов.

Датчик – устройство, преобразующее некоторую физическую величину, например, звук, давление, деформацию или яркость света, в электрический сигнал.

Двойной размах (Vпик-пик) – напряжение, измеренное от максимального уровня сигнала до его минимального уровня.

Джиттер – тип искажения сигнала, проявляющийся в «дрожании» фазы фронтов.

Динамический диапазон, свободный от паразитных составляющих (SFDR) – отношение максимального уровня сигнала генератора к его шуму.

Дискретизация – процесс, используемый для описания аналогового сигнала с помощью набора выборок или точек данных, представляющих собой последовательные выборки напряжений.

Дифференциальный выход – выход, использующий два сигнальных тракта для передачи двух копий одного и того же сигнала равной амплитуды, причем один сигнал передается инверсным. Амплитуды таких сигналов измеряется друг относительно друга, а не относительно земли.

Длина записи – число точек сигнала, используемых для создания записи сигнала; называется объемом памяти в генераторах аналоговых/смешанных сигналов и объемом цифровых последовательностей в генераторах логических сигналов.

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 спада – время, необходимое импульсу для перехода в состояние, противоположное текущему (для положительного перепада – время перехода от низкого уровня к высокому; для отрицательного перепада – время перехода от высокого уровня к низкому).

Длительность фронта – время, необходимое импульсу для перехода в состояние, противоположное текущему; длительность положительного перепада – время перехода от низкого уровня к высокому, длительность отрицательного перепада – время перехода от высокого уровня к низкому.

Достоверность сигнала – точность реконструкции сигнала, определяемая системой и параметрами воздействующего или регистрирующего прибора.

Задержанный без возврата к нулю (DNRZ) – типичная цифровая последовательность (вид кодирования), в которой сигнал переключается в “1” через указанное время после появления в цикле достоверного бита и остается в таком состоянии до начала следующего цикла (при условии, что цикл начинается с двоичного “0”).

Задержка – сдвиг по времени между двумя одинаковыми сигналами; известна также, как сдвиг фазы.

Затухающая синусоида – разновидность колебания, возникающего в цепи под воздействием импульса, и затухающего со временем.

Измерение характеристик – стандартная прикладная задача, в которой генератор сигналов используется для определения предельных рабочих параметров компонента, устройства или системы; прикладная задача, в которой выполняется тестирование в предельных режимах или проверка допусков.

Импульс – широко используемый сигнал с коротким фронтом, некоторой длительностью и коротким спадом.

Искажение – результат воздействия на сигнал паразитных факторов, таких как распределенная емкость, взаимовлияние и т.п.

Исследуемое устройство (ИУ) – устройство, на котором выполняются измерения; синоним тестируемого устройства (ТУ).

Источник или генератор сигналов – контрольно-измерительный прибор, используемый для подачи сигнала на вход исследуемой схемы; сигнал с выхода этой схемы считывается осциллографом или логическим анализатором.

Источник логических сигналов – разновидность генератора сигналов, выводящего цифровые последовательности, например, генератор импульсов или последовательностей.

Квадратурная модуляция (IQ) – разновидность модуляции, в которой две несущие – синфазная (I) и квадратурная (Q) – объединяются и передаются по одному каналу, а на приемной стороне разделяются и демодулируются; широко применяется в современных сетях беспроводной связи.

Килогерц (кГц) – 1000 Гц; единица измерения частоты.

Комплементарный выход – выход, использующий два сигнальных тракта для передачи двух копий одного и того же сигнала равной амплитуды, причем один сигнал передается инверсным.

Коэффициент заполнения – отношение длительности импульса к периоду (в русскоязычной литературе используется понятие «скважность» – отношение периода импульса к его длительности, прим. пер.)

Курсор – экранный маркер, который можно совмещать с сигналом для выполнения точных измерений; в генераторе сигналов курсор используется для выбора области сигнала, в которой его можно изменять.

Линейное нарастание – переход между двумя уровнями напряжения, при котором напряжение изменяется с постоянной скоростью.

Логический анализатор – прибор, используемый для отображения во времени логических состояний нескольких цифровых сигналов; прибор, который анализирует цифровые данные и может представить данные в виде исполняемой в реальном времени программы, потока значений, последовательности состояний и т.п.

Маркер – дополнительный выход генератор сигналов, отдельный от его основных выходов; вспомогательный цифровой канал, который можно использовать в качестве источника сигнала запуска для исследуемого устройства; вспомогательный цифровой канал, который можно использовать для вывода цифровой последовательности.

Меандр – широко используемый сигнал прямоугольной формы, у которого длительность импульса и длительность паузы равны.

Мегавыборка в секунду (Мвыб/с) – единица измерения частоты дискретизации, равная одному миллиону выборок в секунду.

Мегагерц (МГц) – 1000 000 Гц; единица измерения частоты.

Межсимвольная помеха – искажение или изменение сигнала в пределах одного цикла под воздействием состояния сигнала в предыдущем цикле.

Микросекунда (мкс) – единица измерения времени, равная 0,000001 секунды.

Миллисекунда (мс) – единица измерения времени, равная 0,001 секунды.

Моделирование – техника, используемая генератором сигналов для вывода сигнала, имитирующего выход устройства, используемого для тестирования другого устройства.

Модулированный сигнал – сигнал, изменение амплитуды, фазы или частоты которого накладывают на низкочастотную информацию на высокочастотный сигнал несущей.

Модуляция сигнала – процесс, в котором на амплитуду, фазу или частоту высокочастотной несущей накладывается низкочастотная полезная информация.

Наклон – наклон графика или кривой на экране прибора, отношение вертикального расстояния к горизонтальному; положительный наклон увеличивается слева направо, а отрицательный – уменьшается слева направо.

Наложение спектров – проникновение побочных продуктов преобразования в полезный диапазон частот

Наносекунда (нс) – единица измерения времени, равная 0,000000001 секунды.

Напряжение – разность электрических потенциалов между двумя точками; измеряется в Вольтах.

Непрерывный режим – режим работы генератора сигналов, в котором выходной сигнал начинается с начальной точки сигнала или последовательности и продолжается до его отключения.

Несимметричный выход – выход, использующий одну линию для передачи сигнала относительно земли.

Объем памяти – число точек, используемых для создания записи сигнала; определяет максимальный объем данных сигнала (эквивалентный времени), которые можно сохранить в генераторе аналоговых/смешанных сигналов.

Объем последовательности – число точек сигнала, используемых для создания записи сигнала; определяет максимальный объем данных (эквивалентный времени), которые могут сохраняться источником логических сигналов для генерации цифровых последовательностей.

Ослабление – уменьшение амплитуды сигнала при прохождении его из одной точки в другую.

Параллельный цифровой выход – разновидность цифрового выхода, который берет цифровые данные из той же памяти, что и основной аналоговый выход генератора сигналов, и выводит цифровые эквиваленты выборок сигнала, присутствующих на аналоговом выходе.

Пачка импульсов – набор импульсов, следующих группой.

Перепад – однократное резкое изменение напряжения.

Период – время, необходимое сигналу для выполнения одного цикла. Период равен 1/частота.

Пиковое значение (Vпик) – максимальный уровень напряжения, измеренный от опорного нулевого уровня.

Пилообразный сигнал – сигнал, напряжение которого в каждом периоде линейно нарастает до пикового значения, а затем быстро спадает.

Планирование последовательности – процесс, позволяющий создавать сигналы практически неограниченной длины, путем сохранения в памяти прибора большого числа «виртуальных» циклов сигнала и повторения этих циклов в соответствии с инструкциями редактора последовательностей.

Погрешность постоянного напряжения – разность между установленным напряжением и реальным выходным напряжением.

Подстановка – метод, применяемый для создания сигналов в генераторе; заключается в создании или изменении определенного сигнала для подмены сигнала отсутствующей цепи.

Полоса – диапазон частот, обычно ограниченный ослаблением сигнала на 3 дБ.

Полярность – направление протекания тока по отношению к нулевому уровню или уровню земли; обычно относится к полуволнам сигнала переменного тока – положительным и отрицательным.

Последовательность – см. цифровая последовательность

Проверка – широко распространенная процедура, в которой генератор сигналов используется для определения способности компонента, устройства или системы работать в соответствии с их назначением и промышленными стандартами.

Проверка допусков – стандартная задача, в которой генератор сигналов используется для тестирования компонентов, устройств или систем в предельных режимах с такими искажениями сигнала, как джиттер и нарушение временных соотношений, для определения пределов работоспособности; известна также, как тестирование в предельных режимах.

Прямоугольный сигнал – сигнал, близкий по характеристикам к меандру, за исключением того, что интервалы низкого и высокого уровня не равны между собой.

Псевдослучайная двоичная последовательность (PRBS) – последовательность, состоящая из чисел, которые выглядят случайными, но следуют в предсказуемом математическом порядке, повторяясь со случайной частотой; используется для создания случайного шума в цифровых системах.

Псевдослучайная последовательность слов (PRWS) – последовательность слов, определяющая способ представления нескольких псевдослучайных двоичных последовательностей на всех параллельных выходах генератора сигналов; часто используется для тестирования параллельно-последовательных преобразователей или мультимплексоров.

Равномерность – степень изменения уровня с изменением частоты синусоидального сигнала.

Разрешение по амплитуде – см. Вертикальное разрешение.

Разрешение по времени – см. Горизонтальное разрешение.

Редактор временных соотношений – встроенное в источник логических сигналов средство, позволяющее настраивать тактовые частоты и потоки данных, наблюдая изображение сигнала на экране прибора.

Редактор последовательностей – встроенный в генератор сигналов инструмент, позволяющий использовать инструкции, подобные инструкциям языков программирования (переходы, циклы и т.п.); эти инструкции хранятся в памяти последовательностей, отдельной от памяти сигналов, и позволяют многократно повторять указанные сегменты памяти сигналов.

Редактор уравнений – встроенный в генератор сигналов математический инструмент, позволяющий вводить переменные и операторы; затем прибор проверяет синтаксис, компилирует и сохраняет результирующий сигнал.

Репликация – метод создания сигнала с использованием сигнала, захваченного другим прибором, например осциллографом, и передачей его в генератор сигналов для воспроизведения.

Свидающая синусоида – разновидность синусоиды, частота которой периодически изменяется по определенному закону.

Сдвиг области – функция, присущая генераторам аналоговых/смешанных сигналов, которая сдвигает указанный фронт сигнала вправо или влево, в прямую или в противоположную сторону от запрограммированного центрального значения, позволяя имитировать джиттер и другие незначительные смещения, превышающие разрешающую способность прибора.

Сдвиг фазы – сдвиг по времени между двумя одинаковыми по другим параметрам сигналами, известен также, как задержка.

Сигнал – графическое представление волны и ее изменения во времени.

Сигнал произвольной формы – сигнал, создаваемый пользователем и не являющийся заранее определенным сигналом генератора.

Синусоида – широко используемый сигнал, определяемый математической формулой $\sin(x)$.

Синхросигнал – внешний сигнал или нажатие кнопки на передней панели, сообщающий генератору, когда начинать вывод указанного сигнала.

Система вертикального отклонения в генераторе сигналов – система, определяющая амплитуду и смещение выходного сигнала.

Система синхронизации в генераторе сигналов – система, определяющая условия, в которых прибор начинает выдавать сигнал на выход, при условии, что он не работает в непрерывном режиме.

Скорость передачи данных – скорость, с которой генератор цифровых сигналов может выводить полные циклы двоичной информации; обычно выражается в мегабитах или гигабитах в секунду.

Смещение – постоянная составляющая сигнала, содержащего переменную и постоянную составляющие; напряжение между землей и центром размаха сигнала.

Смещение уровня – вертикальное смещение сигнала (в вольтах) от нулевого уровня или уровня земли.

Счетчик повторения последовательности – управляющий механизм, используемый планировщиком последовательностей для определения числа рабочих циклов и порядка, в котором они появляются.

Табличный редактор – встроенное в источник логических сигналов средство, использующее формат, схожий с форматом табличных процессоров, для создания последовательностей с помощью стандартного метода вырезания и вставки.

Тактовая частота – см. Частота дискретизации.

Теорема дискретизации Котельникова – теорема, утверждающая, что для точного воспроизведения сигнала частота дискретизации (или тактовая частота) должна не менее чем в два раза превышать частоту самой высокочастотной составляющей дискретизируемого сигнала.

Тестируемый блок (UUT) – блок, на котором выполняются измерения; синоним исследуемого устройства (ИУ).

Технология прямого цифрового синтеза (DDS) – технология синтеза сигналов, в которой один источник тактовой частоты используется для получения всех необходимых частот в частотном диапазоне прибора; определяет скорость, с которой выборки извлекаются из памяти генератора сигналов.

Точка сигнала – цифровое значение, представляющее напряжение сигнала в указанный момент времени; вычисляется на основании выборки и сохраняется в памяти.

Уровень запуска – минимальный входной уровень, выраженный в Вольтах, необходимый внешнему синхросигналу для запуска прибора.

Фаза – этап колебательного процесса от начала одного периода до начала следующего периода, выраженный в градусах.

Фазовая манипуляция (ФМн) – разновидность цифровой модуляции, в которой цифровой модулирующий сигнал переключает выходной сигнал между двумя значениями фазы.

Фазовая модуляция (ФМ) – разновидность аналоговой модуляции, в которой изменения фазы накладывают низкочастотную информацию на сигнал несущей высокой частоты; чаще всего используется в радиовещании и радиосвязи.

Фильтрация – процесс удаления из сигнала определенных диапазонов частот; может использоваться для устранения нежелательного наложения спектров на выходе исследуемого устройства.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) – цифровой электронный компонент, преобразующий дискретные цифровые значения в аналоговый электрический сигнал.

Цифровая последовательность – несколько синхронизированных потоков импульсов, составляющих «слова» данных, шириной 8, 12, 16 и более битов.

Цифровой сигнал – сигнал, выборки напряжения которого представлены дискретными двоичными числами.

Частота – число колебаний за одну секунду, измеряется в герцах (периодах в секунду). Частота равна $1/\text{период}$.

Частота дискретизации – скорость, с которой генератор аналоговых/смешанных сигналов может выводить точки, составляющие полную форму сигнала, выражается обычно в мегавыборках или в гигавыборках в секунду; известна также, как частота выборки.

Частотная манипуляция (ЧМн) – разновидность цифровой модуляции, в которой цифровой модулирующий сигнал переключает выходной сигнал между двумя значениями частоты – центральной частотой и частотой отстройки.

Частотная модуляция (ЧМ) – разновидность аналоговой модуляции, в которой изменения частоты накладывают низкочастотную информацию на сигнал несущей высокой частоты; чаще всего используется в радиовещании и радиосвязи.

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) – разновидность цифровой модуляции, в которой модулирующий сигнал изменяет длительность активного импульса; применима только к импульсным сигналам; широко используется в цифровых аудиосистемах.

Шум – нежелательное напряжение или ток в электрической цепи.

Экран – область дисплея, на которой в визуальной форме отображаются сигналы.

Контактная информация:

Россия и СНГ +7 (495) 6647564

Австрия +41 52 675 3777
Ассоциация государств Юго-Восточной Азии /
Австралия (65) 6356 3900
Балканы, Израиль, Южная Африка
и другие страны ISE +41 52 675 3777
Бельгия 07 81 60166
Ближний Восток, Азия
и Северная Африка +41 52 675 3777
Бразилия и Южная Америка (55) 40669400
Великобритания и Ирландия +44 (0) 1344 392400
Германия +49 (221) 94 77 400
Гонконг (852) 2585-6688
Дания +45 80 88 1401
Индия (91) 80-22275577
Испания (+34) 901 988 054
Италия +39 (02) 25086 1
Канада 1 (800) 661-5625
Китайская Народная Республика 86 (10) 6235 1230
Люксембург +44 (0) 1344 392400
Мексика, Центральная Америка
и страны Карибского бассейна 52 (55) 54247900
Нидерланды 090 02 021797
Норвегия 800 16098
Польша +41 52 675 3777
Португалия 80 08 12370
Республика Корея 82 (2) 6917-5000
США 1 (800) 426-2200
Тайвань 886 (2) 2722-9622
Финляндия +41 52 675 3777
Франция +33 (0) 1 69 86 81 81
Центральная и Восточная Европа,
страны Балтии +41 52 675 3777
Центральная Европа и Греция +41 52 675 3777
Швейцария +41 52 675 3777
Швеция 020 08 80371
Южная Африка +27 11 206 8360
Япония 81 (3) 6714-3010

Из других стран звоните по телефону: 1 (503) 627-7111

Дополнительная информация

Компания Tektronix может предложить вам богатую, постоянно пополняемую библиотеку указаний по применению, технических описаний и других документов, которые адресованы инженерам, работающим на переднем крае технологий. Посетите сайт www.tektronix.ru.



Copyright © 2008, Tektronix. Все права защищены. Продукты Tektronix защищены патентами США и иностранными патентами как действующими, так и находящимися на рассмотрении. Информация, приведенная в этой публикации, заменяет информацию, приведенную во всех ранее опубликованных материалах. Компания оставляет за собой право изменения цены и технических характеристик. TEKTRONIX и TEK являются зарегистрированными товарными знаками компании Tektronix, Inc. Все другие упомянутые торговые наименования являются знаками обслуживания, товарными знаками или зарегистрированными товарными знаками соответствующих компаний.

2/08 FLG/WOW

76W-16672-5

Tektronix[®]