

Осциллографы премиум-класса InfiniiVision 4000X-Series корпорации Agilent

Владимир ДЬЯКОНОВ,
д. т. н., профессор

7 января 2014 года всемирно известная компания Agilent объявила о разделении на две независимые компании. При этом группа электронных измерений становится независимой компанией Keysight Technologies. К этому событию Agilent уже поставила на рынок (в том числе и в России) 16 моделей новейших осциллографов premium-класса с закрытой архитектурой 4000X-Series с расширенными функциональными возможностями, умеренной полосой частот и стоимостью. Приборы заслужили ряд международных наград, например Best Electronic Design в 2012-м и Best in Test в 2013 году. Настало время подробно познакомиться с этим чудом современной электроники.

Знакомство с осциллографами Agilent 4000X

Осциллограф — прибор, созданный для отображения быстро изменяющихся сигналов на экране. Он должен иметь дисплей отличного качества и высокую производительность. В идеале скорость отображения любого цифрового осциллографа должна быть соизмерима со скоростью отображения сигналов на любом аналоговом осциллографе. Agilent 4000X способен отображать до одного миллиона осциллограмм в секунду и имеет емкостный сенсорный дисплей с высоким разрешением (800×600 точек), экран которого отличается высокой чувствительностью при касании к нему пальцем или палочкой-стилузом, и удобным сенсорным управлением.

Появление на рынке осциллографов серии MSO4000X существенно меняет опыт применения этого класса приборов для поиска проблемных участков сигнала, поскольку позволяет обнаружить редкие неизвестные события и зафиксировать их на экране одним движением пальца, не прибегая к настройкам сложных условий запуска.

Осциллографы объединяют в одном корпусе умеренных габаритов сразу пять измерительных приборов: современный запоминающий цифровой осциллограф реального времени, 16-разрядный анализатор логических устройств с параллельными шинами, анализатор протоколов последовательных шин (с декодированием по протоколам ARINC 429, CAN, FlexRay, I²C, I²S, LIN, MIL-STD-1553, SPI, UART/RS-232, USB 2.0), цифровой вольтметр-частотомер и двухканальный генератор стандартных и произвольных сигналов функций с цифровым синтезом их

формы [1]. Только руководство пользователя, имеющееся в виде русскоязычного pdf-файла, по этим приборам занимает 548 страниц [2]. Приборы продолжили развитие серии бюджетных осциллографов класса X [3], но на более высоком уровне.

В таблице указаны основные модели осциллографов. Выпускаются 16 моделей цифровых запоминающих осциллографов DSO с 2–4 аналоговыми каналами и осциллографов смешанных сигналов MSO. Последние дополнительно имеют встроенный 16-канальный логический анализатор с частотой дискретизации 1,25 ГГц и рабочей частотой 200 МГц.

Таблица. Модели осциллографов InfiniiVision 4000X-Series корпорации Agilent

| Полоса | 200 МГц | 350 МГц | 500 МГц | 1 ГГц | 1,5 ГГц |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2–16 каналов | MSO-X 4022A | MSO-X 4032A | MSO-X 4052A | | |
| | MSO-X 4024A | MSO-X 4034A | MSO-X 4054A | MSO-X 4104A | MSO-X 4154A |
| 2 канала | DSO-X 4022A | DSO-X 4032A | DSO-X 4052A | | |
| 4 канала | DSO-X 4024A | DSO-X 4034A | DSO-X 4054A | DSO-X 4104A | DSO-X 4154A |

На все приборы дается 3-летняя гарантия, с возможностью расширения ее до пяти лет. Младшие модели — это бюджетные приборы массового применения, тогда как старшие представляют собой осциллографы premium-класса, но с умеренной стоимостью. Таким образом, пользователь может выбрать осциллограф, подходящий по полосе частот, числу каналов и стоимости. Все приборы могут быть модернизированы в процессе эксплуатации и по параметрам доведены до уровня старших моделей.

Внешний вид приборов

Внешний вид осциллографа InfiniiVision 4000X-Series показан на рис. 1. Прибор имеет большой емкостный сенсорный экран (с диагональю 12,1 дюйма, или 30,7 см) с разрешением 800×600 точек. Закрытая архитектура приборов этой серии и применение высокоскоростных 8-битовых аналого-цифровых преобразователей (АЦП) позволили довести частоту дискретизации исследуемых сигналов при чередовании каналов до 5 Гвыб./с (без чередования — 2,5 Гвыб./с) и полосу частот исследуемых сигналов до 1,5 ГГц. Габариты приборов — 454×275×156 мм, масса — 6,7 кг, потребляемая от сети мощность — всего 120 Вт.

По размерам (в том числе сенсорного дисплея), весу и стоимости они сравнимы с новейшими осциллографами высокой четкости HDO6000 корпорации Teledyne LeCroy. Но последние имеют открытую архитектуру,



Рис. 1. Внешний вид осциллографа Agilent серии 4000X с сенсорным экраном

частоту дискретизации 2,5 Гвыб./с на каждый канал при меньшей максимальной полосе частот (до 1 ГГц) и большей потребляемой мощности — до 350 Вт. Они имеют аппаратную реализацию 12-битовых канальных АЦП и в 4 раза меньшую заявленную погрешность коэффициентов отклонения каналов вертикального тракта (0,5% против 2% на постоянном токе). Что важнее при приобретении осциллографа — высокая скорость дискретизации или высокая изначальная четкость и точность, решать пользователю с учетом цены на конкретные модели [4].

Основные характеристики осциллографов Agilent 4000X

Приборы серии 4000X обладают следующими качествами и характеристиками:

- Высокая частота дискретизации у всех моделей: с чередованием каналов 5 Гвыб./с (без чередования — 2,5 Гвыб./с).
- Чувствительность по вертикали: от 1 мВ/дел. до 5 В/дел. при входе 1 МОм и до 1 В/дел. при входе 50 Ом.
- Погрешность на постоянном токе: 2%.
- Высокая скорость обновления сигналов на экране: 1 млн осциллограмм/с.
- Интеллектуальная быстродействующая память на основе технологии MegaZoom IV.
- Режим сегментированной памяти объемом 4 Мбайт в стандартной комплектации.
- Емкостный сенсорный дисплей и интерфейс, адаптированный для работы с сенсорным дисплеем.
- Большой экран с диагональю 12,1 дюйма (30,7 см) и разрешением 800×600 точек.
- Уникальная функция «запуска касанием» (InfiniiScan Zone), специально разработанная для сенсорного управления.
- Пять приборов в одном: осциллограф, логический анализатор (осциллограф смешанных сигналов), анализатор протоколов последовательных шин (включая USB), двухканальный генератор сигналов стандартной/произвольной формы WaveGen, 3-разрядный вольтметр-частотомер.
- Возможность полной модернизации, включая расширение полосы пропускания до 1,5 ГГц даже у младших моделей.

Интеграция в одном корпусе умеренных размеров сразу пяти приборов по-



Рис. 2. Рабочие места, оборудованные осциллографами Agilent серии 4000X

зволяет заметно уменьшить площадь рабочего места с новыми осциллографами (рис. 2) и обеспечить больше удобства в работе.

Пробники и управление прибором

Особое значение при работе с осциллографами имеет выбор пробников для подключения к тестируемым устройствам. С большинством моделей осциллографов описываемой серии поставляется стандартный пассивный пробник N2894A, который имеет следующие параметры:

- коэффициент деления: 10:1;
- полоса частот: 700 МГц;
- входное сопротивление: 10 МОм;
- емкость: 9,5 пФ;
- длина кабеля: 1,3 м.

Активные пробники N2795/6/7A с малой входной емкостью (1 пФ) и входным сопротивлением 1 МОм выпускаются с полосой частот 1, 1,5 и 3 ГГц.

Для старших моделей осциллографов Agilent выпускает дифференциальные пробники N2750 с полосой 1,5 ГГц и малой входной емкостью (0,7 пФ при входном дифференциальном сопротивлении 200 кОм). Пробники имеют коэффициент деления напряжения 2 и 10 и время нарастания 233 пс. Их легко подключить к тестируемой печатной плате с помощью зажима для головки пробника FreeHand («свободная рука») (рис. 3).



Рис. 3. Подключение осциллографа к тестируемой печатной плате через пробник с зажимом FreeHand

Передняя панель осциллографа тщательно продумана и занимает меньшую площадь, чем большой сенсорный экран прибора. Назначение основных органов управления осциллографом показано на рис. 4. Каждый аналоговый канал включается своей кнопкой.

Наблюдение осциллограмм и поиск аномалий

Большой размер и высокое разрешение экрана позволяют просматривать на нем различные осциллограммы аналоговых и цифровых сигналов и их расширенные участки (Zoom), гистограммы, параметры и таблицы измерений и другие данные. На рис. 5 показан экран осциллографа при просмотре смешанных сигналов. Несмотря на обилие осциллограмм и других данных, все они четко просматриваются. Впрочем, не стоит забывать, что по мере увеличения числа просматриваемых осциллограмм их размеры обычно уменьшаются, зато увеличивается число окон. При этом падает точность измерений.

На рис. 6 показан высокочастотный синусоидальный сигнал с амплитудной модуляцией (АМ) и аномалией (глитчем) в одном из периодов несущей частоты. С помощью «лупы времени» (системы MegaZoom IV) аномалию легко выявить и детально просмотреть. Полезно обратить внимание и на высокое качество отображения АМ-сигнала с высокочастотной несущей.

Мощным средством обнаружения аномалий является запуск развертки по заданным условиям. У цифровых осциллографов точка запуска располагается по горизонтали посередине линии развертки. И если запуск производить по аномалии, то она появляется в центре окна осциллограммы, и ее легко масштабировать и наблюдать. Например, если последовательность импульсов содержит импульсы с длительностью 30 нс и более, то короткий глитч легко обнаружить, просто задав запуск по длительности менее 30 нс (рис. 7).

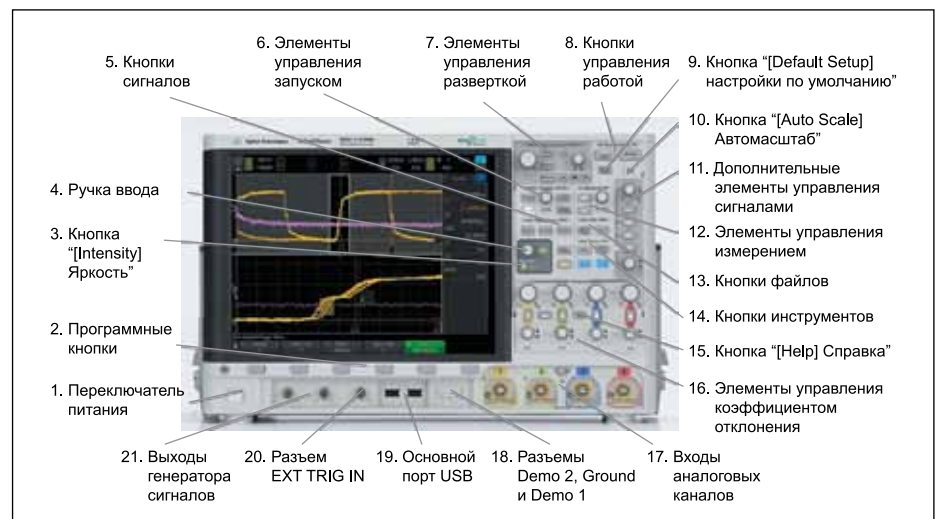


Рис. 4. Передняя панель осциллографа Agilent серии 4000

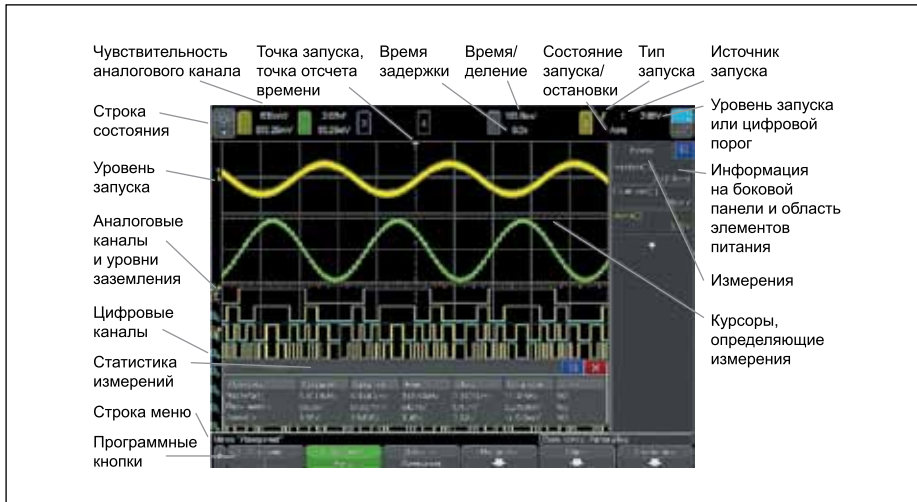


Рис. 5. Экран осциллографа при просмотре смешанных сигналов

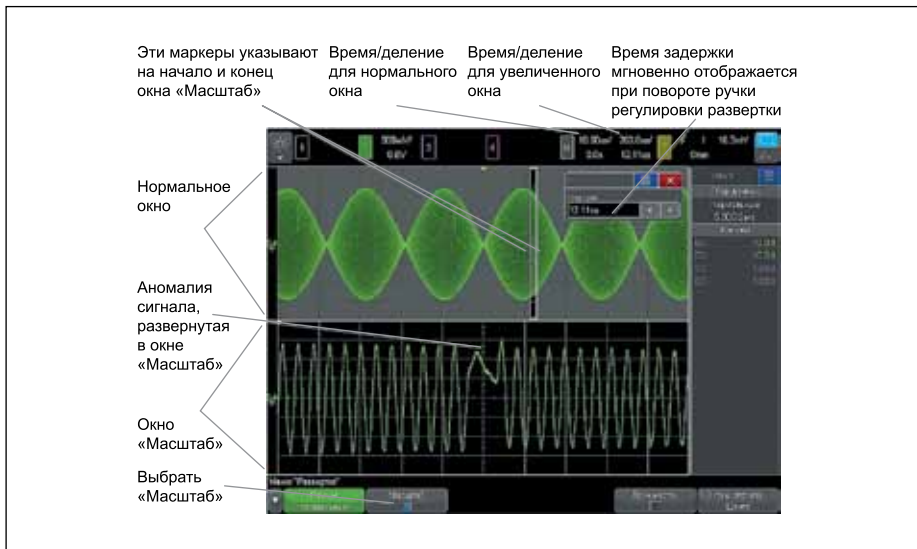


Рис. 6. Синусоидальный сигнал с амплитудной модуляцией и аномалией

У осциллографов InfiniiVision 4000X запуск и синхронизацию временной развертки можно осуществлять с разных участков осциллограмм и по различным условиям. Есть

фирменная особенность — запуск по части осциллограммы, которая указывается пальцем руки или стилусом на сенсорном экране (рис. 1). По умолчанию запуск выпол-

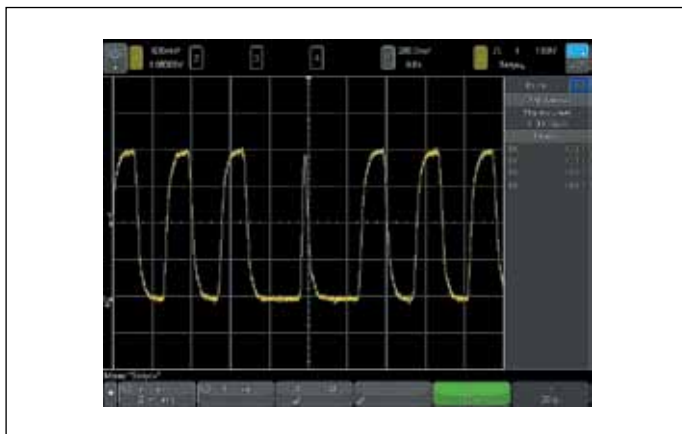


Рис. 7. Выделение аномалии (укороченный импульс) импульсного сигнала запуском по условию

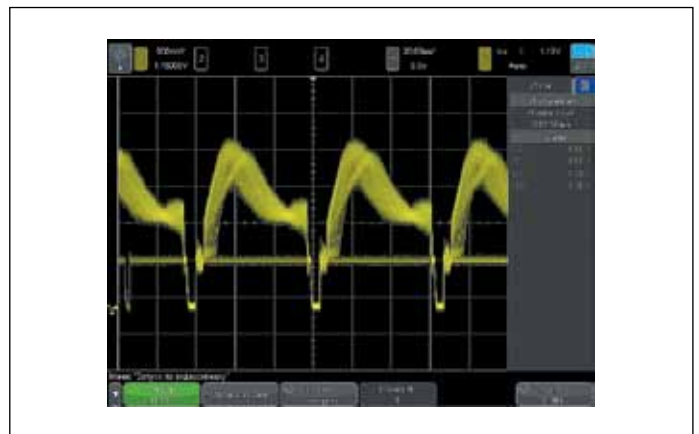


Рис. 9. Просмотр NTSC телевизионного сигнала



Рис. 8. Выделение аномалии (глитча) с помощью персистенции

няется по положительному фронту сигнала. Уровень запуска регулируется поворотной ручкой и отмечается на экране.

У приборов возможен режим персистенции — имитация аналогового послесвечения экрана с регулируемой или бесконечной длительностью. Персистенция тоже является мощным средством обнаружения аномалий малой длительности: они возникают на короткое время и запоминаются осциллографом (рис. 8). Кроме того, этот режим удобен для наблюдения видеосигналов от телевизионных систем и устройств.

Разумеется, многие виды запуска относятся и к обычным сигналам. Например, есть запуск развертки телевизионным сигналом (рис. 9). При этом возможен выбор строк и полей телевизионных сигналов различных форматов, включая PALM, NTSC и SECAM обычной и высокой четкости. Подробное описание всех видов запуска и синхронизации можно найти в [2].

Режим Zoom и «интеллектуальная» память MegaZoom

Многие осциллографы оснащаются «лупой времени» для детального просмотра осциллограмм и их сегментов. В осциллографах InfiniiVision 4000X применена фирмен-

ная технология «интеллектуальной» памяти MegaZoom IV, обеспечивающая скорость вывода до 1 млн осциллограмм/с. Есть режим сегментации памяти с возможностью просмотра сегментов.

Для расширения малой части длинной осциллограммы во весь экран служит режим растяжки (Zoom). Примеры применения этого средства уже приводились — на рис. 4 и 6. На рис. 10 показан экран с основной осциллограммой, ее частью в режиме расширения, гистограммой джиттера и таблицей автоматических (в том числе статистических) измерений.

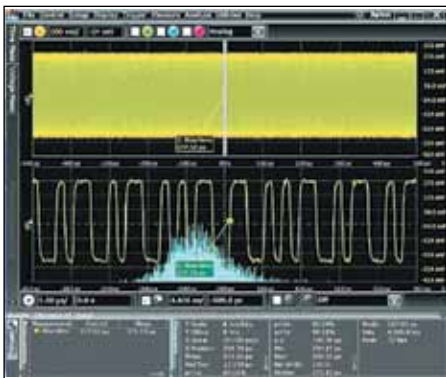


Рис. 10. Экран с основной осциллограммой, ее частью в режиме MegaZoom, гистограммой джиттера и таблицей автоматических (в том числе статистических) измерений

Режим XY и наблюдение фигур Лиссажу

Еще аналоговые осциллографы могли работать в режиме XY. При нем один сигнал подается в канал вертикального отклонения Y, а второй — в канал горизонтального отклонения X. Если сигналы синусоидальные с одной частотой с некоторым сдвигом по фазе, то на экране осциллографа будет отображаться фигура Лиссажу — эллипс.

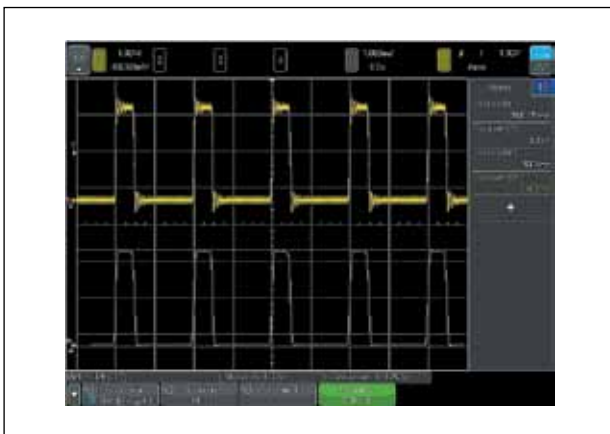


Рис. 13. Математическая операция — фильтрация зашумленного сигнала с высокочастотными выбросами

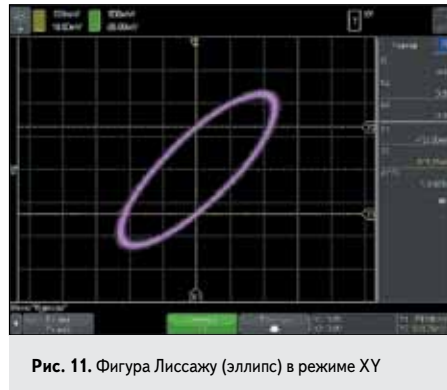


Рис. 11. Фигура Лиссажу (эллипс) в режиме XY

Он будет вращаться, если частота сигналов немного различается, — тем быстрее, чем больше разница в частоте.

Осциллографы InfiniiVision 4000X также имеют режим XY (рис. 11).

Математические операции с сигналами

Современные осциллографы высшего качества с полосой частот в сотни МГц имеют развитые средства компьютерной математики [5, 6], обеспечивающие математическую и цифровую обработку осциллограмм. Осциллографы InfiniiVision 4000X имеют развитый аппарат математической обработки сигналов — от простых арифметических операций с сигналами двух каналов до достаточно сложных операций фильтрации сигнала, дифференцирования и интегрирования сигналов и т. д. Выборка нужной операции производится с помощью панелей математических операций (рис. 12). Есть краткое описание каждой операции на экране осциллографа. В русифицированной версии осциллографов это описание частично осталось на английском языке.

Пример математической операции — фильтрации зашумленного сигнала с высокочастотными выбросами — показан на рис. 13. Здесь для фильтрации использован фильтр нижних частот, полоса которого

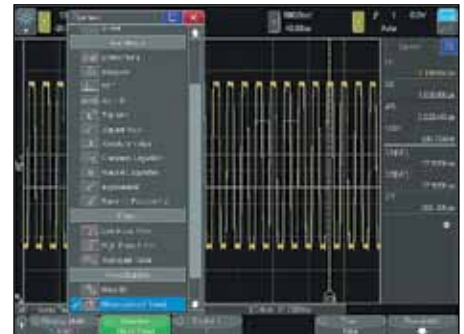


Рис. 12. Осциллограмма меандра и панель математических операций

ниже частот спектра паразитных высокочастотных компонентов сигнала. Можно использовать и другие фильтры, например высоких частот. Обращает на себя внимание высокая четкость отфильтрованной осциллограммы, хотя следы 8-битового квантования (ступеньки), конечно, заметны.

Четкость осциллограмм можно повысить, применяя режим повышенной разрешающей способности, программное увеличение разрядности и, наконец, режим усреднения осциллограмм (2, 4, 8, ..., 65 536). Но все эти режимы уменьшают скорость построения осциллограмм.

На рис. 14 показано действие математической операции интегрирования меандра без компенсации смещения по напряжению в половину его двойной амплитуды. Как и следовало ожидать, интегрирование нулевых полуволн сигнала дает горизонтальные участки осциллограммы интеграла, а участки с постоянным напряжением дают линейно нарастающие участки. Если задать компенсацию смещения, то будут получены треугольные импульсы с линейным нарастанием и спадом. Возможно выполнение операции дифференцирования, сглаживания осциллограмм и т. д.

Осциллограф «обучен» основным свойствам проводимых вычислений. Например, при обработке двухполярного (например,

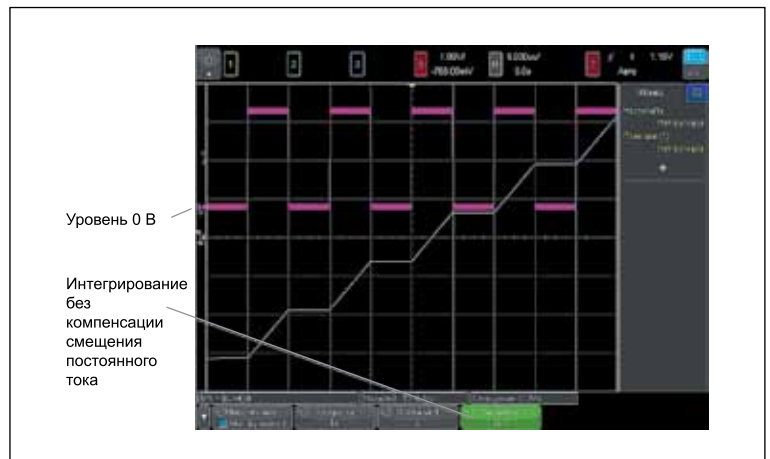


Рис. 14. Интегрирование меандра без компенсации смещения

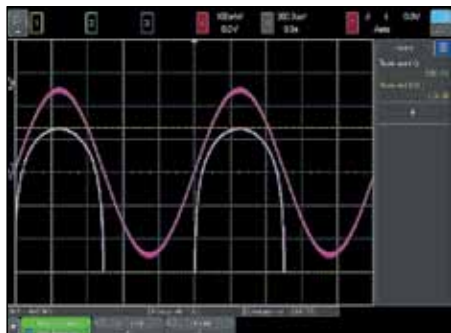


Рис. 15. Построение функции — натурального логарифма синусоиды

синусоидального) сигнала он не вычисляет участки функций, которые определены только для положительного аргумента (таких как логарифм или квадратный корень). На рис. 15 показано построение графика функции — натурального логарифма синусоиды. При отрицательных полуволнах синусоиды график функции просто не строится, поскольку для отрицательных значений аргумента логарифм не определен.

Курсорные и автоматические измерения

Наряду с операциями математической обработки сигналов осциллограф InfiniiVision 4000X имеет обширный набор курсорных и автоматических измерений, превращающих этот прибор в мощную многофункциональную измерительную систему. Курсорные измерения хорошо известны, поэтому ограничимся лишь упоминанием их наличия и повышенной точности установки. Остановимся на использовании автоматических измерений, по существу превращающих осциллограф в многофункциональную измерительную лабораторию.

Автоматические измерения вводятся нажатием кнопки Measure на передней панели. Затем нужно указать, сигнал какого канала

(или двух каналов при измерениях с двумя параметрами) используется. В панели на экране следует выбрать тип измерения (рис. 16).

При желании можно вывести панель со всеми возможными для выбранных сигналов автоматическими измерениями (рис. 17).

Выполнение спектрального анализа методом БПФ

Анализ сигналов в частотной области осуществляется ставшим уже классическим методом быстрого преобразования Фурье (БПФ, или FFT). Это превращает осциллограф в подобие анализатора спектра, который обычно имеет более широкий диапазон исследуемых сигналов и меньшую полосу частот разрешения (до единиц герц), чем осциллограф. Для предотвращения больших искажений спектра из-за разрывов сигналов в начале и конце временного интервала, для которого строится спектр, при БПФ применяются окна следующих типов: Хеннинга, с плоской вершиной, прямоугольное и Блэкмана-Харриса. Тип окна определяет вид и резкость пиков спектра, а также разрешающую способность по частоте и амплитуде.

На рис. 18 показана осциллограмма меандра и его спектра, вычисленного с помощью БПФ с окном Хеннинга. Возможно автоматическое измерение амплитуды и частоты каждого выделенного пика спектра (см. пример на рисунке). Для уменьшения уровня шума при спектральном анализе можно использовать режим усреднения спектров.

Возможен и расширенный спектральный анализ с помощью дополнительного программного пакета ASV (64997A), при котором настройка частот исследуемого сигнала осуществляется, как это принято в специальных анализаторах спектра. То есть задаются начальная и конечная частота диапазона частот спектрального анализа или средняя частота и ширина полосы частот, а также полоса частот разрешения. Кроме того, в этом



Рис. 18. Осциллограмма меандра и его спектра, вычисленного с помощью БПФ

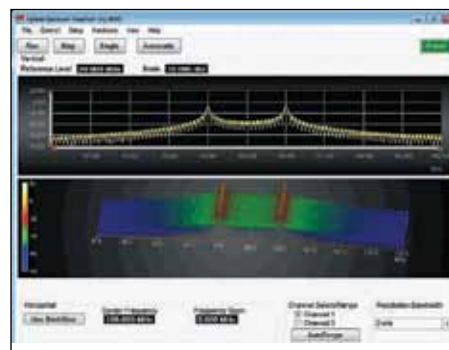


Рис. 19. Расширенный спектральный анализ с построением трехмерной цветной спектрограммы

случае возможно построение спектрограмм (даже трехмерных), отражающих развитие спектра во времени (рис. 19).

Сохранение осциллограмм, установок и копий экрана

Установки параметров осциллографа, отдельные осциллограммы и копии экрана осциллографа можно записать в виде файлов в память осциллографа или USB-модуль флэш-памяти. Для набора имен файлов и директорий с ними или аннотаций к осциллограммам можно воспользоваться виртуальной клавиатурой (рис. 20). Поддерживаются

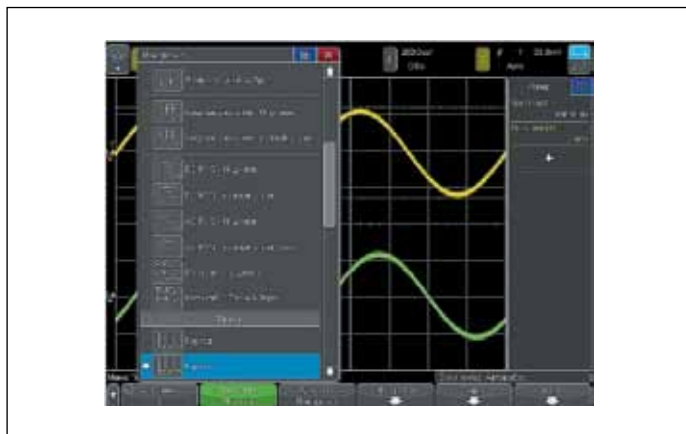


Рис. 16. Осциллограммы синусоидального сигнала и панель выбора автоматических измерений



Рис. 17. Осциллограммы синусоидального сигнала и панель со списком всех автоматических измерений



Рис. 20. Виртуальная клавиатура для введения имен файлов и аннотаций

все основные форматы файлов осциллограмм и копий экрана, принятые для таких данных.

Декодирование и анализ последовательных шин

Как уже отмечалось, осциллограф может выполнять функции декодирования и анализа данных последовательных шин по их протоколам. Это существенно расширяет области применения осциллографа, хотя для полного анализа многих видов шин следует использовать дополнительные программные опции. Их в изобилии предоставляет компания Agilent. На рис. 21а показано окно декодирования данных широко распространенной шины I²C.

Для другой шины — SPI — окно анализа показано на рис. 21б. Здесь можно проводить декодирование широко распространенных последовательных шин RS-232, USB 2.0 и др. Но для полного анализа шин нужно применять отдельно поставляемые опции.

Данные с их адресами и временными диаграммами представлены предельно наглядно для пользователей, работающих с последовательными шинами, которые, благодаря простоте и высокой скорости работы, сейчас активно применяются. Декодирование современной шины ARINC 429 с двухполярным сигналом данных представлено на рис. 21в.

«Глазковые» диаграммы и маски

При анализе быстродействующих телекоммуникационных и связанных устройств часто применяются так называемые «глазковые» диаграммы. Они представляют собой входной и выходной сигналы, построенные в одной амплитудно-временной плоскости с учетом их пересечения. Осциллограммы этих сигналов образуют похожую на глаз фигуру. Если «глаз» открыт, значит, сигналы находятся в зоне работоспособности. Из-за амплитудной и временной нестабильности (джиттера) линии «глазковой» диаграммы становятся более широкими и может наступить смыкание «глаза». Степень смыкания оценивают по так называемым маскам, которые задают допустимое расположение «глаза». Иными словами, маски задают область работоспособности тестируемого устройства или системы.

На рис. 22 показано построение маски и «глазковой» диаграммы. Показан также короткий глитч внутри «глазковой» диаграммы, он попадает в маску и окрашивается красным цветом. Разумеется, маски могут применяться для построения зон работоспособности сигналов различного типа. Можно издать из обычных смещенных осциллограмм либо с помощью многоугольников. Существует очень большое число видов масок, и для их создания нужно использовать специальную опцию.

При построении масок в осциллографах серии 4000X использованы аппаратные средства, что позволило резко ускорить вывод масок и построение диаграмм с ними.



Рис. 21. Анализ последовательной шины данных:
 а) по протоколу I²C;
 б) по протоколу SPI;
 в) по протоколу ARINC 429 с двухполярным сигналом данных

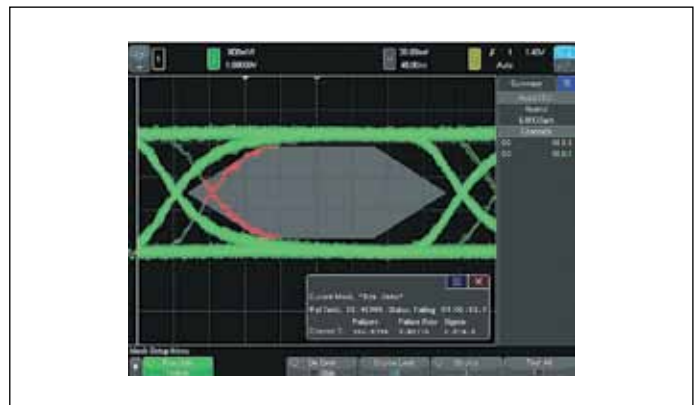


Рис. 22. Построение маски и глазковой диаграммы



Рис. 23. Окно показаний встроенного вольтметра-частотомера

Встроенные вольтметр-частотомер и цифровой генератор

Встроенный 3-разрядный вольтметр-частотомер служит для измерения среднеквадратичного значения постоянного и переменного тока, а также частоты. Его показания отображаются в специальном окне (рис. 23). В ряде случаев встроенный вольтметр-частотомер заменяет простой мультиметр, но полноценной заменой современному настольному мультиметру он все же не является (у последнего больше видов и диапазонов измерений и выше их точность).

Встроенный в осциллограф двухканальный цифровой генератор сигналов стандартной формы и произвольных функций дает возможность осуществлять полный контроль осциллографа и различных тестируемых устройств. В большинстве случаев он позволяет отказаться от применения дополнительного генератора такого типа и высвободить место на рабочем столе. Но, опять-таки, полноценной заменой современных цифровых генераторов он все же не является.

Для установки типа генерируемого сигнала служит панель, показанная на рис. 24. Возможна генерация следующих типов сигналов: синусоидального, меандра, треугольного, импульса с переменной скважностью, постоянного тока, шума, сигналов с экспоненциальным нарастанием и спадом, типа sinc ($\sin(x)/x$), кардиоиды, гауссиана

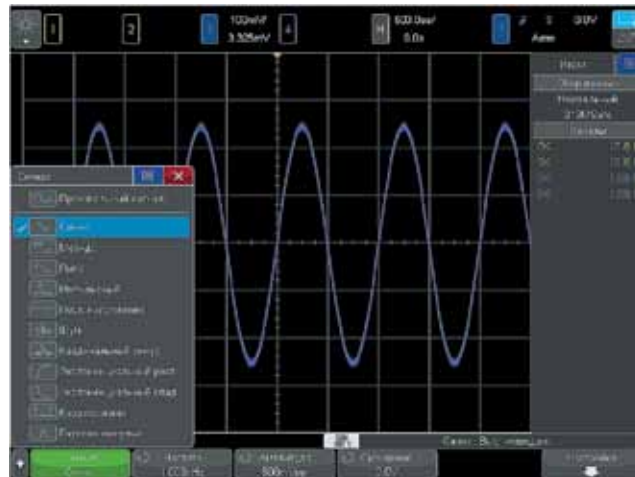


Рис. 24. Панель встроенного генератора сигналов произвольной формы и осциллограмма его синусоидального сигнала

и с произвольной (заданной пользователем) формой. Есть возможность модуляции сигналов разной формы по различным законам и типам модуляции: амплитудной, частотной и фазовой. Возможна генерация непрерывных сигналов (автоколебательных и ждущих), пачек импульсов и сигналов с changing частотой. Диапазон частот синусоидального сигнала — от 0,1 Гц до 20 МГц, меандра — до 10 МГц и т. д. Предельное значение частоты падает для сигналов сложной формы.

Заключение

Подводя итоги, можно сделать вывод, что фирма Agilent разработала и запустила в серийное производство новую крупную серию многофункциональных осциллографов, которыми охотно воспользуются как ученые, так и инженерно-технические работники, исследующие и тестирующие различные устройства и системы. Приборы тщательно оптимизированы как по их параметрам и возможностям, так и по стоимости. Они доступны даже в бюджетной сфере, например для оснащения лабораторий в универ-

ситетах и учебных центрах и в различных службах современного сервиса радиоэлектронных изделий и систем [6].

Автор благодарит российское отделение Agilent за внимательный просмотр статьи и сделанные замечания, учет которых позволил улучшить материал.

Литература

1. InfiniiVision 4000 X-Series Oscilloscopes. Data Sheet. Agilent Technologies, Inc. Published in USA. Oct. 18, 2013.
2. Осциллографы Agilent InfiniiVision 4000 серии X. Руководство для пользователя. Agilent Technologies, Inc., 2013.
3. Дьяконов В. Новейшая серия X осциллографов Agilent: нырок «вниз» // Компоненты и технологии. 2012. № 2.
4. Дьяконов В. Как потратить миллион рублей на покупку цифрового осциллографа и что из этого выйдет? // Компоненты и технологии. 2013. № 12.
5. Дьяконов В. П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженера. М.: ДМК-Пресс, 2011.
6. Дьяконов В. П. Сверхскоростная твердотельная электроника. Т. 1 и 2. М.: ДМК-Пресс, 2013.