

Осциллографы серии InfiniiVision 4000X корпорации Agilent

Владимир Дьяконов (г. Смоленск)

Статья рассказывает о технических параметрах и особенностях применения новейших осциллографов корпорации Agilent.

Корпорация Agilent Technologies является крупнейшим разработчиком и производителем электронного измерительного оборудования и приборов, в частности, цифровых запоминающих осциллографов. 19 сентября 2013 года корпорация Agilent Technologies объявила о разделении на две независимые компании за счёт выделения подразделения электронных измерений в самостоятельную компанию. Новая компания – Keysight Technologies – с 1 августа 2014 года работает как дочернее предприятие Agilent. Окончательное разделение планируется завершить в ноябре 2014 года. Одним из последних достижений Agilent под старым именем стала разработка и поставка на рынок (в том числе российский) 16 моделей осциллографов серии 4000X с закрытой архитектурой, расширенными функциональными возможностями, умеренной полосой частот и привлекательной ценой. Эти приборы получили ряд международных наград, в том числе «Best Electronic Design» в 2012 году и «Best in Test» в 2013 году.

Осциллографы Agilent 4000X способны отображать до 1 млн осциллограмм в секунду, и оснащены ёмкостным сенсорным ЖК-дисплеем (см. рис. 1). Приборы этого класса облегчают поиск проблемных участков сигнала, позволяя обнаруживать редкие события и фиксировать их на экране одним движением пальца без настройки сложных условий запуска. Все модели серии 4000X имеют большой 12-дюймовый дисплей с разрешением 800 × 600 точек. Применение высокоскоростных 8-разрядных АЦП позволило довести частоту

дискретизации исследуемых сигналов при чередовании каналов до 5 Гвыб/с (без чередования – 2,5 Гвыб/с) и полосе частот исследуемых сигналов – до 1,5 ГГц. Габариты приборов составляют 454 × 275 × 156 мм, масса – 6,7 кг, потребляемая мощность – 120 Вт.

Новая серия является развитием бюджетных осциллографов класса X [3], но на более высоком уровне, и объединяет в одном корпусе 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/RS232, USB 2.0), цифровой вольтметр-частотомер и 2-канальный генератор стандартных и произвольных сигналов функций с цифровым синтезом формы [1]. Руководство пользователя на русском языке содержит 548 страниц [2].

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

На все приборы даётся трёхлетняя гарантия с возможностью продления её до 5 лет. Младшие модели – это бюджетные приборы массового применения, старшие же представляют собой осциллографы премиум-класса, но по умеренной цене. Таким образом, пользователь имеет возможность выбрать



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

осциллограф, подходящий по полосе частот, числу каналов и стоимости. Все приборы, при необходимости, могут быть в процессе эксплуатации модернизированы до уровня старших моделей.

Осциллографы серии 4000X обладают следующими характеристиками:

- высокая частота дискретизации (у всех моделей);
- 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 составляет 2%);
- скорость развёртки – от 500 пс/дел. до 50 с/дел. (у старшей модели);
- скорость обновления сигналов на экране – до 1 млн осциллограмм в секунду;
- интеллектуальная быстрая память на основе технологии MegaZoom IV;
- сегментированная память объёмом 4 Мб (в стандартной комплектации);
- уникальная функция «запуск касанием» InfiniiScan Zone, специально разработанная для сенсорного управления;
- система помощи с большим набором тестовых примеров и возможностью их просмотра в автоматическом режиме.

На рисунке 2 показан вид передней панели осциллографа с указанием органов управления. Все поворотные ручки имеют переключатель, срабатывающий при нажатии на регулятор. При этом устанавливается соответствующий параметр по умолчанию или выводится меню на экран. Вид прибора сзади представлен на рисунке 3. На переднюю панель может быть уста-

Номенклатура осциллографов InfiniiVision 4000X корпорации Agilent

Параметр	Показатель				
	200	350	500	1000	1500
2/16 каналов	MSO-X 4022A	MSO-X 4032A	MSO-X 4052A	–	–
2/16 каналов	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



Рис. 2. Назначение органов управления на передней панели осциллографа Agilent серии 4000X

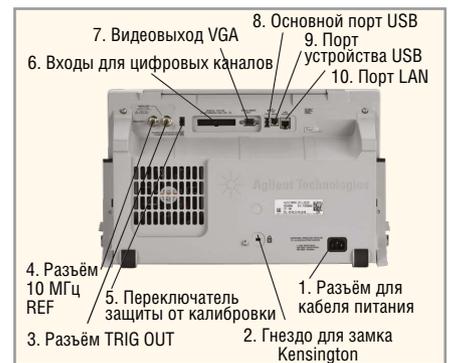


Рис. 3. Задняя панель осциллографа Agilent серии 4000X



Рис. 4. Подключение осциллографа к тестируемой печатной плате через пробник с зажимом FreeHand

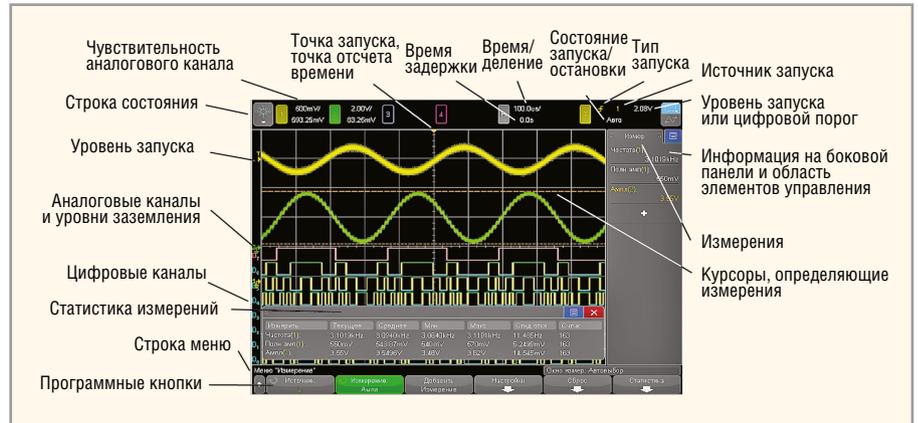


Рис. 5. Экран осциллографа при просмотре смешанных сигналов

новлена накладка с надписями на русском языке.

Включается и выключается осциллограф кнопкой 1 (см. рис. 2). Первое включение можно произвести, нажав кнопку 9 Default Setup (установки по умолчанию). Затем надо подключить пробники к аналоговым входам 17 и поочередно выполнить процедуру стандартной компенсации, используя сигнал Demo 1 с разъёма 18. Для обнаружения сигнала и автоматической установки масштаба следует нажать кнопку 10 Auto Scale (автомасштаб).

Для вызова справки и демонстрационной программы нужно нажать кнопку 15 Help (справка), скрытую между органами управления второго и третьего каналов. Справка выводит обширный текстовый материал, десятки видов тестовых сигналов и обеспечивает автоматический просмотр их выполнения.

Для тестирования прибора можно использовать встроенный 2-канальный цифровой генератор сигналов, каналы которого включаются кнопками Wave Gen 1 и Wave Gen 2. Внизу экрана выводится меню, с помощью которого можно установить форму и параметры импульсов. К выходам генераторов (разъёмы 21) подсоединяются пробни-

ки каналов 1 и 2 вертикального отклонения и наблюдаются сигналы генератора.

Со старшими моделями осциллографов поставляются стандартные пассивные пробники N2894A с коэффициентом деления 10:1, полосой частот 700 МГц, входным сопротивлением/ёмкостью 10 МОм / 9,5 пФ и длиной кабеля 1,3 м. Активные пробники с малой входной ёмкостью 1 пФ и входным сопротивлением 1 МОм (N2795/6/7A) выпускаются с полосой частот 1, 1,5 и 3 ГГц; дифференциальные пробники N2750 имеют полосу частот 1,5 ГГц и малую входную ёмкость/сопротивление (0,7 пФ / 200 кОм). Пробники имеют коэффициенты деления напряжения 2 и 10 и время нарастания 233 пс. Они легко подключаются к тестируемой печатной плате с помощью зажима для головки пробника типа FreeHand (см. рис. 4).

Большой размер и довольно высокое разрешение экрана позволяют просматривать различные осциллограммы аналоговых и цифровых сигналов и их увеличенные фрагменты, гистограммы, параметры, таблицы измерений и другие данные. На рисунке 5 показан экран осциллографа при просмотре смешанных сигналов. Несмотря на оби-

лие информации, она легко читается. Впрочем, не следует забывать, что, по мере увеличения числа просматриваемых осциллограмм, их размеры уменьшаются, а точность измерений падает.

Доступ к большинству режимов работы и возможностей осциллографа осуществляется из программного меню. Наиболее часто используемые меню показаны на рисунке 6. Выбор типа меню и его положение на экране осуществляется поворотом ручки выбора (в сером квадрате) и нажатием на неё, а также прикосновением пальца к позиции меню на экране.

Осциллографы InfiniiVision 4000X оснащены типовым набором курсорных измерений. В их числе – парные горизонтальные и вертикальные курсоры для измерения размаха и периода синусоидального сигнала от встроенного генератора (см. рис. 7). Для ввода курсоров следует нажать кнопку или поворотную ручку Cursors – область 12 на рисунке 2. При этом отображается простое меню, позволяющее выбрать требуемый тип курсора.

В приборах InfiniiVision 4000X предусмотрена регулировка яркости осциллограмм – поворотная ручка вывода и кнопка Inten (область 12 на рисунке 2). При нажатии на них появляет-

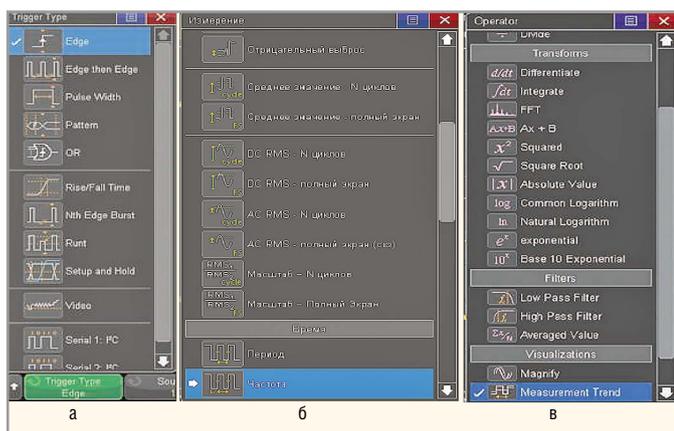


Рис. 6. Некоторые виды меню: а – запуска (триггера); б – автоматических измерений; в – математических операций

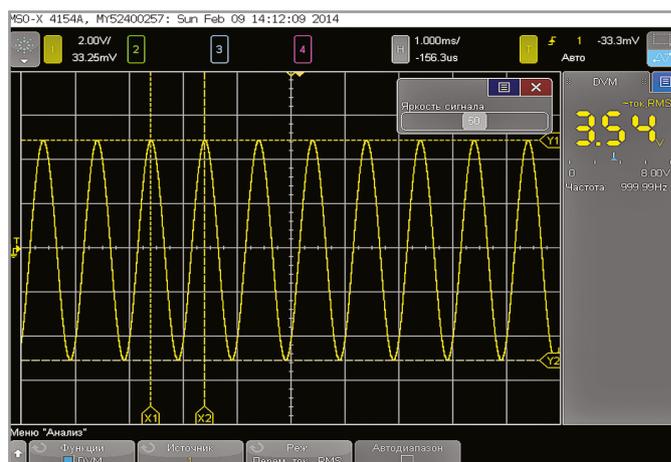


Рис. 7. Курсорные измерения синусоидального сигнала

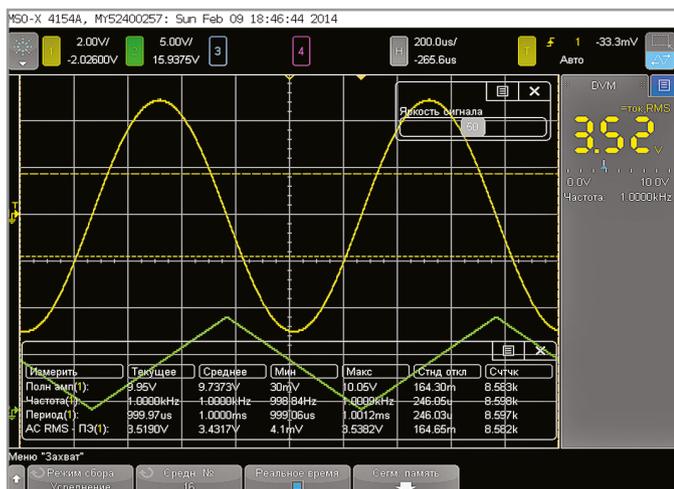


Рис. 8. Осциллограммы синусоидального и треугольного сигналов и таблица с результатами автоматических измерений

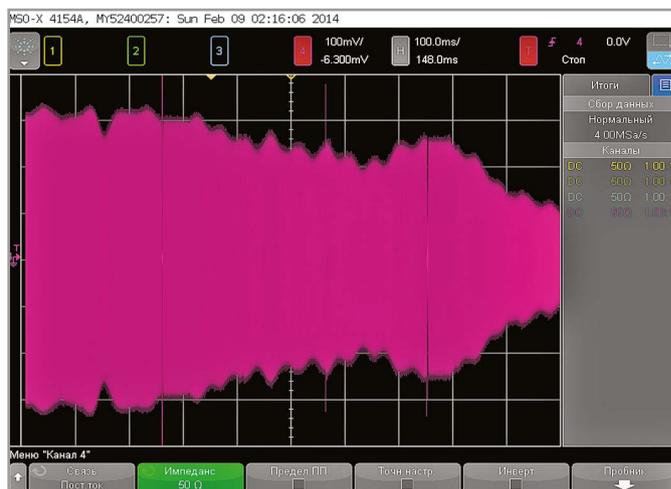


Рис. 9. Осциллограмма синусоидального сигнала с меняющейся от 0,1 до 3 ГГц частотой для аналогового канала № 4 с входом 50 Ом

ся панель регулировки яркости, показанная на рисунке 6. По умолчанию яркость составляет 50% от максимальной, но её можно плавно изменять поворотной ручкой ввода. Помимо установки оптимальной яркости, можно изменить чёткость осциллограмм, применяя режим повышенной разрешающей способности, программное увеличение разрядности, режим усреднения осциллограмм (2, 4, 8...65536 осциллограмм) и фильтры НЧ для ослабления шумов и высокочастотных помех. Однако все эти режимы уменьшают скорость построения осциллограмм, а фильтры сужают полосу пропускания.

Встроенный в осциллограф 3-разрядный вольтметр-частотомер служит для измерения постоянного и переменного (с.к.з.) напряжения, а также частоты. Его показания отображаются в специальном окне (см. рис. 6а). В ряде случаев, встроенный вольтметр-частотомер заменяет самый простой мультиметр. Для включения/выключения вольтметра-частотомера используется позиция «Функции DVM» кнопки Analyze.

Автоматические измерения вводятся нажатием кнопки Measure на передней панели и превращают осциллограф в многофункциональную измерительную лабораторию. В меню автоматических измерений (см. рис. 6б) необходимо указать, сигнал какого канала (или двух каналов при измерениях с двумя параметрами) используется, и выбрать тип измерения касанием соответствующего пункта меню.

На рисунке 8 показаны осциллограммы 1-кГц синусоидального и треугольного сигналов с выходов встроенных генераторов сигналов. Для удобства демонстрации был установлен режим сбора с усреднением по 16 осциллограммам, что позволило получить осциллограммы с отчётливо видимыми ступеньками квантования, и отображена таблица результатов автоматических измерений для первого канала осциллографа с выводом статистических данных. Таблицу можно сделать полупрозрачной, чтобы не загромождать экран осциллографа. При желании можно вывести на экран панель со все-

ми возможными для выбранных сигналов автоматическими измерениями.

Низкочастотные сигналы воспроизводятся практически без искажений (не считая мелких ступенек, см. рис. 8). Однако на высоких частотах искажения сигналов становятся более заметными вследствие спада АЧХ. Для входов 50 Ом это падение достигает 3 дБ относительно уровня на постоянном токе. Однако эта оценка довольно грубая и не учитывает возможность появления паразитных резонансных процессов за пределами полосы пропускания.

На рисунке 9 показана осциллограмма синусоидального сигнала от следящего генератора анализатора спектра с меняющейся от 0,1 МГц до 3 ГГц частотой для аналогового канала № 4 с входом 50 Ом. Хорошо видна неравномерность АЧХ, в частности, резонансный пик на частоте около 2,6 ГГц. Наличие такого пика означает появление выброса на переходной характеристике осциллографа при длительности фронтов входного импульса меньше собственного времени нарастания осциллографа.

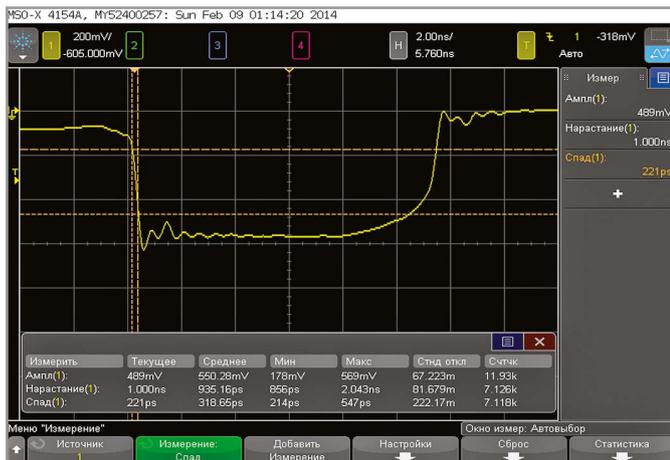


Рис. 10. Осциллограмма импульсов калибратора осциллографов И1-11 с перепадами длительностью менее 50 пс

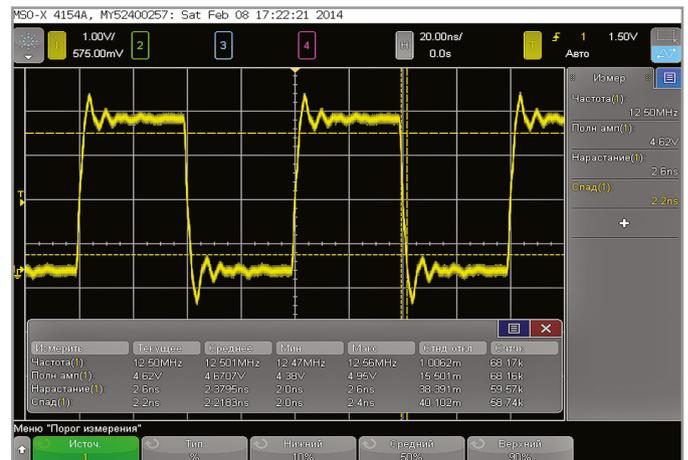


Рис. 11. Осциллограмма смещённого меандра с длительностью фронтов около 1 нс

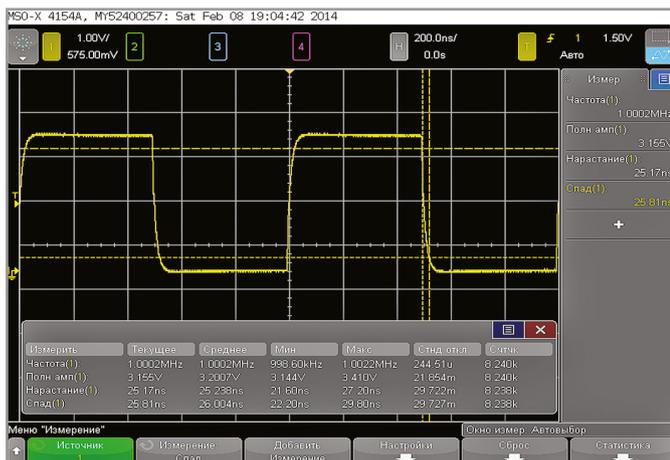


Рис. 12. Осциллограмма смещённого меандра с длительностью фронтов около 25 нс

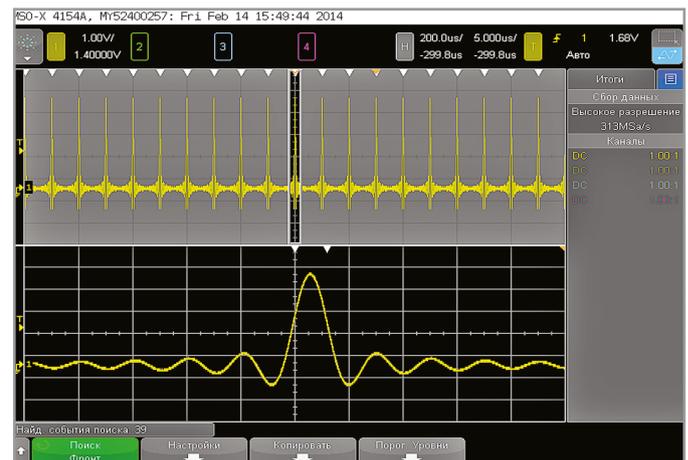


Рис. 13. Экран с основной осциллограммой и её фрагментом в режиме расширения (Zoom)

Это подтверждают результаты наблюдения импульсов калибратора осциллографов И1-11 с временем нарастания/спада около 50 пс. Одна из осциллограмм для импульса отрицательной полярности показана на рисунке 10. Минимальное зафиксированное время нарастания/спада при использовании входа 50 Ом для рабочего фронта калибровочного импульса составляет около 320 пс на уровнях отсчета 20% и 80% амплитуды и выбросе около 10%. Расчётное время нарастания переходной характеристики равно $0,4/Полоса = 0,4/1,5 ГГц = 267 пс$.

К сожалению, переходная характеристика при использовании высокоомного входа (1 МОм) со стандартным пробником выглядит намного хуже. Во-первых, полоса пропускания пробника 0,7 ГГц значительно сужает полосу частот у старших моделей серии (без пробника – 1,5 ГГц). Во-вторых, у полностью собранного пробника (с наконечником и заземляющим проводом длиной 10 см) полоса оказывается ещё уже, а индуктивность заземляю-

щего проводника вместе с его входной ёмкостью 9,5 пФ создаёт паразитный резонанс в полосе пропускания системы пробник – осциллограф.

В результате форма меандра 12,5 МГц с фронтами около 1 нс заметно искажается: фронты растягиваются более чем в два раза и появляются большие выбросы с хорошо заметной колебательностью (см. рис. 11). Следует отметить, что такой вид искажений характерен и для осциллографов других фирм с полосой частот 1...1,5 ГГц и высокоомными входами. Для их устранения необходимо применять активные пробники с малой (менее 1 пФ) входной ёмкостью и более широкой, чем у осциллографа, полосой пропускания. К сожалению, набор из четырёх таких пробников стоит почти столько же, сколько сам осциллограф. Подобные искажения исчезают, если длительность фронтов входных импульсов на порядок превышает время нарастания системы пробник – осциллограф (см. рис. 12). В данном случае сигнал с выхода микросхемы ТТЛ не имеет колебательности.

Многие осциллографы оснащаются «лупой времени» для детального просмотра осциллограмм и их сегментов. В осциллографах InfiniiVision 4000X применена фирменная технология «интеллектуальной» памяти MegaZoom IV, обеспечивающая скорость вывода осциллограмм до 1 млн в секунду. Просмотр сигналов возможен в ручном и автоматическом (с помощью проигрывателя) режимах. Кнопки управления последним находятся на передней панели. Режим сегментации памяти позволяет просматривать сегменты также в ручном и автоматическом режимах с помощью упомянутого проигрывателя.

Кнопка Horiz открывает меню управления развёрткой, которое состоит из четырёх пунктов:

- «Режим» – задаёт один из трёх основных режимов работы – нормальный (развёртка по времени), XY и прокрутка;
- «Нач. отсчёт» – устанавливает начало отсчёта времени в начало экрана, по центру или в конце;

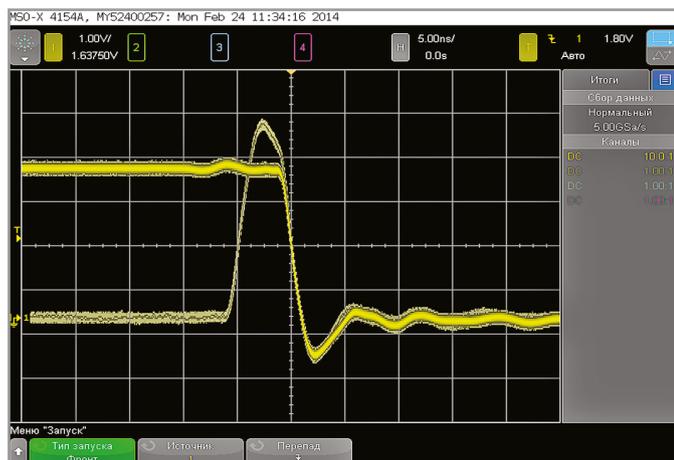


Рис. 14. Осциллограмма отрицательного фронта прямоугольных импульсов и короткого выброса

- «Точн. настр.» – включает режим точной настройки масштаба развёртки;
- «Масштаб» – открывает окно обзора.

Для расширения фрагмента осциллограммы во весь экран служит режим Zoom, включаемый круглой кнопкой с изображением лупы (область 7 на рисунке 2). На рисунке 13 показан экран с основной осциллограммой и её фрагментами в этом режиме. Область расширения может перемещаться по обзорной осциллограмме вперёд или назад вручную или автоматически при помощи проигрывателя (под кнопкой со значком лупы). Кнопка Search открывает меню поиска по заданным условиям, например, по фронту или длительности импульса, времени нарастания/спада и др. На рисунке 13 показан поиск по фронту, где каждое соответствие условию отмечается белым треугольником. Условие можно задавать и в меню запуска развёртки.

Запуск развёртки по заданным условиям является мощным средством обнаружения аномалий сигналов. У цифровых осциллографов точка запуска, по умолчанию, установлена посередине горизонтальной линии развёртки. И если запуск производить по аномалии, то она появляется в центре окна осциллограммы, благодаря чему её легко масштабировать и наблюдать. Например, если последовательность импульсов содержит случайные импульсы с длительностью менее 10 нс, то короткий выброс легко обнаружить, задав запуск по длительности менее 10 нс (см. рис. 14).

У осциллографов InfiniiVision 4000X запуск и синхронизация временной развёртки может осуществляться с различных участков осциллограмм и по различным условиям. Есть и фирменная особенность – запуск по части

осциллограммы, которая просто указывается пальцем руки или палочкой стилуса на сенсорном экране (см. рис. 1). По умолчанию, запуск выполняется по положительному фронту сигнала. Уровень запуска регулируется поворотной ручкой и отмечается на экране меткой и появляющейся на время прямой линией.

Режим монохромной персистенции (включается в меню кнопки Display) имитирует аналоговое послесвечение экрана с регулируемой или бесконечной длительностью. Персистенция является мощным средством обнаружения аномалий малой длительности: они успевают проявить себя и запоминаются осциллографом (см. рис. 14). Кроме того, послесвечение удобно для исследования видеосигналов телевизионных систем и устройств. При этом возможен выбор отдельных строк и полей телевизионных сигналов различных форматов, включая PAL-M, NTSC и SECAM (стандартных и высокой чёткости). Подробное описание всех видов запуска и синхронизации можно найти в литературе к статье [2].

Современные осциллографы высшего класса с полосой частот в сотни мегагерц имеют встроенные средства, обеспечивающие математическую и цифровую обработку осциллограмм [5, 6]. Осциллографы InfiniiVision 4000X оснащены развитой математической обработкой сигналов – от простых арифметических операций с сигналами двух каналов до достаточно сложных операций фильтрации сигнала, дифференцирования, интегрирования и т.д. Обработка включается нажатием кнопки Math. Выбор операции производится с помощью панели математических операций (см. рис. 6в), а на экране

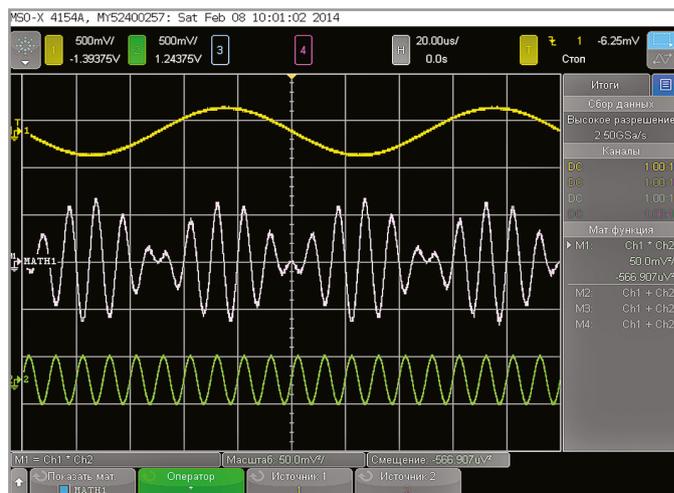


Рис. 15. Математическая операция перемножения двух сигналов

отображается краткое описание каждой операции. У осциллографов, поставляемых в Россию, это описание переведено на русский язык не полностью.

Пример математической операции перемножения двух сигналов показан на рисунке 15. Фактически, эта операция осуществляет амплитудную модуляцию высокочастотного сигнала низкочастотным. Программное обеспечение осциллографа учитывает свойства производимых вычислений. Например, при обработке двухполярного (скажем, синусоидального) сигнала не производятся вычисления для тех участков функций, которые определены только для положительного аргумента (таких как логарифм или квадратный корень). На рисунке 16 показано отображение графика функции – десятичного логарифма синусоиды. При отрицательных полуциклах синусоиды график функции не строится, поскольку для отрицательных значений аргумента логарифм не определён.

Анализ сигналов в частотной области осуществляется методом быстрого преобразования Фурье (БПФ). Это превращает осциллограф в сильно упрощённый анализатор спектра, который имеет более узкий диапазон исследуемых сигналов и гораздо меньшее разрешение по частоте из-за малого объёма памяти. Автоматическая настройка БПФ устанавливает такие значения диапазона и центральной частоты, при которых обеспечивается отображение всего спектра сигнала. Максимально возможная частота равна половине частоты дискретизации БПФ, которая зависит от установки коэффициента развёртки (время/деление). Разрешение БПФ равно результату деления эффективной частоты дискретиза-

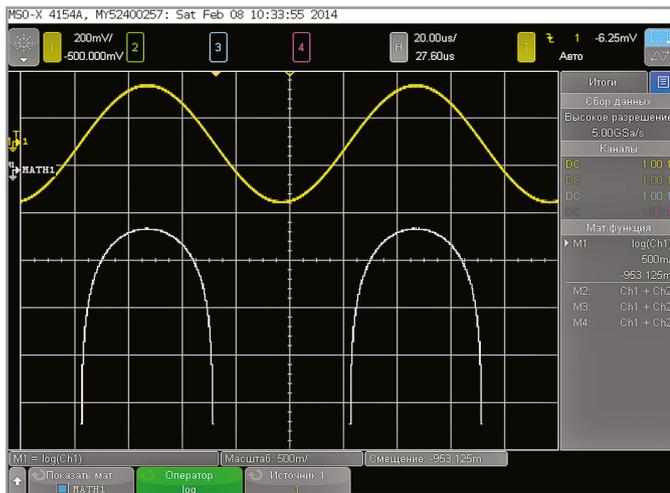


Рис. 16. Построение функции – десятичного логарифма синусоиды

ции на количество точек в БПФ (fS/N). Текущее разрешение БПФ отображается над программными кнопками.

Для предотвращения больших искажений спектра из-за разрывов сигналов в начале и в конце временного интервала, для которого строится спектр, при БПФ применяются окна следующих типов: Ханнига, с плоской вершиной, прямоугольное и Блэкмана-Харриса. Тип окна определяет вид

и резкость пиков спектра, а также разрешающую способность по частоте и амплитуде.

На рисунке 17 показана осциллограмма меандра и его спектра в линейном масштабе, вычисленного с помощью БПФ с окном Ханнига. Логарифмический масштаб существенно увеличивает динамический диапазон спектрального анализа, но приводит к широкой шумовой дорожке.

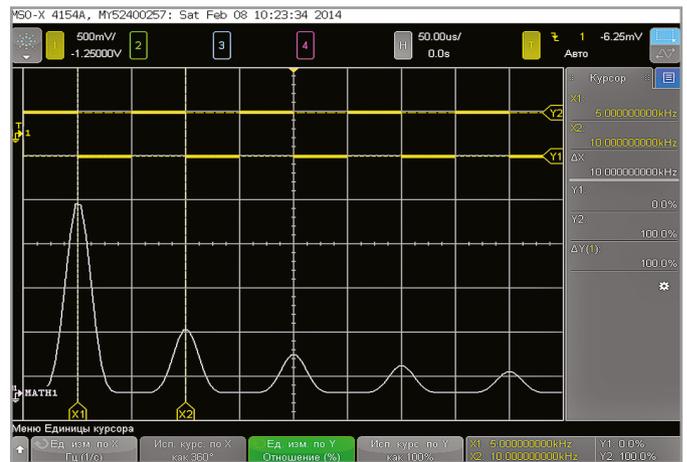


Рис. 17. Осциллограмма меандра и его спектра, вычисленного с помощью БПФ

Здесь возможно курсорное измерение амплитуды и частоты выделенного пика спектра, а также включение режима усреднения спектров для уменьшения уровня шума. Режим отслеживания курсором, при его перемещении по графику спектра, позволяет измерить амплитуды пиков.

При реализации БПФ задаётся установка средней частоты и диапазона частот. Это удобно при анализе спектра

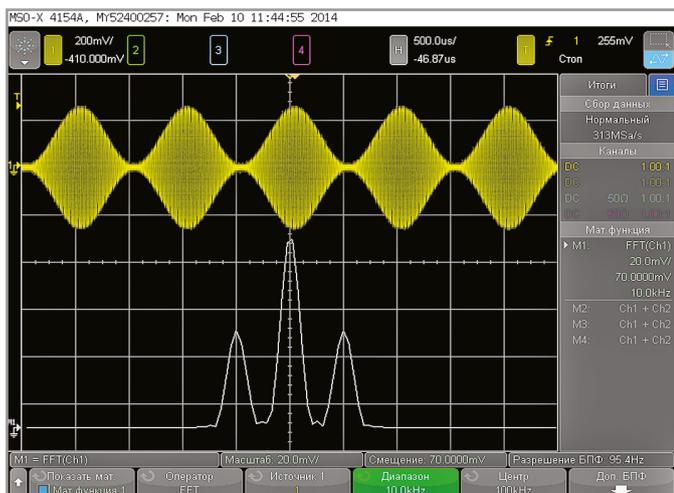


Рис. 18. Амплитудно-модулированный сигнал и его спектр

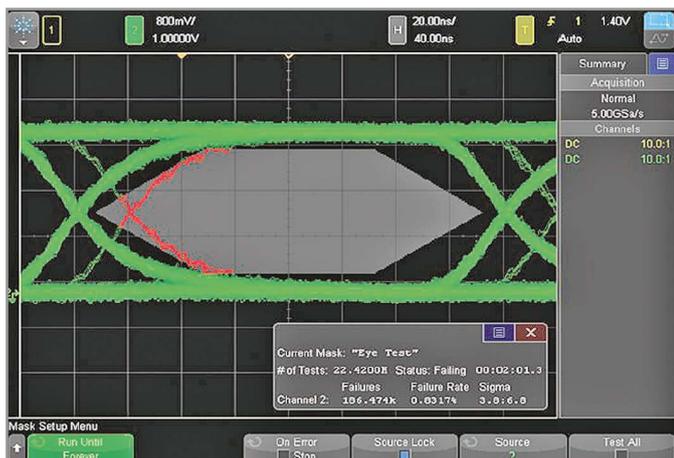


Рис. 20. Пример построения глазковой диаграммы с маской

амплитудно-модулированных сигналов (см. рис. 18). Если модулирующий и модулированный сигналы синусоидальные, то спектр АМ-сигнала представлен тремя пиками: несущей высокой частоты и двух боковых частот, отстоящих от несущей на частоту модулирующего сигнала. Установка полосы частот разрешения зависит от масштаба временной развертки.

На рисунке 19 показано совмещение осциллограммы синусоидального сигнала с частотой, изменяющейся по линейному закону, с математической операцией построения тренда, который отображает линейно-ступенчатый характер изменения частоты (белая линия).

Для обеспечения допускового контроля скоростных устройств применяются так называемые маски и глазковые диаграммы [6] (см. рис. 20). Маски – это области ограничения осциллограмм серого цвета, получаемые с помощью многоугольников или самих осциллограмм. Глазковая диаграмма отображает два нормированных сигнала, например, на входе и выходе системы.



Рис. 19. Осциллограмма сигнала с линейным качением и графиком изменения частоты (белая линия)



Рис. 21. Анализ последовательной шины данных по протоколу I²C

Если они чётко пересекаются и «глаз» открыт, то тестируемая система работает нормально. Из-за шумов и наводок толщина линий осциллограммы расширяется и «глаз» закрывается, что свидетельствует о нарушении условий работоспособности системы.

В осциллографах описываемой серии построение масок и контроль вхождения в них осциллограмм заметно ускорен (до 270 000 тестов в секунду с настройкой DSOX4MASK) благодаря применению аппаратных средств. Выходящая за пределы маски часть осциллограммы или глазковой диаграммы окрашивается красным цветом, а в окне выводятся результаты анализа.

Как уже отмечалось, осциллографы серии 4000X могут выполнять функции декодирования и анализа данных последовательных шин по их протоколам. Это существенно расширяет область их применения, хотя для полного анализа многих видов шин необходимо использовать дополнительные программные средства, которые предоставляет компания Keysight Technologies (ранее Группа электрон-

ных измерений Agilent Technologies). На рисунке 21, в качестве примера, показано окно декодирования демонстрационных данных шины I²C, включая адреса и временные диаграммы.

Аналоговые осциллографы, как правило, оснащены режимом XY, когда один сигнал подается в канал вертикального отклонения Y, а второй – в канал горизонтального отклонения X. Если сигналы синусоидальные, имеют одну частоту и некоторый сдвиг по фазе, то на экране осциллографа будет отображаться фигура Лиссажу. Она будет вращаться, если частоты сигналов не кратные. Осциллографы InfiniiVision 4000X тоже имеют режим XY (см. рис. 22). В данном случае фигура Лиссажу отображает два синусоидальных сигнала с частотами 1000 и 2500 Гц, полученные от встроенного генератора.

Установки параметров осциллографа, отдельные осциллограммы и копии экрана можно сохранить в память осциллографа или на USB-модуль флэш-памяти в виде файлов. Для ввода названий файлов и папок или аннотаций к осциллограммам можно вос-

пользоваться виртуальной сенсорной клавиатурой. Все основные форматы файлов осциллограмм и копий экрана, принятые для таких данных, поддерживаются.

Следует отметить, что при снятии графических копий экрана открытые позиции меню и большинство вспомогательных окон автоматически закрываются и не могут быть скопированы. Это неудобно при необходимости использования полных копий экрана в отчётах или статьях. Впрочем, полные копии экрана можно сделать планшетом iPad с помощью удалённого доступа к осциллографу, подключённому к компьютерной сети через порт 10 (см. рис. 3).

По итогам изучения характеристик и возможностей осциллографов Agilent серии InfiniiVision 4000X нельзя не признать справедливость присуждения им таких авторитетных наград, как «Best Electronic Design» и «Best in Test».

ЛИТЕРАТУРА

1. InfiniiVision 4000 X-Series Oscilloscopes. Data Sheet. Agilent Technologies, Inc., 5991-1103EN. October 18. 2013.

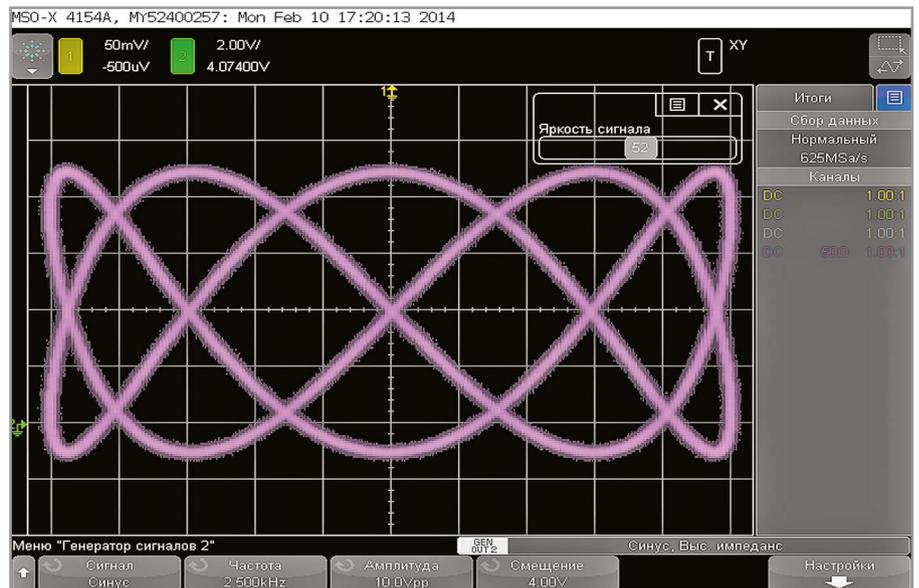


Рис. 22. Фигура Лиссажу в режиме XY

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. № 2. 2012.
 4. Дьяконов В. Как потратить миллион рублей на покупку цифрового осцил-

лографа, и что из этого выйдет? Компоненты и технологии. № 12. 2013.

5. Дьяконов В.П. МА TLAV и SIMULINK для радиоинженера. ДМК-Пресс. 2011.
 6. Дьяконов В.П. Сверхскоростная твердотельная электроника. В 2 т. ДМК-Пресс. 2013.

