

ТЕСТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ USB 2.0 С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ R&S® RTO

БЕРНХАРД ШУЛЬЦ (BERNHARD SCHULZ), ГВИДО ШУЛЬЦЕ (GUIDO SCHULZE)

В статье рассматривается вопрос тестирования устройств, работающих по протоколу USB 2.0. Описаны процедура тестирования по маске и схема измерений. Приведен пример анализа тестовой битовой последовательности данного стандарта с использованием осциллографа R&S RTO.

ВВЕДЕНИЕ

Протокол USB является одним из наиболее распространенных. Он предполагает три режима работы, отличающиеся скоростями передачи данных, составляющими 1,5; 12 или 480 Мбит/с. Для каждой скорости передачи установлены собственные испытания, совокупность которых обеспечивает качественный обмен данными между взаимодействующими устройствами. Для USB 2.0 разделяют тесты для режимов приема и передачи, которые подробно описаны в [1]. Тестирование передатчика выполняется с помощью осциллографа с полосой пропускания не менее 2 ГГц. Для тестирования приемника требуется генератор, способный формировать специализирован-

ные тестовые сигналы с заданными амплитудами, которые подаются на испытуемое устройство USB.

Среди всех аспектов тестирования одним из важнейших является тестирование по маске. Его необходимо проводить только для высокоскоростного режима High Speed (HS). В разделе 7.1.2.2 спецификации [1] даны определения нескольких тестов по маске для режима HS. В настоящей работе кратко рассматривается тест по маске передатчика USB 2.0 и показывается способ его выполнения с помощью осциллографов R&S RTO.

ГЛАЗКОВЫЕ ДИАГРАММЫ И ТЕСТИРОВАНИЕ ПО МАСКЕ

Глазковые диаграммы используются для определения качества сигнала

во временной области. С этой целью поток данных непрерывно повторяется, идущий сигнал разделяется на единичные интервалы. Осциллограммы от отдельных битов накладываются в пределах одного отображения, что и формирует глазковую диаграмму. Такие показатели качества как раскрыв глазка (снижение амплитуды за счет шума и спада) и ширина глазка (уменьшенное время раскрытия за счет джиттера) оцениваются по ее виду. Раскрыв глазковой диаграммы тестируется на соответствие маске конкретного стандарта. Части сигнала не должны нарушать границ маски.

При тестировании рассматривают режимы нисходящей и восходящей передач. В первом случае тестируется передатчик USB-хоста, во втором — подключаемого устройства. При проведении измерений средство измерений (например, осциллограф) необходимо подключить через оконечные резисторы. На рисунке 1 показана схема измерений, реализованная с помощью приспособлений для тестирования USB. В продаже имеются готовые средства тестирования, например, [2]. Измерения проводятся на дифференциальных линиях данных D+ и D-.

Для тестов по маске в спецификации стандарта USB 2.0 определен тестовый пакет, который имеет длину 488 битов и длительность 1,0166 мкс. Он непрерывно повторяется с заданной циклическостью. Тестовый пакет включает заголовок (Sync + Data0 PID), полезные данные (различные битовые шаблоны), циклический контроль избыточности (CRC) и данные конца пакета (EOP).

Для отдельных плоскостей тестирования (TP), показанных на рисунке 2, заданы различные шаблоны масок. Обычно тесты по маске проводят в плоскостях TP2 и TP3. Точки TP1 и TP4 расположены прямо на микросхемах

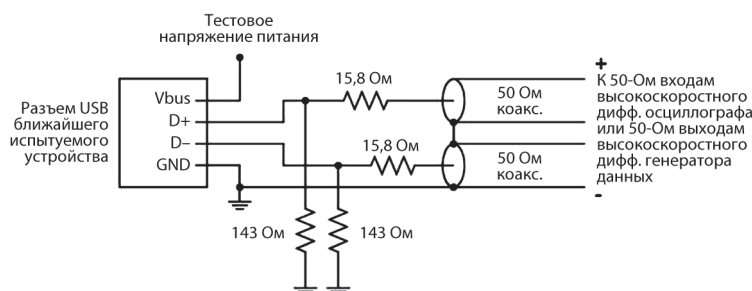


Рис. 1. Схема испытательной установки для тестирования по маске протокола USB 2.0

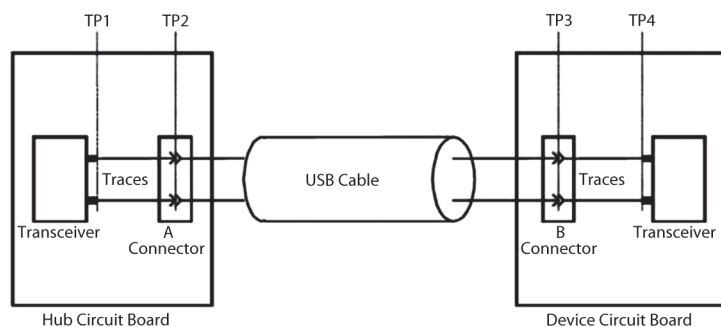


Рис. 2. Сечения тестирования по маске

Transceiver — приемопередатчик; Traces — проводники; Connector — разъем; USB cable — USB-кабель; Hub circuit board — ядро системы; Device circuit board — подключаемый компонент

приемопередатчиков, и тестирование в них необязательно.

Стандарт USB 2.0 предусматривает тестирование по шести шаблонам, отличающимся направлением передачи и типом тестируемого устройства. Среди этих шаблонов предусмотрены два вспомогательных, предназначенных для инженерной отработки передачи данных.

Шаблоны USB-передачи определяют минимальные и максимальные пределы амплитуды, а также пределы для открытого «глаза» и охватывают тестирование динамических характеристик сигнала на выходе передатчика (уровни выходного напряжения, прямые/обратные выбросы, спады, время нарастания/спада и дрожание фазы). Целью отработки функций передатчика является получение сигнала с широко открытым «глазом», чтобы гарантировать надежную передачу данных.

Шаблоны USB-приема определяют минимальные и максимальные пределы амплитуды и область открытого «глаза». Тестовый сигнал имеет меньшие пределы открытого «глаза» для проверки возможности восстановления переданных данных.

ТЕСТИРОВАНИЕ ПЕРЕДАТЧИКА USB 2.0 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСЦИЛЛОГРАФА R&S RTO

Для выполнения тестирования воспользуемся осциллографом R&S RTO. Он имеет высокие динамические характеристики за счет малошумящего входного каскада и аналого-цифрового преобразователя с эффективным числом битов более 7. Другим важным свойством R&S RTO является поддержка во всей полосе частот диапазонов чувствительности, лежащих ниже 10 мВ/дел. Система синхронизации функционирует в режиме реального времени, что значительно снижает джиттер запуска и повышает чувствительность.

Для примера рассмотрим тестирование восходящих каналов передачи. В схеме измерений (см. рис. 3) использована вспомогательная плата. Внешний ПК с установленной программой HS-Electrical Test Tool, предназначенной для тестирования, подсоединяется к порту INIT. Осциллограф RTO посредством дифференциального пробника подсоединяется к плоскости тестирования с соответствующими линиями данных D+ и D-, а испытуемое устройство (ИУ) подсоединяется к порту Test.

Инициация передачи обеспечивает соответствующими настройками и выбором тестового пакета в программе HS-Electrical Test Tool. После этого заданный пакет для тестирования USB 2.0 длиной 488 битов и длительностью 1,0166 мкс должен быть сформирован в ИУ. В спецификации тестирования [1]

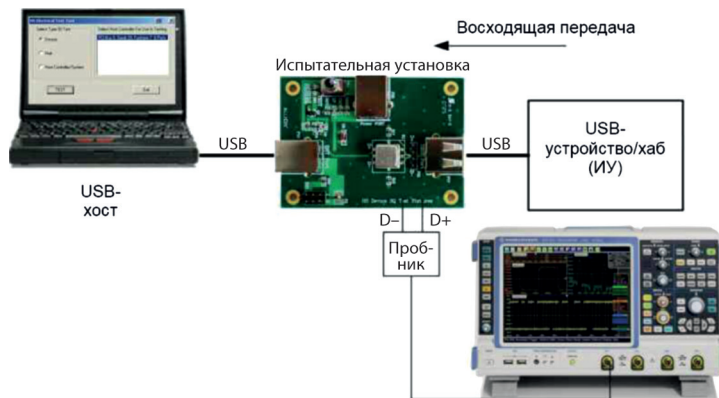


Рис. 3. Схема измерительной установки

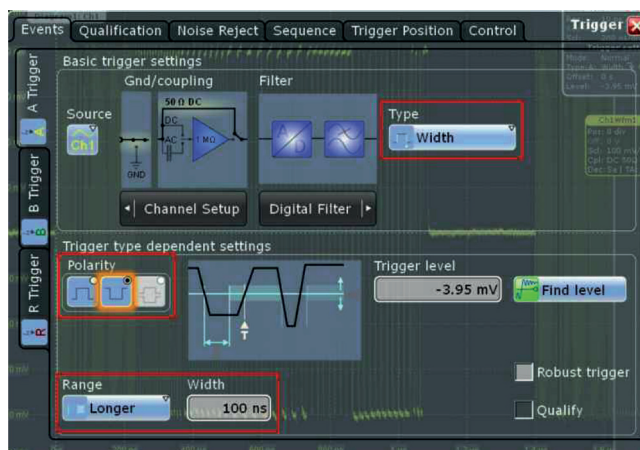


Рис. 4. Настройка запуска для тестового пакета USB 2.0

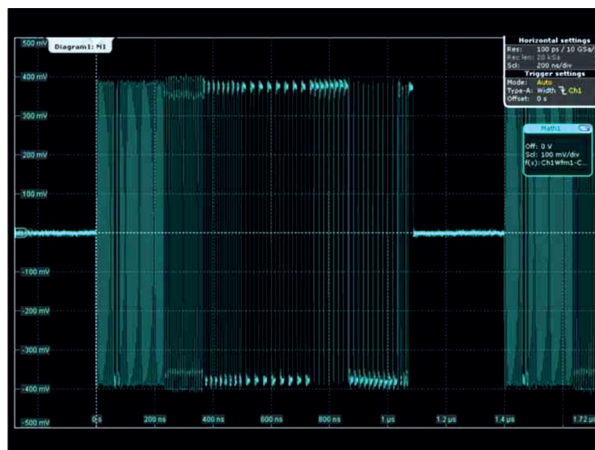


Рис. 5. Вид тестового пакета USB 2.0

определено, что для тестирования качества сигналов в режиме HS необходимо использовать дифференциальный пробник, например, R&S RT-ZD30 или R&S RT-ZD40, подключив его к разъемам D+ и D-. Для проведения анализа необходимо захватить, по крайней мере, один полный тестовый пакет. Для этого устанавливается запуск по времени простоя между пакетами (см. установки и режимы на рисунке 4).

После захвата сигнала и подстройки масштаба на экране будет виден, по крайней мере, один тестовый пакет целиком, как показано на рисунке 5. Для этого следует установить масштаб по горизонтали 200 нс/дел и изменить позицию запуска на значение 10%. Поскольку номинальные уровни дифференциального напряжения USB 2.0 составляют ± 400 мВ, установка вертикального масштаба 100 мВ/дел обеспе-

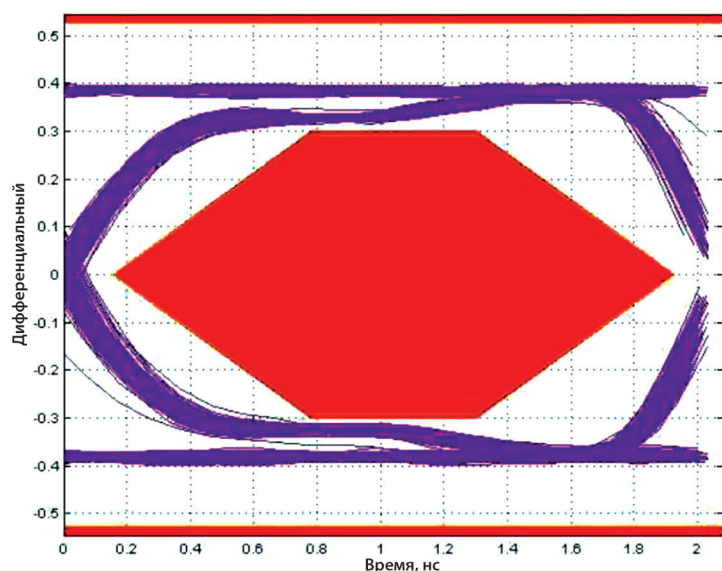


Рис. 6. Соотношение рассчитанной глазковой диаграммы и тестовой маски

чит наилучшее представление сигнала.

Далее следует сохранить полученную осциллограмму в формате *.csv, в результате чего будут получены файлы с временными и амплитудными параметрами. Для дальнейшей обработки необходимо объединить их с использованием конвертера, выпущенного компанией R&S, в результате чего получается файл с комбинированными данными, который и используется для тестирования по маске.

Для проведения анализа качества сигналов в высокоскоростном режиме на приборе RTO или на любом другом компьютере используется программа USB-IF Electrical Test Tool. В настройках программы указывают текущий тип

тестирования. На основе сохраненных данных она вычисляет глазковую диаграмму и выполняет тестирование по маске с помощью соответствующего шаблона. Результаты тестирования выводятся в html-файл. В нем приводится отчет с численными характеристиками джиттера и другими параметрами, а также с заключением о годности ИУ.

Результаты тестирования представляются в графической форме (см. рис. 6). На глазковой диаграмме в шаблоне маски можно видеть номинальные уровни ± 400 мВ и нарастающие и спадающие битовые переходы. В данном примере границы внутренней маски и максимальные пределы не нарушаются. Если граница маски нару-

шена, соответствующие точки данных будут помечены. Аналогично проводится тестирование нисходящего канала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье продемонстрирован простой и экономически эффективный способ тестирования сигналов стандарта USB 2.0 по маске с помощью осциллографов R&S RTO, оснащенных активными дифференциальными пробниками. Тесты по маске являются эффективным средством проверки целостности сигналов при проведении отладки и тестирования. Возможные нарушения в виде недостаточных значений времени нарастания/спада, выбросов, джиттера или шума определяются без особых затруднений.

Цифровой осциллограф R&S RTO зарекомендовал себя в качестве подходящего прибора для захвата сигналов с целью получения надежных результатов измерений. Официальные программные средства, предоставляемые Форумом по внедрению USB на сайте usb.org, позволяют провести скоростной анализ и отобразить все результаты в одном отчете. Помимо анализа тестов по маске программа USB-IF Electrical Test Tool выполняет дополнительное тестирование качества сигнала, например, определяет скорость передачи данных, монотонность фронтов, скорость нарастания/спада и дополнительную информацию о джиттере.

ЛИТЕРАТУРА И ССЫЛКИ

1. USB-IF: USB 2.0 Electrical Test Specification, Revision 1.03, January 2005.
2. www.allion.com.

