

# Вопросы тестирования интерфейсов стандарта USB 3.x

Тами Пипперт, Keysight Technologies

При разработке и тестировании USB-интерфейсов стандарта 3.x недостаточно использовать только цифровые техники, необходима комбинация цифровых и радиочастотных методов. Дизайн разъёма и кабеля должен сводить к минимуму излучаемые помехи, способные влиять на работу других устройств, и в то же время обеспечивать устойчивость системы к внешним помехам. Тестирование современных USB-интерфейсов включает не только традиционное измерение параметров глазковых диаграмм, но и радиочастотный спектральный анализ, рефлектометрические измерения во временной области, определение S-параметров линии передачи и кольцевую (Loopback) проверку приёмника.

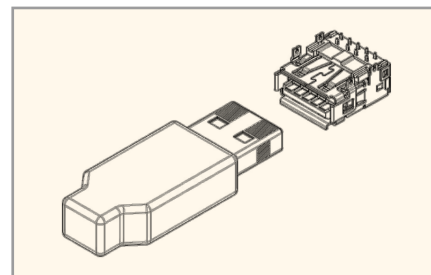
## ВВЕДЕНИЕ

Необходимость замены стандартных низкоскоростных последовательных интерфейсов, применяемых в компьютерах и модемах, на более высокоскоростные обусловила появление интерфейса USB. Прежние последовательные интерфейсы работали со скоростями передачи данных от 10 до 100 кбит/с, для их проектирования, тестирования и реализации применялись только цифровые технологии. Интерфейсы USB версий 3.0 (SuperSpeed) и 3.1 (SuperSpeed Plus) обеспечивают передачу потокового видео высокой чёткости и почти мгновенную перезапись файлов большого объёма. Одна из областей применения высокоскоростных интерфейсов – работа с внешними накопителями. Твёрдотельные накопители (SSD), которые приходят на смену механическим жёстким дискам в современных моделях планшетов и ноутбуков, обладают меньшей ёмкостью, чем традиционные HDD. Если корпоративные пользователи ещё могут примириться

с ограниченной ёмкостью встроенного накопителя, то частным пользователям нужны терабайтные ёмкости для хранения архивов семейных фотографий и видео высокого разрешения. Создание резервных копий и хранение архивов данных на внешних HDD-дисках является для них вариантом гораздо более простым, быстрым и дешёвым, чем использование облачных хранилищ.

В спецификации USB 3.1, опубликованной в июле 2013 г., определена скорость передачи данных 10 Гбит/с против 5 Гбит/с в спецификации 3.0, вышедшей в ноябре 2008 г. – это достигается за счёт новой схемы кодирования. Ожидаемая реальная скорость передачи данных составит порядка 1 Гбайт/с против 400 Мбайт/с в системах версии 3.0.

Передача данных на высоких скоростях создаёт помехи работе других периферийных устройств ПК, таких как сетевые адаптеры, устройства Bluetooth, беспроводные клавиатуры и мыши. Поэтому спецификации



ей USB 3.1 была введена новая конфигурация разъёмов, которая призвана как минимизировать ЭМИ в зонах контактов, так и снизить чувствительность системы к ВЧ-излучению от других источников.

Новые разъёмы 3.1 обратно совместимы с разъёмами предыдущей версии. Однако максимальная длина кабеля была уменьшена: если спецификация USB 2.0 допускала использование кабеля длиной до 5 м, а спецификация USB 3.0 – 2–3 м, то в спецификации USB 3.1 рекомендовано использовать кабель длиной до 1 м.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ И ТЕСТИРОВАНИЮ

Качество USB-интерфейса оценивается на основе измерений параметров глазковой диаграммы. Современные осциллографы реального времени с широкой полосой пропускания и пикосекундным временем нарастания (такие как, например, Keysight Infiniium 90000 X-Series), позволяют выполнять непосредственные измерения при наличии соответствующей тестовой оснастки. На рисунке 1а,б приведены глазковые диаграммы для передатчиков стандар-

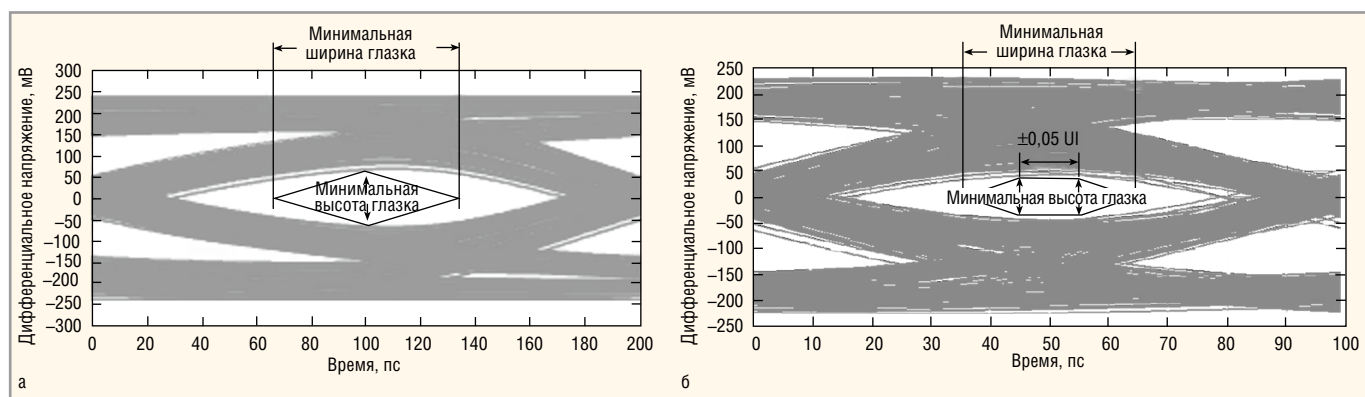


Рис. 1. Параметры глазковой диаграммы для спецификаций USB: а – USB 3.0; б – USB 3.1

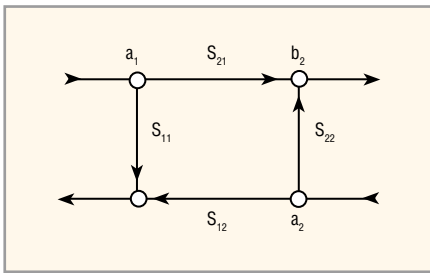


Рис. 2. S-параметры двухпортовой схемы

тов USB 3.0 и 3.1. Для проверки их параметров необходимо выполнять измерения при несимметричной нагрузке 50 Ом. Чем выше скорость передачи данных, тем заметнее влияние на качество интерфейса сопутствующих факторов – как активных (временной джиттер, фазовый шум генератора, линейность усилителя), так и пассивных (отражения и вариации задержек в коннекторах платы и кабелях). Каждый из этих факторов в той или иной степени вызывает сужение глазка диаграммы и увеличение числа ошибок демодуляции, а, следовательно, количества ошибок при передаче данных. Маски глазковых диаграмм стандартных передатчиков приведены в таблице.

Измерение параметров глазковой диаграммы позволяет судить о работоспособности системы, но чтобы определить причины неудовлетворительного результата, нужны другие методы. Помимо эффектов, возникающих в самой системе, разработчикам нужно учитывать возможность влияния внешних помех и измерять излучение, которое может повлиять на другие компоненты системы. Используя тестер коэффициента битовых ошибок (Bit Error Rate Tester, BERT), можно выявить как ошибки передачи данных, так и уровень лежащего в их основе джиттера тактовых сигналов на передатчике USB. Для имитации непрерывных и модулированных помех необходим специальный источник сигналов. Излучаемые помехи можно измерять с помощью анализатора спектра и направленных антенн. Полноценные испытания на электромагнитную совместимость требуют размещения тестируемого устройства в безэховой камере, чтобы исключить воздействие на него излучений других локальных источников. В современных ноутбуках расстояние между компонентами невелико, поэтому USB-интерфейс может испытывать воздействие помех достаточно высокого уровня. Чтобы защититься от них, можно внести некоторые изменения

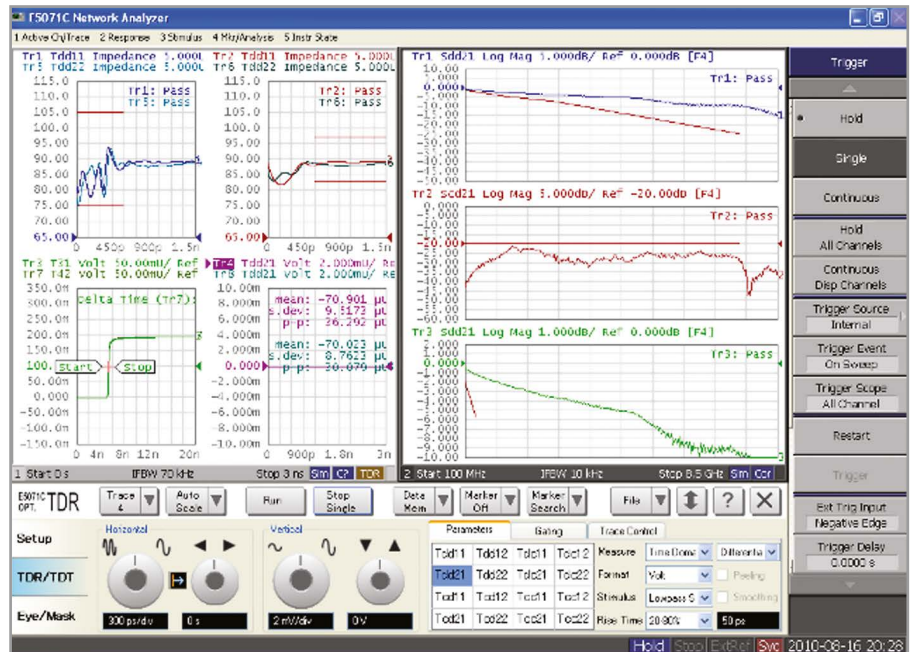


Рис. 3. Типовые результаты рефлектометрического анализа и проверки соответствия S-параметров, полученные с использованием анализатора цепей Keysight E5071C с опцией TDR

в конфигурацию, например, использовать другой порт, но предпочтительнее следовать лучшим практикам проектирования.

Лучшие практики проектирования рекомендуют рассматривать интерфейсы стандартов USB 3.0/3.1 как тракт передачи радиосигнала. Передающие характеристики кабеля и разъёма могут быть определены в терминах S-параметров, которые измеряются с помощью векторных анализаторов цепей с соответствующей тестовой оснасткой. S-параметры представляют собой комплексные коэффициенты прямой и обратной передачи/отражения (см. рис. 2). Анализатор цепей можно откалибровать с использованием калибровочных мер, чтобы исключить влияние тестовой оснастки и повысить точность результатов измерения тестируемого устройства.

Другой проверенный метод измерения, применяемый для оценки топологии печатных плат, качества кабеля и разъёма – динамическая рефлекто-

метрия. На рисунке 3 показаны результаты рефлектометрического анализа и проверки соответствия S-параметров, полученные с использованием анализатора цепей Keysight E5071C с опцией TDR (рефлектометрии во временной области).

Качественный приёмник должен надёжно работать при минимальном раскрытии глазка. На ранних этапах проектирования приёмники тестируются на физическом уровне (PHY) с использованием аналоговой обратной связи, когда данные не проходят через цифровой тракт интерфейса, а подаются непосредственно с аналоговых входов на аналоговые выходы. Таким образом, можно тестировать приёмник до завершения разработки цифрового тракта интерфейса. Финальное тестирование на соответствии стандарту требует использования режима кольцевой проверки через все тракты, включая цифровой. Сигнал с размытой глазковой диаграммой подаётся с тестера коэффициента

Маска глазковой диаграммы стандартного передатчика в контрольной точке (TP1)

Характеристика сигнала	5 GT/s (гигатрансаферов в секунду)		10 GT/s (гигатрансаферов в секунду)		Единица	Примечание
	Минимум	Максимум	Минимум	Максимум		
Высота глазка	100	1200	70	1200	мВ	2,4
Регулярный джиттер (DJ)		0,43		0,530	Единичный интервал (UI)	1,2,3
Случайный джиттер (RJ)		0,23		0,184	UI	1,2,3,5
Суммарный джиттер (TJ)		0,66		0,714	UI	1,2,3

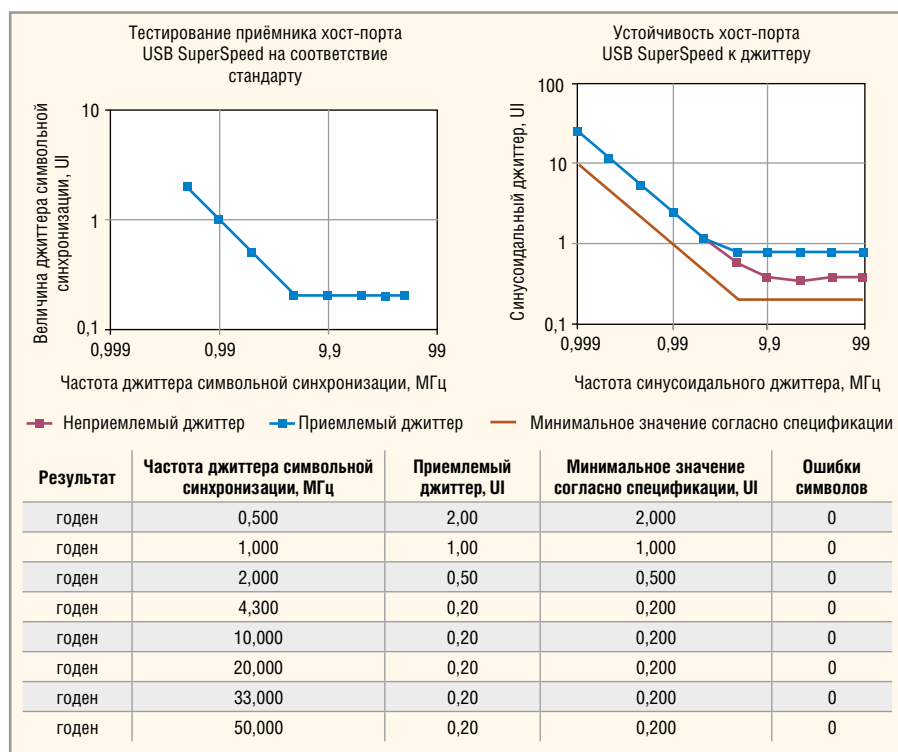


Рис. 4. Автоматизированное измерение джиттера с помощью Keysight J-BERT M8020A

битовых ошибок (BERT) на тестируемый приёмник, проходит все логические блоки приёмника и поступает на вход передатчика. Выход передатчика соединён с входом детектора ошибок, который выполняет побитовое сравнение принятого сигнала после удале-

ния упорядоченного множества пропусков (SKP OS) и измеряет коэффициент битовых ошибок. Эта проверка выполняется асинхронно – приёмник не получает синхросигнал непосредственно от BERT, а восстанавливает его из потока данных.

Для тестирования приёмника требуется специализированный BERT, позволяющий создавать кодовые последовательности для кольцевой проверки приёмника, вносить калиброванный джиттер и автоматически измерять джиттер при испытаниях в предельных режимах. Пример результатов такого тестирования показан на рисунке 4.

### Выводы

Для разработки и производства устройств USB 3.x необходимо специализированное измерительное оборудование, соответствующее требованиям новейших стандартов. При выборе производителя измерительного оборудования следует учитывать его опыт и степень участия в работе организаций по стандартизации, в том числе в работе международной некоммерческой организации USB Implementers Forum (USB-IF). Только в этом случае разработчики могут быть уверены, что создаваемая система будет работать корректно, обеспечивать надёжную передачу данных в высокоскоростном интерфейсе и не создавать помех другим периферийным устройствам.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Keysight Application Note 154 (документ № 5952-1087).



## Новости мира News of the World Новости мира

### Решение для анализа в частотной области для осциллографов реального времени

Компания Keysight Technologies объявила о выпуске опции для анализа в частотной области (FDA) для осциллографов реального времени.

Опция FDA расширяет возможности осциллографов серии Keysight Infiniium и InfiniiVision, позволяя визуализировать захваченные осциллографом сигналы в частотной области, а также выполнять основные спектральные измерения.

Опция N8832A-001 включает само приложение, исходный код приложения и программное обеспечение MATLAB. Эти инструменты позволяют расширять возможности приложений в соответствии с текущими и будущими контрольно-измерительными задачами.

Приложение FDA решает множество задач, связанных с анализом в частотной области, благодаря наличию следующих функций:

- измерение спектральной плотности мощности (PSD) и визуализация спектрограммы, которая часто встречается в анализаторах спектра и приложениях частотного анализа;
  - измерения в частотной области, включая измерение достоверных пиков в PSD и измерение таких параметров, как занимаемая полоса частот, отношение сигнал/шум, нелинейные искажения, свободный от паразитных составляющих динамический диапазон и ошибка частоты;
  - программная настройка осциллографа, которая обеспечивает воспроизводимость настроек прибора и измерений (опционально эта функция может включать дополнительные команды SCPI для расширенной настройки);
  - вставка дополнительных специализированных команд обработки сигнала перед визуализацией в частотной области для расширенного анализа;
  - живой или автономный анализ данных временной области в ПО MATLAB.
- Компания Keysight является первой

и единственной компанией, продающей и поддерживающей в своих приборах ПО MATLAB, предлагая инженерам полное программно-аппаратное контрольно-измерительное решение.

ПО MATLAB не только входит в состав программной опции Keysight N8832A-001, но и выпускается в виде опции для других приборов Keysight.

Информация о применении ПО MATLAB в осциллографах Keysight Infiniium и InfiniiVision приведена на странице [www.keysight.com/find/matlab\\_oscilloscopes](http://www.keysight.com/find/matlab_oscilloscopes).

Информация о применении ПО MATLAB в генераторах и анализаторах сигналов, генераторах сигналов произвольной формы, анализаторах цепей и контроллерах PXI и AXIe компании Keysight приведена на странице [www.keysight.com/find/matlab](http://www.keysight.com/find/matlab).

Дополнительную информацию о ПО анализа в частотной области N8832A-001 для осциллографов реального времени можно найти на странице [www.keysight.com/find/FDA](http://www.keysight.com/find/FDA).

[www.keysight.com](http://www.keysight.com)