

Прямой синтез сигналов для тестирования последовательных шин

КРИСТОФЕР ЛОБЕРГ (CHRISTOPHER J. LOBERG), Tektronix, Inc.

По мере роста скоростей передачи данных проверка работы высокоскоростных схем последовательной передачи данных все более сосредотачивается на тестировании приемного устройства в условиях помеховой нагрузки. Сложность тестовой системы, а также непостоянная аналоговая природа реальных сигналов потребовали улучшения методики тестирования для имитации помех и искажений сигнала. В статье рассказывается о применении для этого технологии прямого синтеза сигналов, реализованной в высокоскоростных генераторах сигналов произвольной формы.

В течение многих лет в передаче данных между цифровыми устройствами господствовал установившийся подход, диктовавший использование широких синхронных параллельных шин. Однако при высоких тактовых частотах проблемы синхронизации стали настоящим бедствием параллельных шин. Это сильно ограничивало их способность успевать за требованиями высокоскоростных вычислительных архитектур, применяемых в серверах и графических системах.

Распространение последовательных шин за последние несколько лет преобразило компьютерную индустрию. Последовательные шины пересылают только однобитные потоки данных и обладают способностью «самосинхронизации». Это снимает проблему «перекося» временной диаграммы сигнала, характерную для параллельных технологий. При последовательной передаче данных синхронизация становится гораздо менее проблематичной, и архитектурные ограничения на общую пропускную способность снижаются. В результате скорости последовательной передачи данных перевалили за 1 Гб/с, а текущие реализации уже подходят к значениям 3...6 Гбит/с.

Однако по мере все более частого применения в цифровых системах мультигигабитных скоростей последовательной передачи данных перед проектировщиками все острее встает новая проблема: целостность сигнала (его качество), необходимое для правильной работы интегральных схем. Один неправильный бит в потоке данных может вызвать собой выполнения инструкции или транзакции.

По мере роста скоростей передачи данных развивается и процесс тестирования схем последовательной передачи данных. Почти все «последовательные» стандарты (например, PCI Express или Serial ATA) содержат набор рекомендуемых спецификаций тестирования. Эти спецификации публикуют организации, ответственные за стандарт. Когда

скорость передачи превысила 1 Гбит/с, в стандартах начали делать акцент на тестировании приемных устройств в наихудших условиях (стресс-тесты). Это стало важным контрольным ориентиром успешной работы высокоскоростных последовательных схем. По мере «утончения» бита (перехода в области пикосекунд и микровольт) воздействие на схему шума, джиттера (фазовой нестабильности фронтов импульсов), перекрестных наводок, распределенных реактивных сопротивлений, колебаний электропитания и других помех повышает риск потерь в принимаемом сигнале.

Чтобы эффективно провести стресс-тестирование высокоскоростного последовательного приемного устройства, необходимо воссоздавать различные неблагоприятные условия. Это позволит определить способность приемного устройства четко распознавать биты с высокой степенью достоверности. При этом для описания цифровых данных приходится использовать аналоговые параметры, т.к. цифровые сигналы являются в своей основе аналоговыми событиями. Нулевое время роста и идеально плоская вершина сигнала — это фикция. Цифровой «прямоугольный импульс» в реальности редко соответствует своему теоретическому прототипу. Достоинство специального источника сигнала заключается в его способности единообразно имитировать различные аналоговые дефекты.

Технология, по которой создается сигнал для стресс-тестирования, называется прямым цифровым синтезом. Технология прямого синтеза как подход к проектированию устройств документирована в статье [1] организации IEEE, опубликованной в 1971 г. Эта технология позволяет создавать сигналы, которые заключают в себе эффекты распространения по линии передачи. Время нарастания сигнала, формы импульсов, задержки и искажения — всем этим можно управлять. Это именно то, что нужно делать для тщательного тестирования последовательных шин.

Методика прямого синтеза основана на технологии выборки (дискретизации). Осциллограф получает элементы выборки из аналоговых сигналов. А источник сигнала прямого синтеза, или генератор сигналов произвольной формы (ГСПФ), создает сигналы аналоговой формы из элементов выборки. Его выходной сигнал представляет собой набор цифровых данных, как в реальной последовательной шине данных. Элементы выборки в памяти ГСПФ могут определять, вообще говоря, сигнал любой формы, включая цифровые импульсы. Конечно, этим сигналам по-прежнему присущи естественные физические ограничения и определенная полоса пропускания. Но в пределах заданного диапазона ГСПФ может создать пакет для последовательной передачи данных со скоростью 5 Гб/с. Новое поколение ГСПФ (см. рис. 1) способно генерировать сигналы с высо-



Рис. 1. Высокоскоростной генератор сигналов произвольной формы (предоставлено компанией Tektronix)

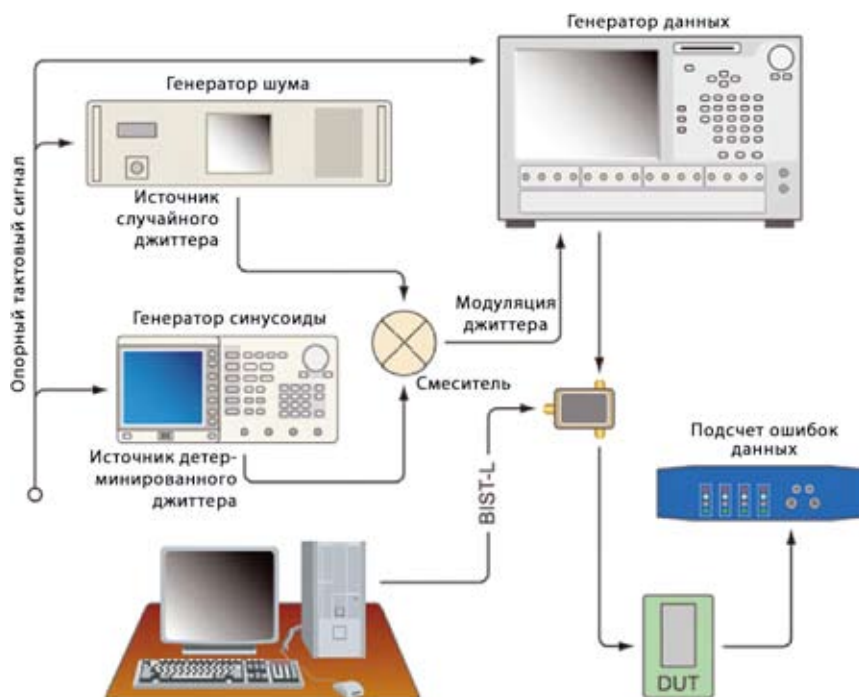


Рис. 2. Типовая система стресс-тестирования приемного устройства

кими скоростями передачи данных, которые часто встречаются в современных последовательных шинах. Новые приборы имеют частоту дискретизации до 20 гигавыборок/с, несколько выходов и память большого объема для поддержки длинных последовательностей сигналов. Эта новая разработка способна существенно улучшить измерения качества последовательной передачи данных, особенно на стороне принимающего устройства.

Методику прямого синтеза можно использовать, например, для вставки джиттера в последовательный поток данных, чтобы определить его влияние на поведение принимающего устройства. Для вставки таких искажений в принимаемый сигнал раньше использовались (и используются) генераторы испытательного сигнала (ГИС). Вставка джиттера традиционно осуществляется с помощью генераторов данных (ГД), также известных под названием генераторов испытательных сигналов и синхроимпульсов. Долгое время такие генераторы служили основой в измерениях последовательных сигналов, включая тесты на устойчивость приемных устройств к джиттеру. В последующих объяснениях мы сравним метод применения ГД и ГИС с альтернативной технологией использования прямого синтеза.

На рисунке 2 изображена типичная тестовая система для измерений джиттера на приемном устройстве. Этот рисунок показывает оборудование, необходимое для создания последовательностей данных, содержащих и случайный, и детерминированный джиттер.

Этот подход требует постепенного увеличения уровня регулярного и шумового джиттера в составе тестового сигнала, пока устройство не начнет выдавать ошибки. Чтобы определить соответствие устройства его спецификациям, измеряют амплитуду джиттера. Цель создаваемой конфигурации измерительного оборудования — смоделировать реальные компоненты системы, вносящие любой вид джиттера, с которым может столкнуться приемное устройство при работе в составе системы.

Представленная тестовая система не лишена недостатков. Стресс-тестирование приемного устройства для таких стандартов, как Serial ATA [2], требует, чтобы испытываемый прибор следовал инструкциям встроенного самотестиро-

вания (built-in self test, BIST). Формат этих инструкций представляет собой информационные кадры (frame information structure, FIS). Последовательные приемопередатчики или трансиверы (с элементами передатчика, приемника и параллельно-последовательного преобразователя) могут переходить в специальный петлевой (loopback) режим, или режим шлейфовой проверки линии. В этом режиме они получают специальную последовательность фреймов BIST-L (где L и означает loopback, т.е. «петля»). Когда устройство работает в этом режиме, передающее устройство отправляет эхо-повтор принятого сигнала.

Исторически инструкции BIST предоставлялись внешним компьютером, на котором запускалось специальное приложение, написанное для этих целей. К сожалению, большинство трансиверов выходит из режима шлейфовой проверки и возвращается в нормальный режим работы сразу после отключения источника BIST. Это делает невозможным проведение тестов. Традиционный подход к этой проблеме заключается в подаче команд BIST на испытываемое устройство через сумматор сигнала. Другой вход сумматора подключается к генератору сигналов, который будет обеспечивать поток тестовых данных, как показано на рисунке 2. Когда в тестовую цепь включен сумматор сигнала, ГД может начинать подачу тестовых данных на испытываемое устройство сразу после активации режима шлейфовой проверки, и при этом не нужно переключение.

Использование сумматора — вполне работоспособное решение, но и оно не лишено недостатков. Это решение сложнее, оно вносит погрешности из-за образования плохих соединений, плохого электрического контакта и возникновения других механических проблем. Также решение с сумматором нуждается в калибровке всех источников входного сигнала, необходимой для корректного учета всех вносимых компонентов джиттера. Самое важное, что сумматор ослабляет сигнал данных, причем это ослабление может достигать 50%. Часто с этим можно бороться путем увеличения амплитуды выходного сигнала ГД, но ведь рабочие характеристики прибора ограничены. Более того, увеличение амплитуды неизбежно увеличивает шумы и, потенциально, помехи.

Перечисленных сложностей можно избежать, используя подход прямого синтеза и ГСПФ. С помощью ГСПФ можно создавать сигнал нужной формы с необходимым для стресс-тестирования уровнем джиттера. Кроме того, в сигнале можно закодировать набор инструкций BIST для активации испытываемого устройства. Это лишь некоторые из многочисленных задач, которые можно выполнять с помощью ГСПФ и технологии прямого синтеза. Чтобы обеспечить правильную генерацию сигнала, важно располагать инструментами для регистрации, редактирования и проверки важных сигналов, необходимых для успешного тестирования.

Традиционно сигнал нужной формы разрабатывают такими общими средствами моделирования, как MatLab компании The Mathworks. Хотя эти программные продукты и остаются важными для большинства проектов по разработке, специфичная природа стандартов последовательных данных создала потребность в программном обеспечении (ПО) другого рода. Оно должно обеспечивать представление уровня протокола и трансляцию формы сигнала в исполняемый файл. Примером такого ПО является недавно созданный фирмой Tektronix пакет RF Express. Он обеспечивает представление уровня протокола на базе WiMedia, пригодное для создания и редактирования сигнала. Это новое мощное средство (см. рис. 3) предоставляет возможность создавать сигналы заданной формы, включая такие дополнительные элементы, как джиттер и протоколы обмена данными с испытываемым устройством.

ГСПФ Tektronix AWG7000 с соответствующими средствами редактирования сигнала или библиотекой сигналов

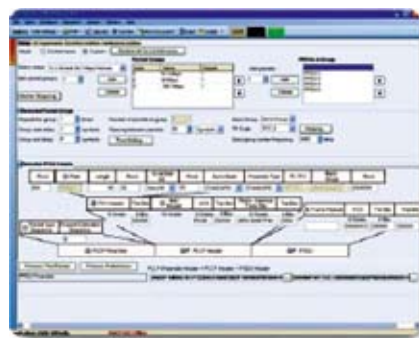


Рис. 3. Создание сигнала WiMedia с помощью ПО RF Express от компании Tektronix

способен генерировать неидеальные сигналы. Также прибор может воспроизводить реальные зарегистрированные сигналы, содержащие шумы и джиттер, с коррекцией пред- и постыскажений, а также обеспечивать многоуровневую передачу сигналов со скоростями до 10 Гб/с.

На сайте компании Tektronix [3] доступна большая библиотека сигналов, созданных для тестирования высокоскоростных систем на основе различных стандартов, например SATA, WiMedia, high-speed USB, Ethernet.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tierney J., Rader C., Gold B. Цифровой синтезатор частот // Сборник трудов IEEE по аудио- и электроакустике, AU-19:1, март, 1971.
2. www.sata_io.org.
3. www.tek.com/products/signal_sources/waveform.html.

ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

| ПРЕДЛАГАЕМ ВНИМАНИЮ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АВТОРОВ СЛЕДУЮЩИЕ ТЕМЫ СТАТЕЙ |

ЭК 8

И в этом номере журнала будет только один тематический раздел – «Источники питания». Это понятие мы трактуем расширенно и собираемся охватить очень большой диапазон решений: от DC/DC-преобразователей мощностью в доли ватта до инверторов и преобразователей мощностью в десятки киловатт, в том числе и источники бесперебойного питания. Также затронем и актуальный вопрос – устойчивость источников питания при работе на динамическую нагрузку.

На наш взгляд, интересным и важным является вопрос построения источников питания для устройств промышленной автоматики, сервоприводов и аналогичных приложений, в которых обычно точность поддержания напряжения не превышает $\pm 10\%$, а пульсации выходного напряжения практически не имеют значения. Применение стабилизированных источников в этих приложениях из-за высокой цены не всегда оправданно, но и разработка собственного источника тоже не панацея. А если все же строить собственный источник, то из каких «кирпичиков»: брать готовые силовые модули, использовать готовые специализированные контроллеры, что сейчас есть на рынке, что разрабатывать самому? К обсуждению этих вопросов мы и приглашаем наших читателей и авторов.

ЭК 9

В тематическом разделе «Дискретные силовые компоненты» мы хотим рассказать о полупроводниковых компонентах и сборках, применяемых для построения изделий силовой электроники. Ждем от наших читателей обзорно-аналитические статьи со сравнительным анализом силовых компонентов различных компаний, а также материалы, посвященные особенностям их применения в различных схемах.

В раздел «Беспроводные технологии» мы планируем включить статьи, рассказывающие и о компонентах, и о решениях на их основе, в том числе и об изменениях в существующих стандартах. Ждем от читателей статьи, описывающие применение различных модулей и беспроводных платформ.

ЭК 10

Название тематического раздела «Дисплеи» говорит само за себя, но в этом разделе мы хотели бы коснуться и схемотехнических решений по управлению дисплеями. Нам кажется, что в статье подобного плана должны быть упомянуты компоненты и решения различных компаний, а также рассмотрены варианты схемотехнических решений. Конечно, в этом разделе мы ожидаем статьи и о новинках и обзорные статьи, рассматривающие тенденции развития этого приложения.

Тему раздела «Измерительные приборы и системы» мы трактуем довольно широко и полагаем, что сюда должны войти и статьи по системам сбора и обработки данных. Нас интересуют как проводные, так и беспроводные решения. Мы постараемся разместить в этом разделе и статью, описывающую проблемы метрологического характера, возникающие при построении измерительных систем. Разумеется, в этом разделе будут материалы о новых приборах ведущих производителей, в том числе и российских.

Если вы захотите сотрудничать с нами, напишите по адресу: gracheva@ecompr.ru и укажите в теме письма «Сотрудничество».

Дополнительно сообщаем, что вы можете приобрести компакт-диски с электронной копией журналов «Электронные компоненты» за 2004—2005 гг. и за 2006г., позвонив в отдел распространения нашего издательства по тел. (495) 741-7701 или оформив заявку по адресу: www.elcpr.ru.