

Анализ протокола шины PCI Express Gen3

требует нового подхода к работе с пробниками

Новое поколение последовательных шин продолжает использовать в качестве среды передачи устаревшие, но экономически выгодные аппаратные средства для более высоких скоростей передачи данных. Одним из последствий этого являются межсимвольные помехи (ISI) и другие искажения сигнала, ухудшающие минимальный достижимый коэффициент битовых ошибок (BER). Для учета этого фактора PCI Express Gen3, работающий на скорости 8 Гбит/с, и другие протоколы, сталкивающиеся с этим физическим ограничением, должны поддерживать некоторые возможности коррекции характеристик канала. И, аналогичным образом, анализатор протокола, используемый для анализа таких шин, тоже должен поддерживать коррекцию.

Глен ВУД (Glenn WOOD)

Введение

Анализатор протокола занимает уникальное положение по отношению к другим приборам и тестируемой системе. Он должен непрерывно, не оказывая влияния на сигнал, контролировать активность исследуемой шины и реагировать на заданные события, выполняя запуск анализа или сохраняя кривую в памяти. Поскольку все это надо делать в режиме реального времени, коррекция тоже должна выполняться в реальном времени. При этом анализатор протокола должен выполнять измерения, не влияя на работу тестируемой системы, и подключаться к сигнальному тракту только в физически доступных точках. Эти два условия требуют применения соответствующих пробников.

Пробник в качестве идеального приемника

Существует множество методов подключения пробника к исследуемой схеме. Поскольку большинство последовательных шин, в том числе и PCI Express Gen3, являются сдвоенными симплексными шинами, они совместимы с широким набором пробников разного типа (рис. 1). Первым показан пробник-повторитель. Он учитывает направленный характер шины для включения активного повторителя между входом и выходом пробника. При этом предполагается, что повторитель создает копию сигнала на выходе пробника и еще одну копию, поступающую на анализатор протокола. Естественно, необходимое условие применения пробника этого типа — возможность включения головки пробника в разрыв тестируемой шины (безусловно, в нужном направлении).

Повторитель может быть цифровым или аналоговым. В последнем случае повторитель представляет собой линейный усилитель с достаточным усилением для разделения сигнала на два тракта: выход шины (на котором суммарный коэффициент усиления пробника должен равняться 0 дБ) и вход на анализатор протокола. Таким образом, техническая сложность создания пробника-повторителя заключается в обеспечении достаточно линейной передаточной характеристики в определенной полосе частот и при определенном динамическом диапазоне входного сигнала.

Повторитель цифрового пробника-повторителя принимает сигнал с входа и создает две его цифровые копии: одну для выходного трак-

та, а другую для анализатора протокола. В этом смысле он подобен аналоговому повторителю. Но, поскольку он получает на входе аналоговый сигнал, а выводит два цифровых сигнала, он, в сущности, выступает в роли приемника шины. В результате его характеристики должны быть близки к характеристикам реального приемника шины. Например, он должен пропускать сигнализацию протокола, такую как состояние Electrical Idle. И он должен принимать участие в адаптивной коррекции двух новых соединений: одного на стороне входа и другого на стороне выхода. Таким образом, цифровой пробник-повторитель имеет значительно больше шансов повлиять на работу тестируемой системы (в лучшую или худшую сторону). Это его недостаток, ибо предполагается, что анализатор протокола должен наблюдать естественное поведение тестируемой системы.

Другим типом пробника является пробник-щуп. Такой пробник с резистивным элементом съема сигнала показан в нижней части рис. 1 (впрочем, для пассивного съема сигнала можно использовать и элемен-

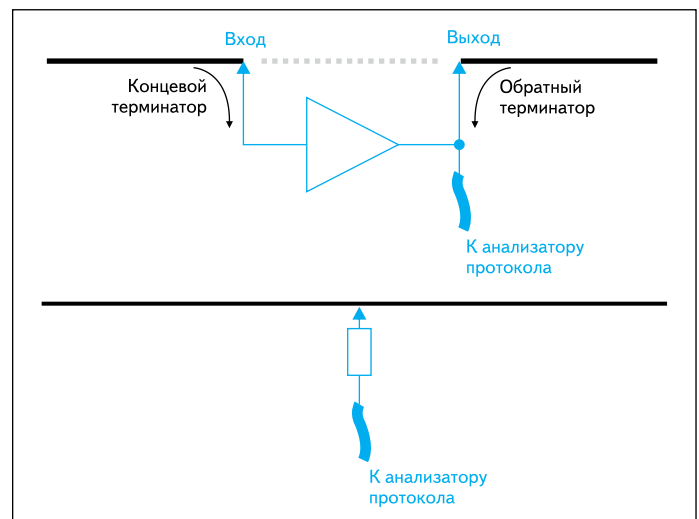


Рис. 1. Типы пробников



Рис. 2. Пробник-щуп

ты иного типа). Очевидно, что этот пробник не обладает направленностью. Но главным преимуществом пробника этого типа является то, что он практически не влияет на работу тестируемой системы. Кроме того, канал в этом случае может иметь лишь одну контрольную точку (что уменьшает связанные с этим паразитные эффекты) и не имеет разрывов. Естественно, конструкция этого пробника должна обеспечивать минимальное паразитное влияние на сигнал в точке съема. Образец такого пробника показан на рис. 2: пробник U4322A SoftTouch для PCI Express 3.0.

Для предельного снижения нагрузки на сигнальный тракт пробник-щуп подает в анализатор протокола лишь малую часть мощности исследуемого сигнала. Таким образом, основная техническая проблема реализации такого пробника заключается в том, что, в отличие от пробника-повторителя, пробник-щуп должен иметь меньший входной ток.

И не стоит также забывать, что все эти пробники — на PCI Express Gen3 и аналогичных шинах — должны поддерживать некоторый уровень программируемой коррекции в тракте пробника. В противном случае у них остается мало шансов выполнить успешный захват исследуемых битов. Таким образом, можно видеть, что любой пробник, отвечающий описанным выше требованиям, можно представить в виде идеального приемника.

Схемы коррекции

Спецификация PCI Express Gen3 определяет коррекцию двух разных типов: на стороне передатчика и на стороне приемника. На стороне передатчика передатчик тестируемой системы поддерживает программируемый уровень предскажений и отрицательных выбросов. Это реализуется с помощью установленного в передатчике фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ). В зависимости от запрограммированных в КИХ коэффициентов на выходе передат-

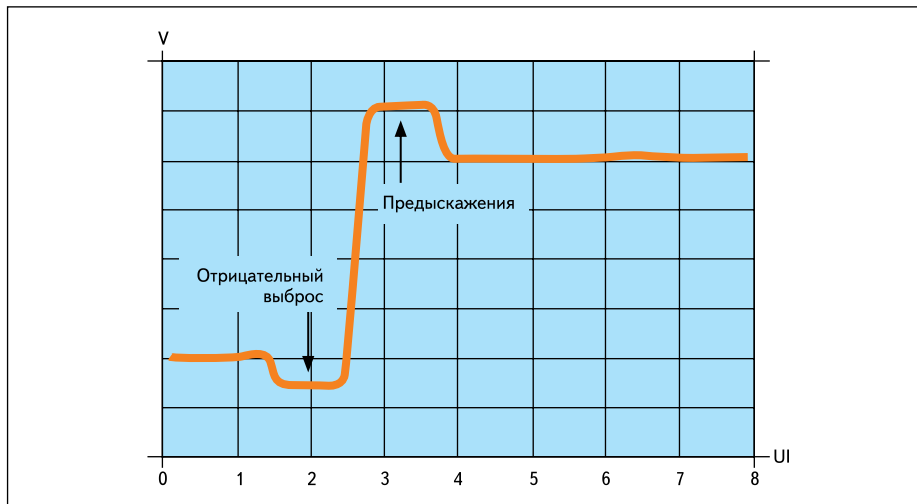


Рис. 3. Коррекция на стороне передатчика

чика создаются предскажения или отрицательные выбросы разной величины.

Предскажения использовались и в шине PCI Express Gen2. Как видно на рис. 3, предскажения заключаются в передаче первого бита последовательности с большей амплитудой, чем у остальных битов. Таким способом передатчик учитывает то, что он установлен в начале длинной линии с потерями, в которой фронты сигналов, прежде чем достигнут приемника на другом конце линии, становятся более пологими. Более длинные линии требуют больших предскажений. Величина предскажений и другой коррекции на стороне передатчика устанавливается по результатам процедуры согласования приемника и передатчика на этапе коррекции характеристики канала.

Передатчик, использующий отрицательный выброс, создает избыточный размах в битовом интервале, предшествующем изменяемому биту. Подобно предскажению, этот тип коррекции подчеркивает фронт сигнала перед его фильтрацией в канале с потерями.

В приемнике могут использоваться разные типы коррекции. Одним из таких типов является непрерывная линейная коррекция (CTLE), которая тоже описана в спецификациях PCI Express Gen3. CTLE представляет собой фильтр, усиливающий высокочастотные составляющие сигнала. Тем самым он пытается скомпенсировать спад амплитудно-частотной характеристики канала (до определенной частоты). Как чрезмерная, так и недостаточная компенсация могут создать слишком большие межсимвольные помехи. Поэтому CTLE тоже должна программироваться до соответствующей величины на этапе коррекции характеристики канала.

Другой формой коррекции на стороне приемника является коррекция дискретного времени. К корректору такого типа относится, например, корректор с решающей обратной связью (DFE). Корректоры дискретного времени обладают определенными преимуществами по сравнению с корректорами непре-

рывного времени, благодаря способности компенсировать взаимовлияние и подавлять отражения. DFE принимает решение на основе предшествующих битов для изменения интерпретации последующих битов. В частности, N-звенный DFE использует взвешенные значения предшествующих N битов для принятия решения о пороге для следующего бита. Таким образом, одним из недостатков DFE является то, что он склонен к созданию пакета ошибок при получении всего лишь одного неправильного бита. И снова, на этапе коррекции характеристики канала нужно выбрать соответствующие значения коэффициентов DFE.

Теперь пробник должен подключиться к системе и попытаться считать биты сигнала по мере появления их на входе пробника (рис. 4). Если пробник включается в тракт исследуемого сигнала возле приемника, он, скорее всего, должен поддерживать набор методов коррекции, используемых в приемнике. Другими словами, он должен поддерживать подъем высоких частот с помощью CTLE с возможным добавлением DFE для компенсации эффектов дискретного времени.

Если пробник включается в тракт исследуемого сигнала возле передатчика, то потери особой роли не играют. Скорее, он будет страдать от избыточной коррекции на стороне передатчика. И здесь, вероятнее всего, будет присутствовать неподавленный отраженный сигнал. Не забывайте, что соединение точка-точка, подобное PCI Express Gen3, обеспечивает неискаженный сигнал лишь на входе приемника. В промежуточных точках могут присутствовать некомпенсированные отражения, вызванные неоднородностями шины. Часто встречающийся эффект отражения, наблюдаемый в точках, предшествующих приемнику, вызван отражениями шины с квазидвойным терминированием. Шина PCI Express Gen3 как раз и является шиной с двойным терминированием. Тем не менее спецификации допускают разброс терминирующих нагрузок на стороне приемника и стороне передатчика.

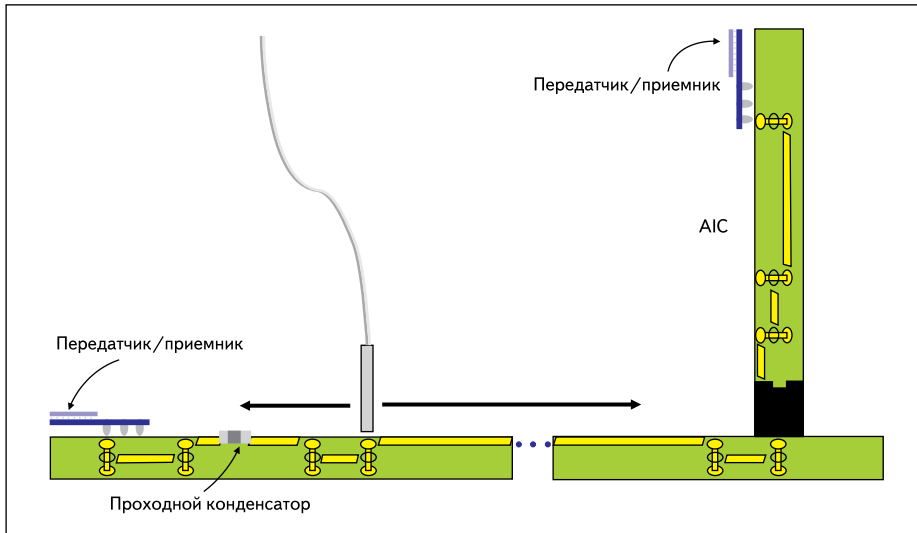


Рис. 4. Наглядная топология шины

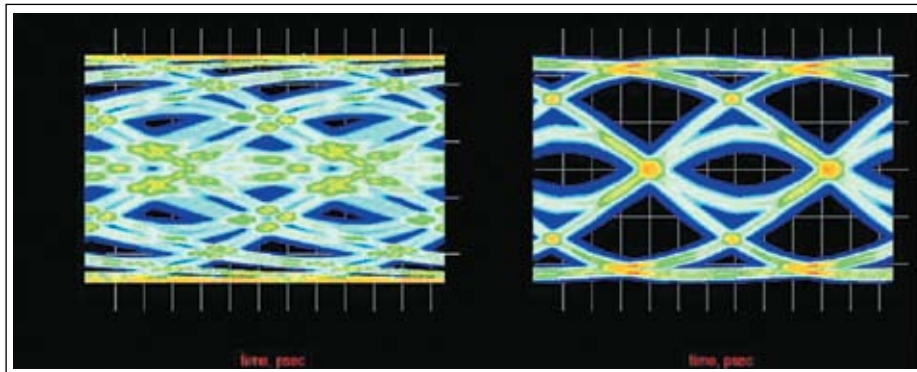


Рис. 5. Пример компенсации потерь

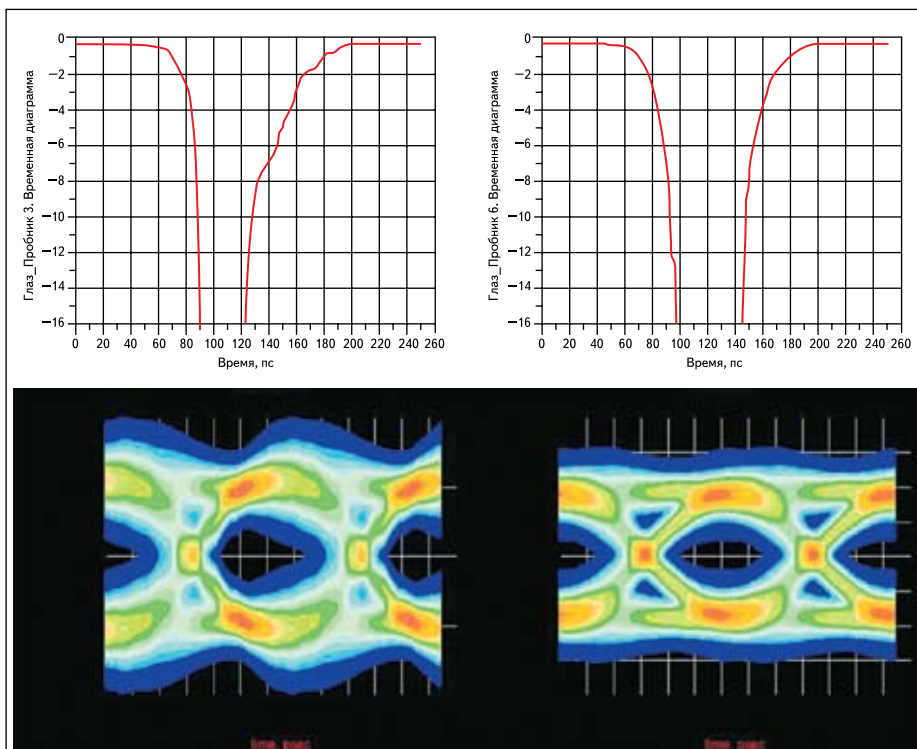


Рис. 6. Пример компенсации отражений

В зависимости от уровня их рассогласования пробник будет видеть отражения как ступень, длительность которой равна времени прохода в оба конца между точкой подключения пробника и приемником.

И наконец, еще одна проблема коррекции, которую должен решать пробник, заключается в компенсации искажений сигнала, возникающих в выходном тракте. Например, полуметровый кабель будет иметь достаточно заметные потери на скорости 8 Гбит/с. Следовательно, тракт пробника должен компенсировать этот эффект.

Примеры коррекции

На рис. 5 показан сигнал на наконечнике пробника при его подключении возле приемника. Закрытый «глаз» на левой диаграмме представляет собой наложение битовой последовательности худшего случая без коррекции. Открытый «глаз» на правой диаграмме представляет наложение битовой последовательности худшего случая в конце тракта пробника анализатора протокола после применения запрограммированной (но необязательно оптимальной) величины STLE. Обратите внимание, что этот пример включает потери в кабеле пробника.

На рис. 6 показан второй пример. В этом случае пробник установлен возле передатчика. Теперь в искажениях сигнала преобладают отражения. При установке пробника вблизи любого конца канала снимаемые сигналы, соответствующие соседнему передатчику, будут выглядеть примерно так, как в данном примере. Левый «глаз» представляет собой наилучший случай для наконечника пробника. Обратите внимание на чрезмерный подъем. Правый «глаз» — это то, что видно в тракте пробника анализатора протокола после запрограммированной STLE. Обратите внимание, что использованная в этом примере кривая STLE существенно отличается от кривой, используемой в предыдущем примере.

В этом примере отличия формы «глаз» менее заметны. «Глаз» для наконечника пробника имеет большие вариации амплитуды. Результатом являются большие межсимвольные помехи, которые лучше видны во временных диаграммах, иллюстрирующих зависимость ширины «глаза» в центре от заданной величины BER. Этот пример также учитывает потери в кабеле пробника.

Заключение

Как можно видеть, задача, решаемая пробником анализатора протокола, не так уж проста. Во-первых, нужно выполнить снятие сигнала тестируемого устройства так, чтобы свести к минимуму вносимые искажения. Во-вторых, нужно соответствующим образом обработать сигнал, чтобы скомпенсировать возможные искажения. И лишь после соответствующего решения пробником этих двух основных проблем можно предпринимать попытки анализа протокола. ■