

ПОЧЕМУ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ КАНАЛАМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ТРЕБУЮТСЯ РЕТАЙМЕРЫ?

БРАЙАН ХОЛДЕН (BRIAN HOLDEN), ПОЛ УИЛСОН (PAUL WILSON)

Цифровые ретаймеры появились в 1960-х гг. с возникновением цифровых телекоммуникационных систем связи T1 и E1. Системы того времени имели несколько речевых каналов с экранированными витыми парами и цифровые ретаймеры, установленные через каждые несколько тысяч футов. В современных высокоскоростных ретаймерах используются те же технологии поддержки сигнала, что и прежде: частотная коррекция, восстановление тактовых сигналов (CDR), линейное кодирование и кадровая синхронизация.

ВВЕДЕНИЕ

В приложениях с последовательно-параллельными преобразователями (SerDes) часто требуются дополнительные устройства для расширения возможностей системы. К ним относятся ретаймеры и редрайверы, которые обеспечивают:

- эффективное использование всего пространства большой печатной платы (ПП);
- использование дополнительных разъемов;
- поддержку дочерней платы;
- использование полки расширения;
- применение более дешевых материалов для ПП;
- поддержку большего диапазона SerDes;
- улучшение функций устройства.

СРАВНЕНИЕ РЕДРАЙВЕРОВ И РЕТАЙМЕРОВ

В типовой канал передачи данных редрайвера входит стационарный линейный корректор (CTLE), усилитель с регулируемым коэффициентом усиления (VGA) и линейный драйвер. Корректор CTLE используется для выравнивания частотно-зависимых потерь в канале, усилитель VGA – для восстановления амплитуды сигнала. Линейный драйвер осуществляет управление каналом при корректном значении импеданса.

Редрайверы часто оснащаются функциями определения порогового значения ослабления входного сигнала, обнаружения выходного ресивера (Rx) и определения порога слышимости сигнала для выявления коммуникационного сигнала в низкоскоростных каналах. На рисунке 1 показана типовая схема редрайвера.

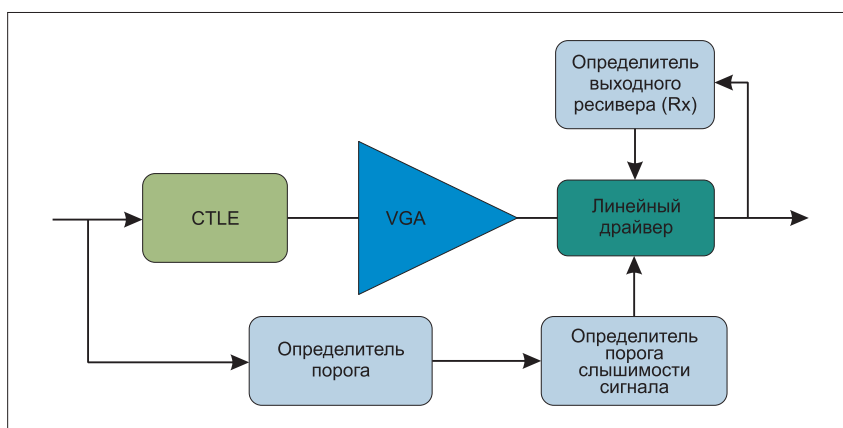


Рис. 1. Структурная схема редрайвера состоит из CTLE-корректора для выравнивания частотно-зависимых потерь в канале, усилителя VGA для восстановления амплитуды сигнала и линейного драйвера для управления каналом при корректном импедансе

ОГРАНИЧЕНИЯ У АНАЛОГОВЫХ РЕДРАЙВЕРОВ

У аналоговых редрайверов имеются три основных недостатка.

1. Редрайверы усиливают не только сигнал, но и его собственные шумы. Исходный передатчик отправляет сигнал с высоким отношением сигнал/шум (SNR) по каналу с затуханием. CTLE-корректор и усилитель в редрайвере имеют собственный уровень шума. При усилении сигнала увеличивается комбинация этих двух уровней шумов. При попытке восстановить данные конечному приемнику приходится бороться с усиленным шумом, а значит, все преимущества использования редрайвера становятся меньше.
2. Редрайверы только частично удаляют межсимвольную интерференцию (ISI). Корректор CTLE может компенсировать некоторые из этих помех, но поскольку его никогда нельзя настроить точно, чтобы скорректировать их все, из-за неравномерности

полосы пропускания остаются дополнительные ISI-помехи. Конечному приемнику их необходимо подавить.

3. Редрайверы не восстанавливают ширину глазка в диаграмме и соответствующий джиттер. Для безошибочной работы требуется достаточно хороший раскрыв глазка у приемника. На ширину глазка влияет несколько факторов, например тепловые шумы, фазовый сдвиг, аналоговые рассогласования, несоответствие времени нарастания/спада, рассогласование между входом и выходом, межсимвольные помехи и шумы от источника питания. Наличие редрайвера в еще большей мере ухудшает эти помехи, затрудняя восстановление сигнала.

Поскольку невозможно обеспечить полное восстановление, редрайвер не используется. Чтобы свести к минимуму влияние добавленного шума, остаточного межсимвольного искажения и уменьшения ширины глазка, требуется сократить длину проводящих дорожек.

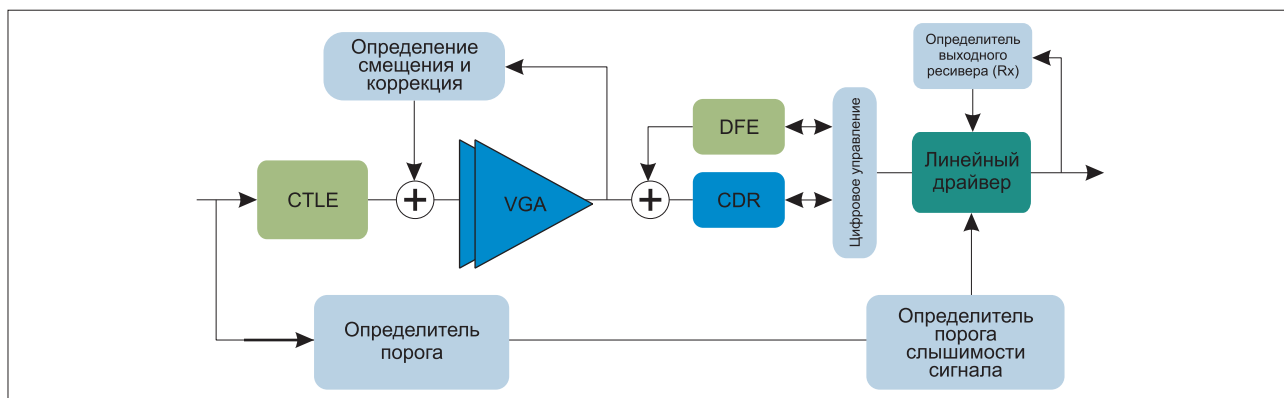


Рис. 2. Кроме CTLE, VGA и предоконечного каскада, в схеме ретаймера также имеются CDR-схема, блоки LTE и DFE

Из-за этих проблем на разработчика системы ложится значительная нагрузка – приходится учитывать суммарное воздействие редрайвера на конечную систему во всех предполагаемых сценариях использования.

ПРИНЦИП РАБОТЫ РЕТАЙМЕРА

Типовой ретаймер – это аналого-цифровое устройство со смешанными сигналами, которое принимает сигнал из входной линии, дешифрует его, преобразуя в цифровой согласно протоколу, и передает далее. При этом ретаймер может выявить встроенные тактовые сигналы, полностью восстановить данные и передать их с использованием очищенного тактового сигнала. Помимо CTLE-корректора, усилителя VGA и предоконечного каскада, которые имеются также в редрайверах, ретаймер содержит CDR-схему, выравнитель частотной характеристики (LTE) и компенсатор с решающей обратной связью (DFE).

LTE-выравнитель компенсирует длительные искажения импульсной характеристики, а DFE-компенсатор работает как нелинейный корректор, подавляя межсимвольные искажения, которые возникают из-за дефектов канала. Внутренние цифровые логические схемы, автоматы состояний или микроконтроллеры управляют автоматической настройкой блоков CTLE, VGA, LTE и DFE, а также осуществляют обучение канала по протоколу и обновление статуса. На рисунке 2 показана типовая схема ретаймера.

Попросту говоря, редрайвер только усиливает сигнал, а ретаймер полностью восстанавливает первоначальную форму сигнала и все его характеристики. На рисунке 3 схематично показана работа ретаймера и редрайвера и то, как затухающий сигнал усиливается редрайвером и полностью восстанавливается ретаймером.

Ретаймер должен восстанавливать сигнал согласно протоколу. С этой целью устройство отслеживает передачу дан-

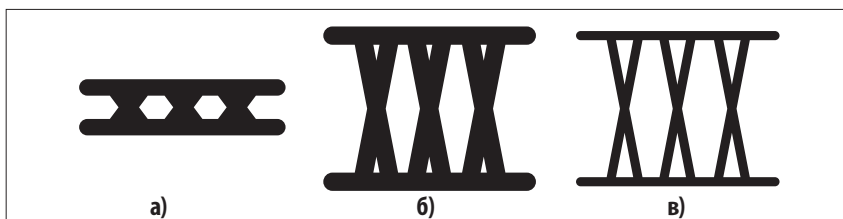


Рис. 3. Три примера: а) глазковая диаграмма затухания в канале; б) глазковая диаграмма после редрайвера; в) глазковая диаграмма после ретаймера показывают, как сигнал усиливается с помощью редрайвера и восстанавливается с помощью ретаймера

ных по каналу, которые проходят через него, и настраивается в заданный режим. В некоторых случаях ретаймеры также участвуют в операциях по настройке канала. Благодаря автоматизированным функциям ручная настройка часто не требуется, что значительно упрощает системную интеграцию при более высоких скоростях передачи данных.

РЕТАЙМЕРЫ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СИСТЕМ

Недавно на рынке появился ряд высокоскоростных и сложных в исполнении блоков SerDes, включая те, что оснащены USB4, PCIe 5.0, CEI-28G и CEI-56G. В настоящее время разрабатываются блоки с интерфейсами PCI 6.0 и CEI-112G. Эти новые стандарты направлены на удовлетворение спроса на еще более высокую пропускную способность данных.

За последние 20 лет было разработано и выпущено восемь поколений SerDes и их предшественников в результате сотрудничества консорциума OIF (Optical Networking Forum) и группы IEEE 802.3 Ethernet. С каждым новым поколением устройств разработчики стремились создать ретаймеры, не зависящие от протокола, чтобы производители систем смогли увеличить производительность оборудования.

Эти блоки SerDes и соответствующие ретаймеры широко использовались, адаптировались или значительно влияли на совершенствование телекоммуникационных систем, Ethernet, Interlaken, RapidIO и SATA-технологии, (SCSI) SAS с последовательным интер-

фейсом, волоконно-оптических каналов, высокоскоростных коммутируемых сетей InfiniBand и ряда проприетарных систем. Микросхемы редрайвера никогда не применялись в системах OIF/Ethernet из-за того, что обычно эти системы отличаются высокочлотными соединениями, на которые расходуется энергетический запас в линии связи.

Как известно, PCI express (PCIe) – стандарт высокоскоростной последовательной шины, стандартный интерфейс материнской платы для подключения графических карт ПК, жестких дисков, SSD-карт, Wi-Fi и Ethernet-профилей. Редрайверы также работали по спецификации PCIe 3.0 с линиями 8 Гбит/с. Поскольку PCIe 4.0 удвоил скорость до 16 Гбит/с на линию, редрайверам пришлось соответствовать новым требованиям, в чем они заметно не преуспели.

В мае 2019 г. организация PCI-SIG официально опубликовала стандарт PCIe 5.0, предусматривающий скорость передачи данных 32 Гбит/с. Несмотря на такое увеличение скорости и соответствующий спрос на расширение возможностей приложений, PCIe-редрайверы, похоже, останутся не у дел. По мере приближения к стандарту PCIe 6.0 уязвимость технологии модуляции PAM4 к помехам исключает использование редрайверов.

Универсальные последовательные шины (USB) – промышленный стандарт для взаимодействия между компьютерами, а также между компьютерами и периферийными устройствами. Стандарт USB 1.0 появился в 1996 г., а USB 2.0 – в 2000 г. Несмотря на то, что редрайверы не были стандартизованы

Форумом USB-IF, преимущества, которые они обеспечивали с точки зрения расширения возможностей и совместимости по напряжению, сделали их незаменимыми.

С появлением USB 3.0 в 2010 г. проблемы целостности сигнала в USB стали более явными, и на рынок вышли усовершенствованные редрайверы, расширяющие возможности 5-Гбит/с каналов Superspeed. Эта тенденция продолжилась с появлением USB 3.1 и 10-Гбит/с каналов Superspeed+. Спецификация USB 3.2 расширила однополосные режимы в USB 3.0 до двухполосных с помощью разъема USB-C и увеличила количество приложений для редрайверов.

В августе 2019 г. Форум USB-IF официально опубликовал спецификацию для USB4, которая повысила производительность каналов до 20 Гбит/с (каналы 40 Гбит/с по двумя линиям). Сигналы 20 Гбит/с в еще большей сте-

пени, чем их предшественники, уязвимы и подвержены межсимвольным помехам, неравномерностям в полосе затухания, источникам джиттера, рассогласованию между входом и выходом, асимметриям внутри пар, отражениям, тепловому шуму и шуму от источника питания. В результате, использование редрайверов для USB стало нецелесообразным.

Новые спецификации высокоскоростных межсоединений приведут к появлению решений нового поколения по преобразованию сигналов. Цифровые ретаймеры – ключевые элементы для поддержки целостности сигнала при передаче данных с высокой скоростью по нестандартным каналам. При использовании редрайверов на скоростях выше 10 Гбит/с может возникнуть множество проблем. Это основная причина, почему новые спецификации определяют использование ретаймеров.

Устройства формирования сигнала, к которым относятся редрайверы и ретаймеры, применяются во многих системных средах. Поскольку скорость передачи данных уже превысила 10 Гбит/с, необходимость в использовании редрайверов снизилась. В системах OIF/Ethernet предпочтительнее использовать ретаймеры. В экосистеме PCIe оборудование PCIe 4.0 – последнее пристанище редрайверов, а применение ретаймеров является преимущественным решением. В экосистеме USB появление стандарта USB4 стало тем переломным моментом, когда редрайверы перестали решать насущные задачи.

Ретаймеры с поддержкой протоколов обеспечивают необходимую производительность по восстановлению целостности сигнала в приложениях USB4, обеспечивают надежный беспроблемный способ разработки и экономичное системное решение для удовлетворения потребительского спроса. 