

ГИГАБИТНЫЕ ПРИЁМОПЕРЕДАТЧИКИ

Введение

Как уже обсуждалось в гл. 4, в общем случае большие массивы данных между двумя (или несколькими) устройствами в пределах одной печатной платы передаются с помощью шины, которая представляет собой набор сигналов, передающих схожие данные и выполняющий общие функции (Рис. 21.1).

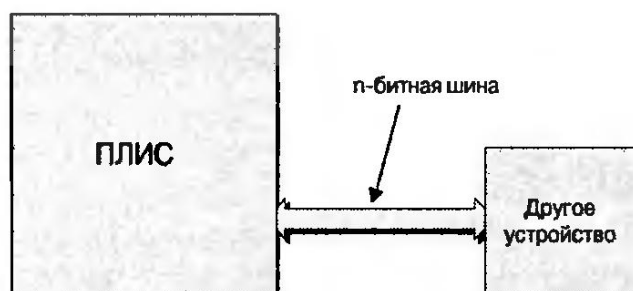


Рис. 21.1. Использование шины для связи между устройствами

Примерно с 1975 года первые микропроцессорные системы использовали для передачи данных 8-битные шины. С ростом потребности в передаче большего объема данных и увеличении скорости их передачи шины выросли сначала до 16 бит, потом до 32 бит, затем до 64 бит и т. д. Однако такой подход требует большого количества выводов в микросхеме и большого количества проводников для соединения устройств. С ростом сложности печатной платы прокладка этих проводников таким образом, чтобы они имели одинаковую длину и сопротивление, становится всё более сложной задачей. Более того, с большим количеством шинных проводников становится сложнее обеспечивать целостность сигналов из-за чувствительности к шумам и перекрёстных помех.

По этой причине современные высокотехнологичные ПЛИС снабжаются блоками гигабитных приёмопередатчиков. Эти высокоскоростные последовательные интерфейсы используют одну пару дифференциальных сигналов для *передачи* (TX), и одну пару для *приема* (RX) данных (Рис. 21.2).

Следует заметить, что в отличие от традиционных шин данных, к которым можно подключать большое количество устройств, эти высокоскоростные последовательные интерфейсы поддерживают соединения типа *точка-точка*, другими словами каждый передающий блок может общаться только с одним таким же блоком, установленным на другом устройстве.

Во время написания этой книги эти высокоскоростные последовательные интерфейсы использовались сравнительно небольшим количеством моделей. Однако будем полагать, что их число заметно увеличится в ближайшие несколько лет. Использование гигабитных приёмопередатчиков сродни искусству, но каждый поставщик ПЛИС

В 1948 году в США с помощью самолёта была осуществлена ретрансляция телевизионного сигнала на девять штатов.

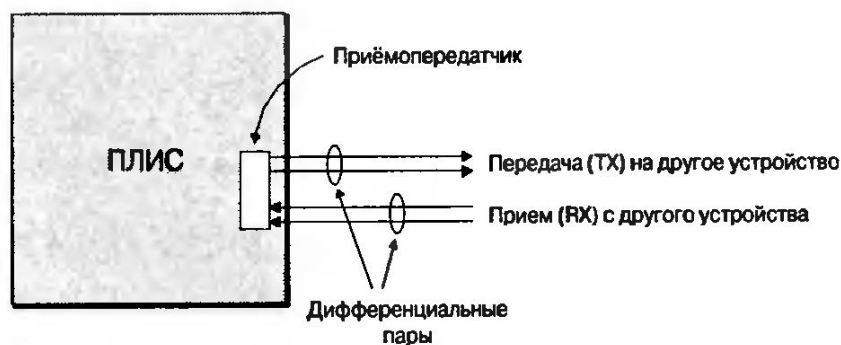


Рис. 21.2. Использование высокоскоростных приёмопередатчиков для связи между устройствами

снабжает свои продукты подробными руководствами пользователя и особенностями применения устройств в конкретных условиях.

Трудность работы с этими интерфейсами заключается в существовании такого большого количества обычных, но практически важных деталей, что можно совершенно запутаться. В этой книге представлены лишь основные концепции гигабитных интерфейсов, так как неосторожное предоставление более полной информации может оказаться опасным!

Дифференциальные пары

Причина использования дифференциальных пар, т. е. пары дорожек на печатной плате, всегда передающих комплементарные логические уровни, состоит в том, что эти проводники менее чувствительны к помехам от внешних источников. Помехи могут быть вызваны интерференцией радиосигналов или другими, переключающимися с одного логического уровня на другой, сигналами, проводники которых находятся в непосредственной близости от этих дорожек. Чтобы продемонстрировать описанный процесс, создадим одинаковые помехи для одиночного провода и для дифференциальной пары (Рис. 21.3).

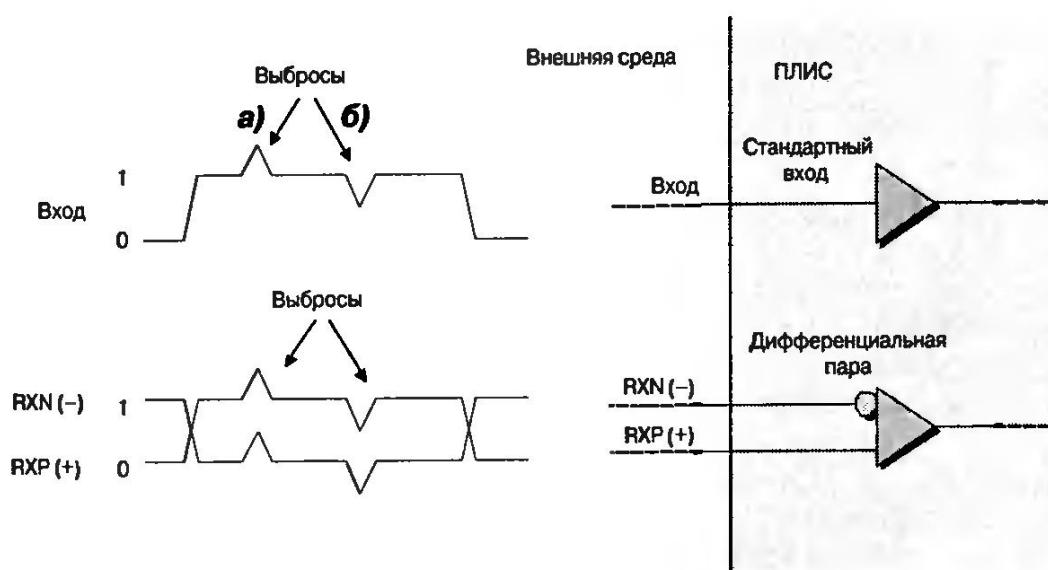


Рис. 21.3. Использование высокоскоростных приёмопередатчиков для связи между устройствами

При стандартном подходе у микросхемы имеется вывод «Вход», который подключен к входу буферного логического элемента. В этом примере первый выброс (а) не представляет для нас какого-либо интереса, а вот второй (б) может стать причиной определённых проблем.

Если этот выброс перешагнёт через входное пороговое значение переключения буферного вентиля, то это приведёт к появлению всплеска (импульса) на выходе вентиля. В свою очередь, этот всплеск может вызвать внутри ПЛИС нежелательные процессы (например, спровоцирует загрузку неверных данных в регистры).

Совсем еще недавно эти проблемы были не столь актуальны, поскольку разница напряжений между логическим 0 и логической 1 составляла 5 В, и в этом случае выброс, скажем амплитудой 1 В, не породил бы каких-либо проблем. Но прошло время, и в зависимости от стандарта ввода/вывода разница между логическим нулем и логической единицей теперь составляет величину всего 1.8 В, 1.5 В или даже меньше. В этом случае выброс даже гораздо меньший чем 1 В может нарушить работу устройства¹⁾.

Теперь рассмотрим дифференциальную пару, сигналы в которой генерируются специальным формирующим вентилям в передающем устройстве (Рис. 21.4). Специально для пуристов²⁾, если среди читателей таковые имеются, заметим, что положительные проводники дифференциальных пар (RXP и TXP на Рис. 21.3 и 21.4 соответственно) обычно изображаются сверху, а отрицательные (инверсные или комплементарные) с кружочками на обозначениях обычно изображаются внизу. Причина, по которой мы нарисовали их наоборот, состоит в том, чтобы сделать сигнал RXP аналогичным сигналу «Вход» на Рис. 21.3, тем самым, сделав материал более доступным для понимания.

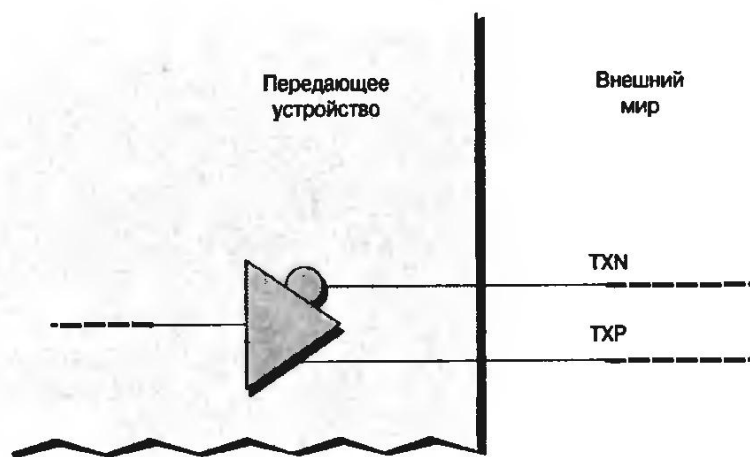


Рис. 21.4. Формирование дифференциальных пар

Напомню, что два сигнала в дифференциальной паре всегда несут комплементарные логические значения. Так, если сигнал RXP (Рис. 21.3) находится в состоянии логического нуля, то на RXN будет логическая единица, и наоборот. Как следует из Рис. 21.3, две дорожки, формирующие дифференциальную пару, разведены очень близко друг с другом. Это означает, что любые всплески помех одинаково повлияют на сигналы обеих дорожек. Входной буферный вентиль на самом деле рассматривает лишь разницу напряжений между двумя входными сигналами, а это значит, что дифференциальные пары гораздо менее восприимчивы к влиянию помех, чем соединения, сформированные из отдельных проводников.

¹⁾ У одного стандарта, использующего дифференциальные пары, разница между напряжением 0 и 1 составляет всего 0.175 В (175 мВ)!

²⁾ Пуристами называют консервативных приверженцев чрезмерной строгости в соблюдении всех правил. — Прим. ред.

1948 г. в Америке начались разработки первого коммерческого компьютера UNIVAC-1.

1948 г. Разработаны первые атомные часы.

1949 г. Америка. Массачусетский технологический институт запустил первый компьютер реального времени под названием *Whirlwind*.

И в завершении, допустим, что печатная плата разработана надлежащим образом, тогда эти приёмопередатчики могут работать с невероятными большими скоростями. Кроме того, каждая микросхема (ПЛИС) может содержать несколько таких блоков и, как мы еще убедимся, несколько блоков могут быть соединены вместе для достижения более высоких скоростей передачи данных.

Многообразие стандартов

Конечно, электроника не была бы электроникой, если бы не существовало большого разнообразия стандартов гигабитной передачи данных. Каждый стандарт определяет параметры протоколов от высшего до физического уровня. В число самых распространенных стандартов входят:

- Fibre Channel (оптоволоконная архитектура);
- InfiniBand®;
- PCI Express (разработанный компанией Intel Corporation);
- RapidIO™;
- SkyRail™ (от Mindspeed Technologies™);
- 10-гигабитный Ethernet.

Ситуация осложняется тем, что при использовании некоторых из этих стандартов, например PCI Express или SkyRail, производители могут использовать одинаковые базовые концепции, но выпускать их под собственными названиями и использовать свою терминологию. Кроме того, реализация некоторых стандартов требует использования нескольких передающих блоков.

Предположим, что речь идет о разработке печатной платы с использованием высокоскоростного последовательного интерфейса. В этом случае разработчики системы определяют, какой стандарт должен использоваться. Каждый из гигабитных передающих блоков внутри ПЛИС может быть сконфигурирован для поддержки нескольких различных стандартов, но, как правило, не всех. Это значит, что системные инженеры отдадут предпочтение стандарту, который поддерживается используемой ими ПЛИС, или им придется выбрать ПЛИС другого типа, поддерживающую выбранный интерфейс.

Если рассматриваемая система подразумевает разработку одной или нескольких заказных микросхем, ASIC, предпочтительнее, конечно же, использовать стандартный компонент по собственному выбору или приобрести подходящий блок IP у стороннего производителя. Однако имеющиеся в наличии микросхемы (заказные микросхемы ASSP) обычно поддерживают лишь один или несколько из вышеперечисленных стандартов. В этом случае ПЛИС может быть использована как интерфейс между двумя (или несколькими) стандартами (Рис. 21.5).

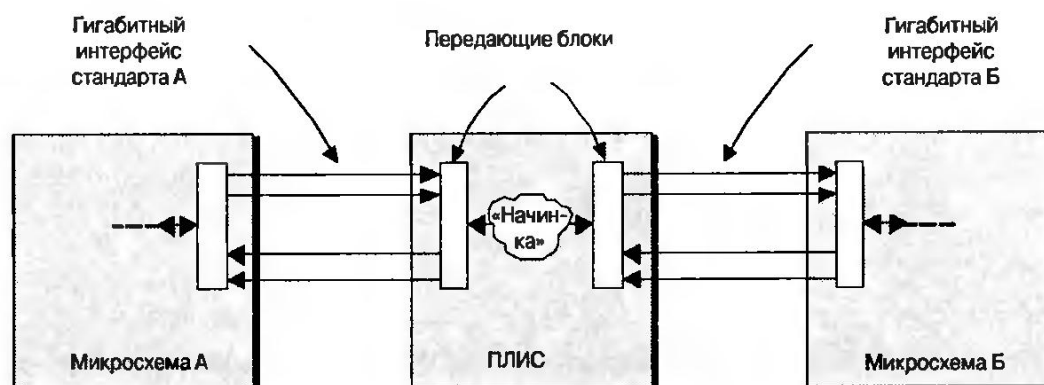


Рис. 21.5. Использование ПЛИС в качестве интерфейса между различными стандартами

8- и 10-битное кодирование

Одна из проблем передачи данных со скоростями несколько гигабит в секунду заключается в том, что печатная плата и ее дорожки поглощают существенную часть высокочастотного сигнала, вследствие чего приемник получает лишь его ослабленную версию.

К сожалению, это явление трудно объяснить словами, поэтому рассмотрим несколько наглядных (визуальных) примеров. Сначала предположим, что идеальный сигнал меняет своё состояние между уровнями логического 0 и логической 1 (Рис. 21.6).

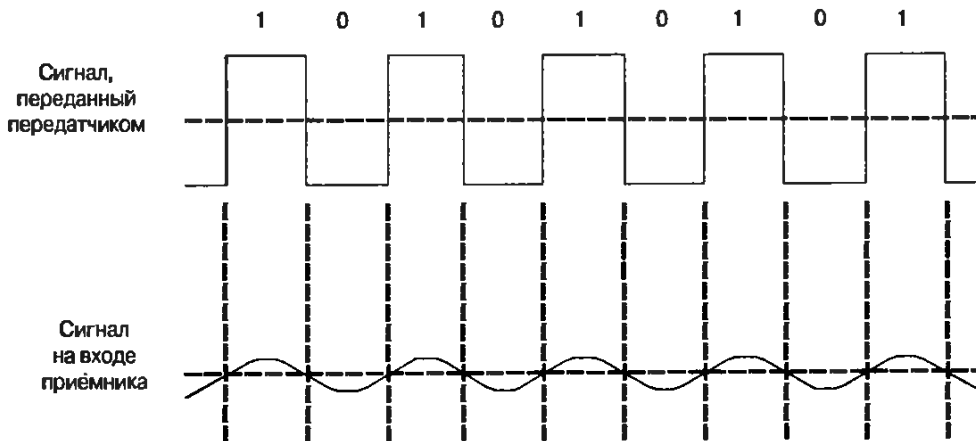


Рис. 21.6. Идеальный сигнал

Опытные инженеры непременно найдут несколько неточностей в этом рисунке. Например, сигнал, образованный передатчиком, показан в виде чистых цифровых прямоугольных импульсов: на самом деле такой сигнал имел бы ярко выраженные аналоговые черты. На практике лучшее, что можно было бы сказать при работе на этих частотах, так это то, что сигнал устрашающей формы выходит с передающего устройства и в ещё худшем виде поступает на приёмное устройство. Кроме того, сигнал, полученный приемником, будет сдвинут по фазе относительно сигнала, показанного на Рис. 21.6. Но мы синхронизировали оба сигнала и, следовательно, можем видеть, как биты на передающей и приемной сторонах дорожки взаимосвязаны друг с другом.

Как следует из рисунка, сигнал на приемной стороне сильно ослаблен, но все еще колеблется около некоторого среднего уровня. Это позволит приёмнику детектировать его, и извлечь из него полезную информацию. Теперь рассмотрим, что произошло бы, если мы модифицировали бы предыдущую последовательность таким образом, чтобы она начиналась с передачи трех последовательных логических единиц (Рис. 21.7).

В этом случае сигнал, полученный приемником, нарастает в течение времени, длительность которого соответствует первым трём битам. (Не будем забывать, что этот пессимистический сценарий рассматривается лишь в качестве примера!) Это обстоятельство увеличивает величину сигнала по сравнению со средним значением, вследствие чего, когда сигнал на входе опять возвращается к первоначальному виду 010101..., приемник будет продолжать принимать его как последовательность логических 1.

В контексте передачи данных отдельные двоичные цифры (или иногда слова, сформированные из нескольких цифр) называются *символами*. Рассеивание, или *размазывание*, символов, когда энергия одного символа воздействует на другой, может привести к неправильной

1949 г. Америка.
Начало работы се-
тевого телевиде-
ния.

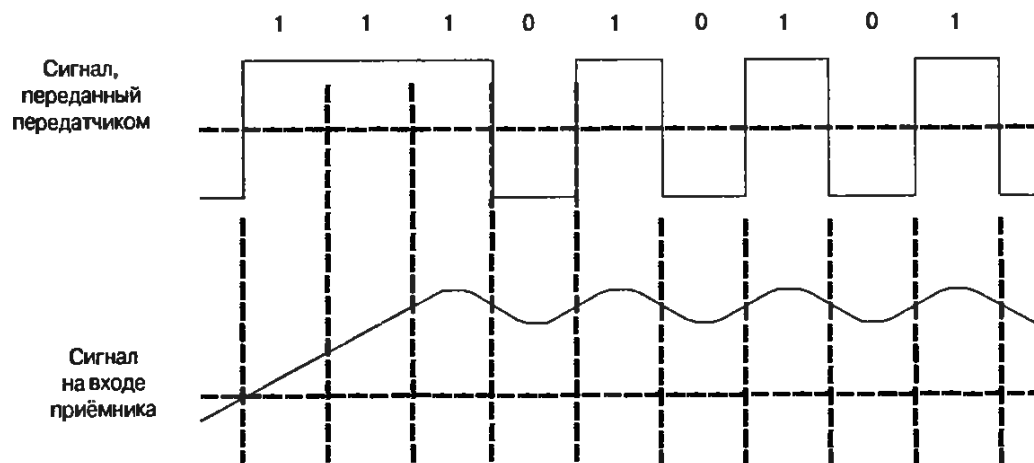


Рис. 21.7. Эффект при передаче последовательности идентичных битовых значений

интерпретации принятого сигнала. Такое явление называется *межсимвольной интерференцией (ISI — intersymbol interference)*.

Другой термин, который часто звучит в разговорах на эту тему, называется *последовательными идентичными цифрами (CID — consecutive identical digits)* и относится к ситуациям, похожим на рассмотренный случай с тремя логическими единицами (Рис. 21.7). Как уже было сказано, пример, изображенный на Рис. 21.7, чрезмерно пессимистичный. Чтобы избежать сбойной ситуации, достаточно убедиться, что мы не отправляем больше пяти идентичных битов подряд. Следовательно, блоки высокоскоростных передатчиков должны включать некоторые формы кодирования, например стандарт 8 бит/10 бит (обозначается аббревиатурой 8b/10b или 8B/10B), когда каждая 8-битная порция данных содержит два дополнительных бита, чтобы нельзя было отправить больше пяти 0 или пяти 1 подряд. Кроме того, этот стандарт гарантирует, что передаваемый сигнал будет всегда сбалансирован по постоянному току, т. е. будет иметь одинаковое значение энергии импульсов выше и ниже среднего значения в течение последовательности из 20 бит (два слова).

Существуют также альтернативные кодирующие схемы, в том числе 64b/66b или SONET Scrambling (шифрование синхронной сети оптической связи). Слово «Scrambling» (шифрование) в названии используется для отображения того факта, что этот стандарт перемешивает (шифрует) 0 и 1 в передаваемом сигнале, чтобы не допустить длинных цепочек, состоящих из одних 0 или 1.

И напоследок, я скажу, что одна из основных причин использования этих кодирующих схем обусловлена стремлением упростить задачу восстановления тактовых синхроимпульсов из потока данных.

Погружение в приёмопередатчики

Теперь, после знакомства с концепцией кодирования 8b/10b, можно вплотную приступить к рассмотрению основных элементов блока приёмопередатчика (Рис. 21.8).

Как обычно, эта схема представляет собой очень упрощенное представление, на котором опущено много функциональных частей, но, тем не менее, она подходит для рассмотрения материала этого раздела. Что касается «предыскажений» и «коррекции», более подробно эти процессы будут обсуждаться несколько позднее.

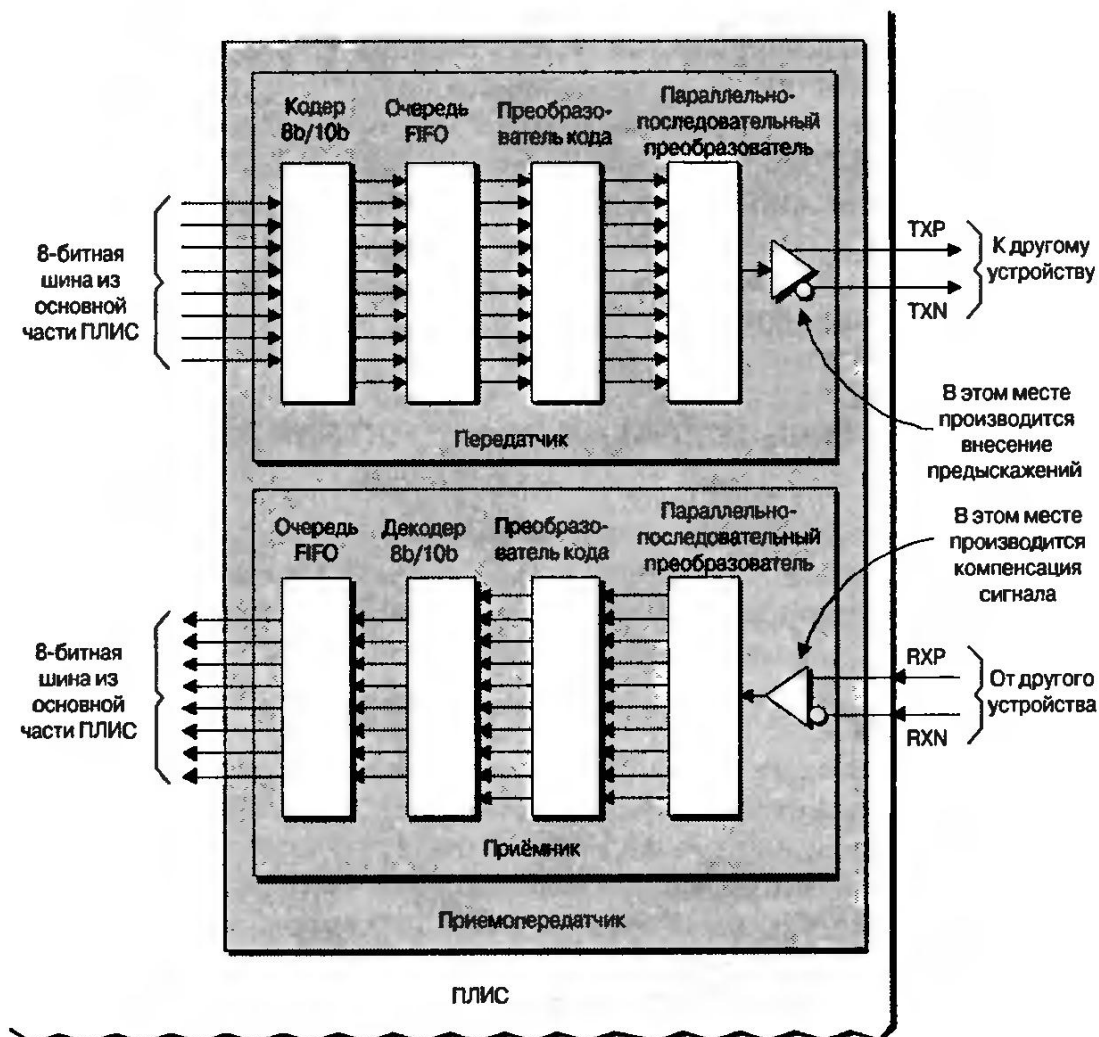


Рис. 21.8. Структурная схема приёмопередатчика

На передающей стороне байты данных поступают на передатчик от пользовательской логики основной части ПЛИС через 8-битную шину. После этого данные проходят через кодер 8b/10b и передаются в буфер FIFO (очередь данных, работающая по принципу «первый пришёл — первый вышел»), который используется для временного хранения информации при большой загрузке шины. Выходной сигнал из очереди FIFO поступает на преобразователь кода, который может использоваться для передачи немодифицированных данных, либо может перебрасывать каждый бит из 0 в 1 и наоборот (преобразование данных возможно только в том случае, если приёмное устройство готово получать их в преобразованном виде). В свою очередь, выходной сигнал с преобразователя кода подается на параллельно-последовательный преобразователь, который преобразует параллельные входные данные в последовательный поток битов. Этот последовательный поток передается на специальный выходной буфер, который и генерирует дифференциальную сигнальную пару.

Соответственно, на приёмной стороне последовательный поток данных представлен в виде пары дифференциальных сигналов, поступающей через специальный входной буфер в последовательно-параллельный преобразователь, который преобразует последовательные данные в 10-битные слова. Эти слова передаются в преобразователь кода, который может использоваться для передачи немодифицированных данных или преобразовывать каждый бит из 0 в 1 и наоборот (преобразование кода потребуется лишь только в том случае, когда устройство, с которого мы получаем данные, отправляет их в преобразованном виде). Выходной сигнал с преобразователя кода передается в

1949 г. Англия.
Компьютер EDSAC
использует первый
язык ассемблера
под названием
Initial Orders.

1950 г. Америка.
Джей Форрестер
 изобрёл магнитное
 запоминающее
 устройство.

декодер 8b/10b, который декодирует поступающие данные. В результате 8-битные слова передаются через очередь FIFO в основную часть ПЛИС, где они могут быть обработаны логическими устройствами.

Следует отметить, что в зависимости от технологии используемой для создания ПЛИС, некоторые блоки приёмопередатчиков могут поддерживать различные стандарты кодирования, такие как 8b/10b, 64b/66b, SONET Scrambling и так далее. Другие устройства могут поддерживать только отдельные стандарты, например 8b/10b, но в этом случае можно отключить эти блоки и при необходимости реализовать собственный алгоритм кодирования в основной части ПЛИС.

Соединение нескольких приёмопередающих блоков

Термин *скорость передачи по последовательному каналу (baud rate)* показывает, сколько раз сигнал в канале связи меняется (или может поменяться) за одну секунду времени. В зависимости от используемых методов техники кодирования с каждым тактом канал связи может передать один бит данных либо больше, либо меньше, либо это значение может меняться.

Во время написания этой книги все каналы приёмопередатчиков могли принимать и передавать закодированные алгоритмом 8b/10b данные со скоростью передачи 3.125 гигабит в секунду (Гбит/с)¹⁾. На самом деле, если отбросить дополнительные биты, добавленные при кодировании 8b/10b, то скорость передачи необработанных данных составит величину 2.5 Гбит/с (реальная скорость 2.5 Гбит/с образуется путём деления 3.125 Гбит/с на 10 бит и умножения на 8 бит).

Проблема заключается в том, что, по определению, некоторые стандарты, например 10-гигабитный Ethernet, передают данные со скоростью 10 Гбит/с. В связи с этим на практике используются дополнительные стандарты, например *10-гигабитный интерфейс соединённых устройств (10-gigabit attachment unit interface — XAUI)*, который позволяет достичь скорости передачи данных 10 Гбит/с с помощью четырёх дифференциальных пар в каждом направлении (Рис. 21.9).

В этом случае четыре блока приёмопередатчиков соединены между собой с помощью специального канала связи управляющих сигналов, причём соединение установлено таким образом, что каждый блок знает, что и когда надо делать.

В будущем, под воздействием высокоскоростных последовательных интерфейсов для обмена данными на уровне печатной платы весьма вероятно, что некоторые функции, которые в настоящее время реализуются во внешних интерфейсных микросхемах, будут встроены внутрь ПЛИС. Это позволит непосредственно передавать и получать оптические сигналы (см. гл. 26).

Конфигурируемые параметры

Блоки, встраиваемые в ПЛИС гигабитных приёмопередатчиков, обычно имеют ряд конфигурируемых (программируемых) параметров. Разные производители и разные семейства этих устройств могут поддерживать различные наборы этих параметров. Здесь мы рассмотрим только основные конфигурируемые параметры.

¹⁾ После превышения скорости 3.175 Гбит/с сильно увеличиваются затраты на кодирование информации по схеме 8b/10b, вследствие чего приходится применять другие алгоритмы, например 64b/66b.

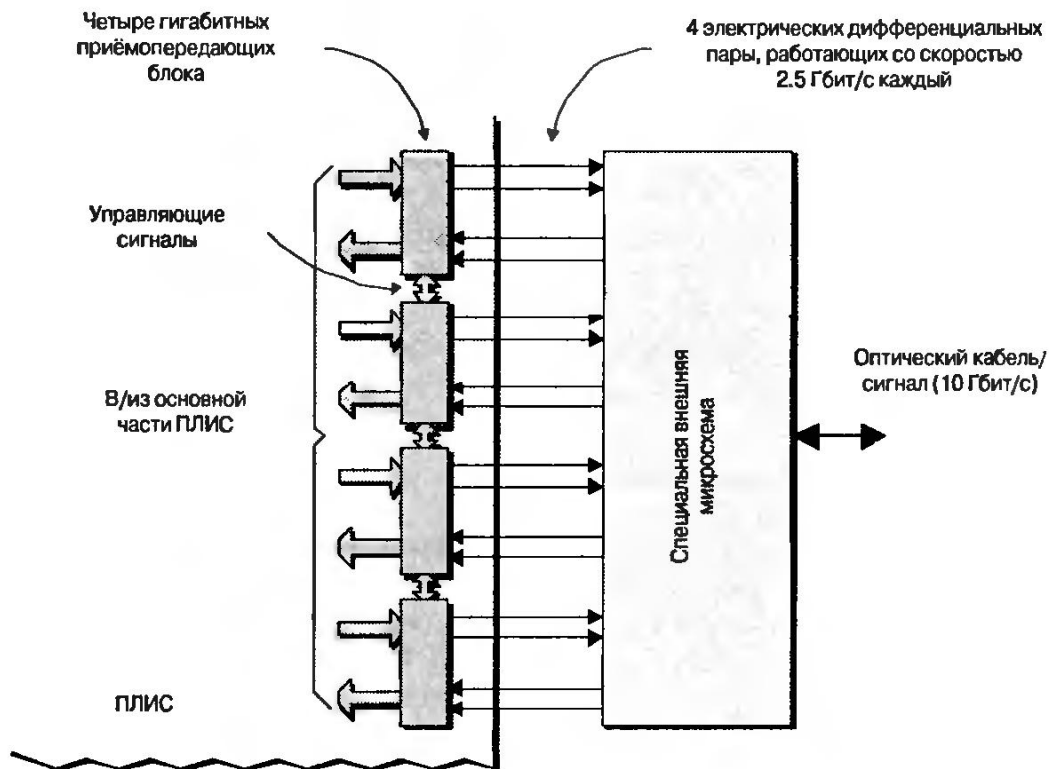


Рис. 21.9. Соединение нескольких приёмопередатчиков

Определение разделителей

Схемы кодирования, работающие по принципу 8b/10b (и другие алгоритмы) используют специальные *символы-разделители* (*comma characters*). Такие символы-разделители представляют собой нулевые символы, которые могут передаваться для поддержки линии в активном состоянии или могут инициировать передачу данных с помощью передачи сообщения приемнику, что процесс в состоянии готовности и необходимо пробудиться и подготовиться к приему.

Вместе с тем, высокоскоростные последовательные интерфейсы по своей природе являются асинхронными, т.е. синхроимпульсы встраиваются в сигнал данных. Следовательно, когда передатчик будет готов инициировать передачу данных, то он отправит серию символьных разделителей (несколько сотен бит), для того чтобы приемник на другом конце линии смог засинхронизироваться. Как уже упоминалось в предыдущем разделе, символы-разделители также используются при синхронизации нескольких двоичных потоков.

Некоторые блоки приёмопередатчиков позволяют конфигурировать вид отправляемых и принимаемых ими символов-разделителей, которые теперь могут представлять собой любое 10-битное значение, тем самым, позволяя приёмопередатчику поддерживать разные коммуникационные протоколы.

Амплитуда выходного сигнала

Разные стандарты передачи данных поддерживают различные перепады напряжений выходных дифференциальных сигналов, которые определяются разницей между амплитудами значений логического 0 и логической 1. Поэтому блоки приёмопередатчиков, как правило, позволяют производить конфигурацию амплитуд выходного сигнала в пределах рабочего диапазона с тем, чтобы поддерживать совместимость с разными уровнями напряжения систем последовательной передачи данных.

1950 г. Америка.
Физик Уильям Шокли (William Shockley) изобрёл первый биполярный плоскостной преобразователь.

В 1950 году Морис Карно (Maurice Karnaugh) разработал карту Карно, которая чрезвычайно быстро стала главным инструментом инженера-проектировщика.

Внутрикристалльные согласующие резисторы

Скорость передачи данных, поддерживаемая высокоскоростными последовательными интерфейсами, подразумевает, что использование внешних согласующих резисторов (терминаторов) может привести к неоднородности сигналов, поэтому обычно рекомендуется использовать внутрикристалльные согласующие резисторы, предустановленные в ПЛИС. Значения этих внутрикристалльных согласующих резисторов, как правило, могут конфигурироваться (и обычно может составлять 50 или 75 Ом) для поддержки разных интерфейсов и компонентов печатной платы.

Внесение предискажений

Как уже отмечалось во время обсуждения Рис. 21.6, сигналы, проходящие через высокоскоростной последовательный интерфейс к приёмному устройству, сильно искажаются, так как печатная плата и её проводники поглощают большую часть высокочастотной составляющей сигнала, оставляя в основном только его низкочастотные (медленно меняющиеся) составляющие.

Для решения этой проблемы можно использовать метод *внесения предискажений*, который заключается в том, что первому 0 из последовательности логических 0 и первой 1 из последовательности логических 1 придаётся небольшое добавочное напряжение. (В этом контексте термин «последовательность» мы будем использовать применительно к одному или нескольким битам.) В этом случае можно представить, что мы прикладываем собственные искажения сигнала, действия которых направлены в обратную сторону от искажений печатной платы (Рис. 21.10).

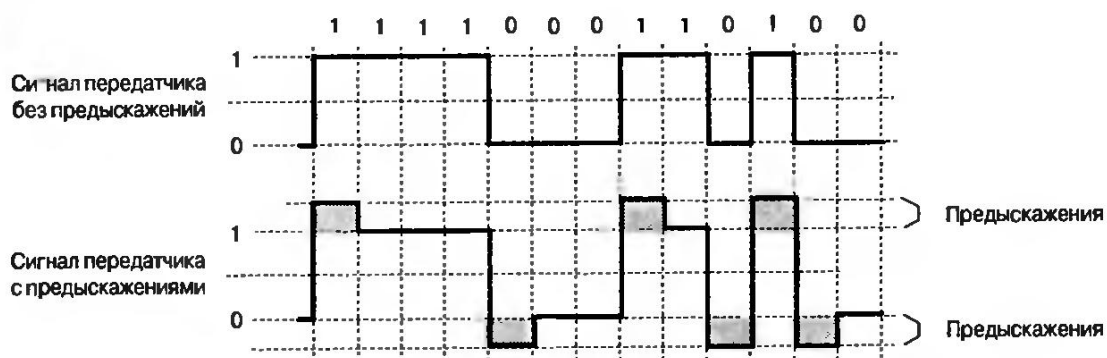


Рис. 21.10. Внесение предискажений

Ещё раз повторяю, что на этом рисунке показан идеальный передающий сигнал (с крутыми фронтами и спадами), но в реальности такой сигнал имел бы ярко выраженные аналоговые черты.

Амплитуда применяемых предискажений обычно реконфигурируется, чтобы интерфейс можно было построить под разные устройства на печатной плате. Кроме того, амплитуда предискажений для конкретного высокоскоростного соединения является функцией положения микросхемы от положения других компонентов (т. е. зависит от длины дорожек), различных характеристик печатной платы и типа применяемого стандарта передачи. Амплитуда предискажений может быть определена с помощью системы моделирования или с помощью эмпирических правил.

Компенсация

Компенсация применяется в тех же случаях, что и внесение предискажений, но при этом производится на приёмной стороне высокоскоростного интерфейса связи (Рис. 21.11).

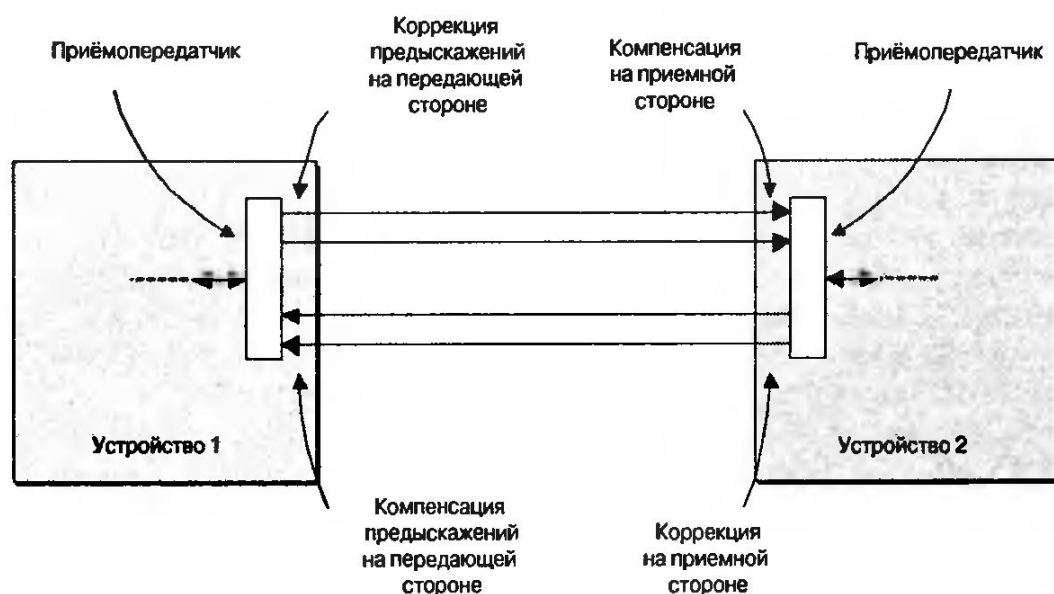


Рис. 21.11. Применение компенсации

Компенсация относится к специальному этапу усиления сигнала, при котором высокие частоты усиливаются сильнее, чем низкие. Как и в случае предискажений можно представить, что мы применяем свои собственные искажения сигнала, действия которых направлены в обратную сторону от искажений печатной платы.

Величина применяемой компенсации обычно реконфигурируется, чтобы интерфейс можно было подстроить под разные устройства на печатной плате. В каждом конкретном случае можно использовать либо предискажения, либо компенсацию, либо одновременно и то и другое.

Если дорожки высокоскоростного интерфейса действительно длинные (скажем, около 1 метра и более), возможно, лучше отказаться от внутренней компенсации и использовать внешнее компенсационное устройство, так как качество компенсации в специальных аналоговых устройствах обычно лучше, чем в микросхемах (ПЛИС). В отношении компенсации искажений сигнала ПЛИС постоянно совершенствуются, и разные поставщики постоянно обгоняют друг друга по различным показателям. Следовательно, на выбор устройства для схемы может оказать влияние и такой фактор, как качество внутрикристалльной компенсации.

Восстановление синхронизации, флуктуация и глазковые диаграммы

Восстановление синхронизации

Высокоскоростные последовательные интерфейсы по своей природе являются асинхронными, другими словами, в процессе их работы синхронизация встраивается в сигнал данных. Следовательно, приёмная часть приёмопередатчика (трансивера) должна включать в себя

В 1950 году разработанный Конрадом Зюсом (Konrad Zuse) компьютер Z4 начал свою «карьеру» в коммерческом банке в Цюрихе (Швейцария), таким образом, став первым коммерчески используемым компьютером.

1951 г. Америка. Продан первый компьютер серии UNIVAC 1.

1952 г. Америка.
Джон Моучли
(John Mauchly) и
Перспер Эккерт
(Persper Eckert) с
командой разра-
ботчиков закончи-
ли построение
электронного ком-
пьютера общего
назначения под на-
званием EDVAC.

1952 г. Англия.
Первые публичные
обсуждения кон-
цепции интеграль-
ных микросхем, ко-
торую выдвинул
британский экс-
перт в области ра-
даров Дж. Даммер
(G. W. A. Dummer).

схему восстановления и синхронизации данных (CDR — clock and data recovery), которая игнорирует перепады уровня сигнала, соответствующие собственно передаче данных и автоматически выделяет сигналы синхронизации. Очевидно, не надо было бы прилагать больших усилий, если бы входной сигнал представлял собой последовательность чередующихся значений логического 0 и логической 1, причем в этом случае синхронизация и данные были бы действительно идентичны (Рис. 21.12, а).

На самом деле ситуация меняется с ростом сложности сигнала (Рис. 21.12, б). Например, если входной сигнал начинается с трех 1, за которыми следуют три 0, можно было бы предположить, что частота синхронизации, выделяемая схемой восстановления, составляет лишь 1/3 своего истинного значения. С ростом количества поступающих данных схема восстановления синхронизации автоматически скорректирует свои показания для достижения правильного значения частоты.

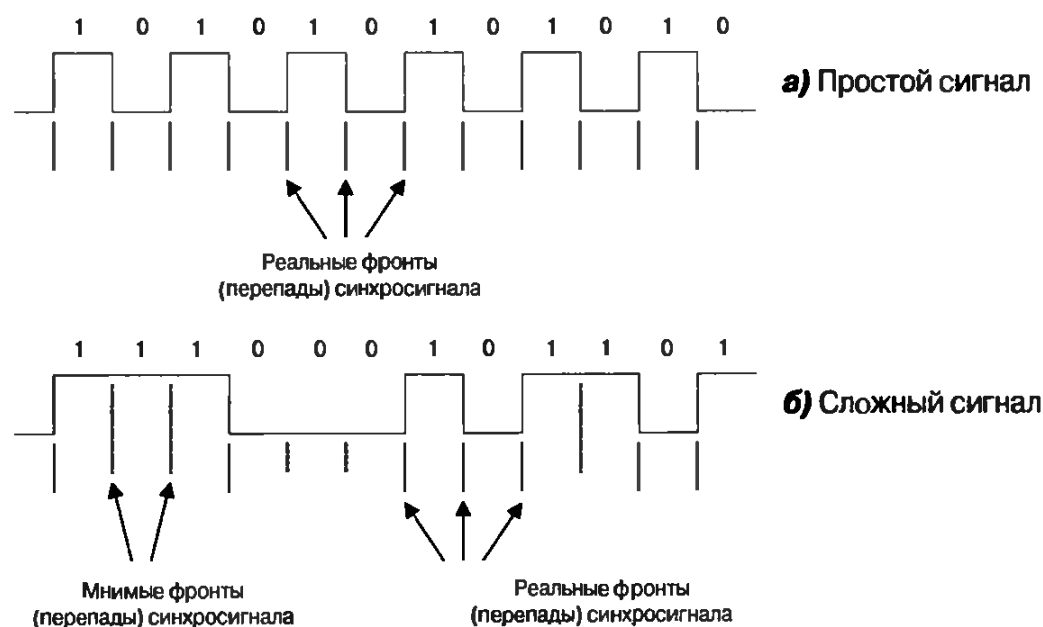


Рис. 21.12. Восстановление синхросигнала

После захвата сигнала приемник производит выборку каждого бита в центральной точке из входного потока данных, чтобы определить является ли этот бит логическим 0 или логической 1 (Рис. 21.13).

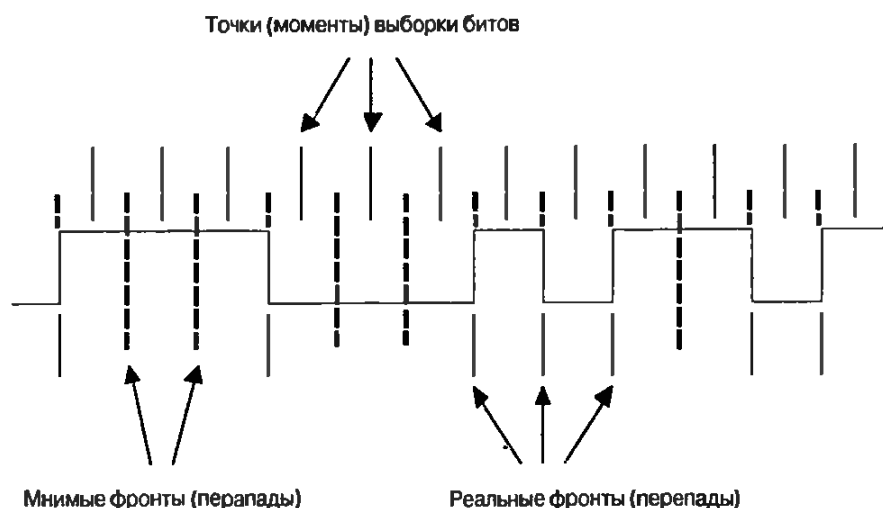


Рис. 21.13. Оценивание входящего сигнала

Необходимость этой операции обусловлена тем, что как уже упоминалось, передача данных будет начата с нескольких сотен символов-разделителей, чтобы позволить приемнику захватить синхросигнал и подготовиться к приему данных.

Схема восстановления синхронизации будет продолжать отслеживать перепады (фронты) поступающих импульсов и постоянно подстраивать синхронизацию для корректировки незначительных отклонений, вызванных некоторыми внешними факторами, например изменением температуры и напряжения питания.

Флуктуация и глазковые диаграммы

Термин *флуктуация* означает кратковременный сдвиг сигнала от его идеального положения во времени. Например, если взять входной сигнал, который представляет собой последовательность чередующихся логических 0 и 1 (Рис. 21.14, а, б), и наложить на него данные, связанные с каждым тактом в предыдущих циклах, наблюдалась бы некоторая размытость фронтов и спадов импульсов (Рис. 21.14, в-е).

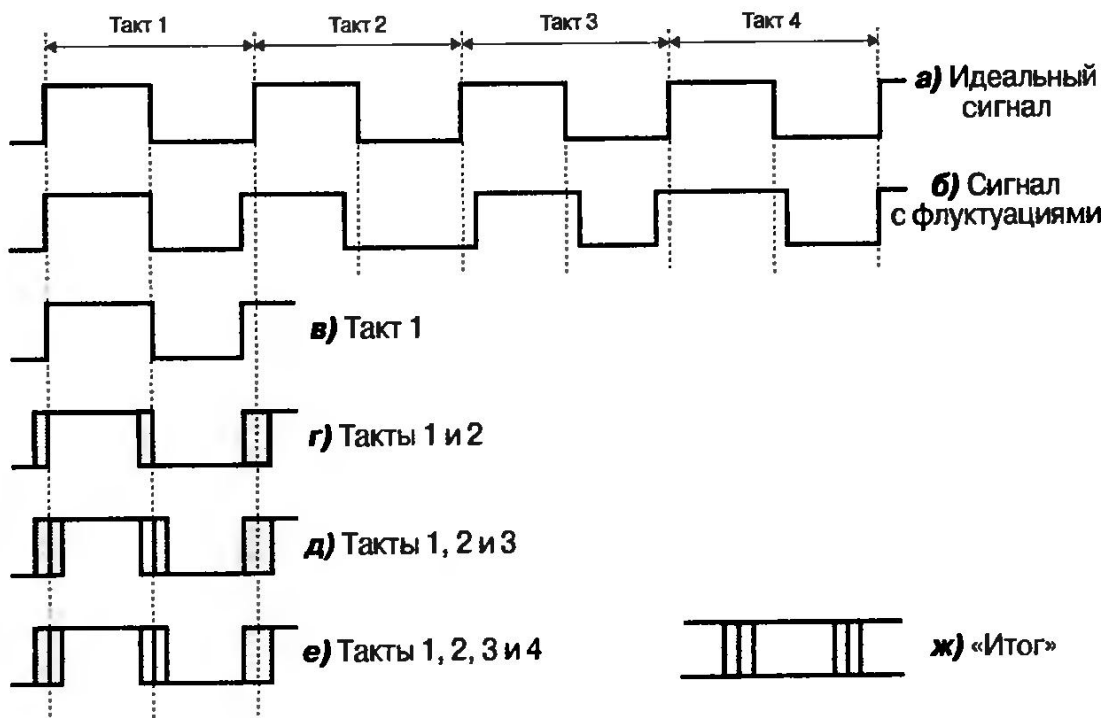


Рис. 21.14. Флуктуация

Можно пойти дальше, и мысленно разделить каждый такт пополам, наложив положительные импульсы вида 0-1-0 первой половины с отрицательными импульсами 1-0-1 второй половины (Рис. 21.14, ж).

Напомню еще раз, что форма сигналов, показанных на Рис. 21.14, идеализирована, так как изображенные сигналы имеют правильную прямоугольную форму. Реальный же сигнал будет иметь четко выраженные аналоговые черты, и если можно было бы увидеть результат наложения сигналов на осциллографе, картинка бы выглядела примерно так, как на Рис. 21.15.

В результате получилась диаграмма, центр которой напоминает человеческий глаз, и неудивительно, называется *глазковой диаграммой*. С ростом флуктуаций, затухания сигнала и других искажений зрачок глаза будет всё больше и больше закрываться, поэтому многие характеристики геометрической формы сигнала могут характеризоваться именно *глазковой маской*. Эта маска, которая может быть четырех-

1952 г. Компания *Sony* представила первый миниатюрный транзисторный радиоприёмник, который поступил в продажу в 1954 году.

1953 г. Компания *Swanson Company* приступила к реализации первых обедов из замороженных полуфабрикатов (продающихся в алюминиевой фольге).

1954 г. В США запущен гигантский аэростат «*Echo 1*» для обеспечения телефонных переговоров по территории США.

1954 г. Изготовлен первый кремниевый транзистор.

1955 г. Запатентована застёжка-«липучка».

1956 г. Джон Бэкус (*John Backus*) с командой разработчиков представил первый, широко используемый компьютерный язык программирования высокого уровня — *FORTRAN*.

1956 г. Америка.
Джон Маккартни
(John McCarthy)
 разработал компьютерный язык **LISP** для приложений искусственного интеллекта.

1956 г. Америка.
 Для компьютера **MANIAC I** появилась первая компьютерная игра (простая версия шахмат).

1956 г. Начал работу первый трансатлантический телефонный кабель.

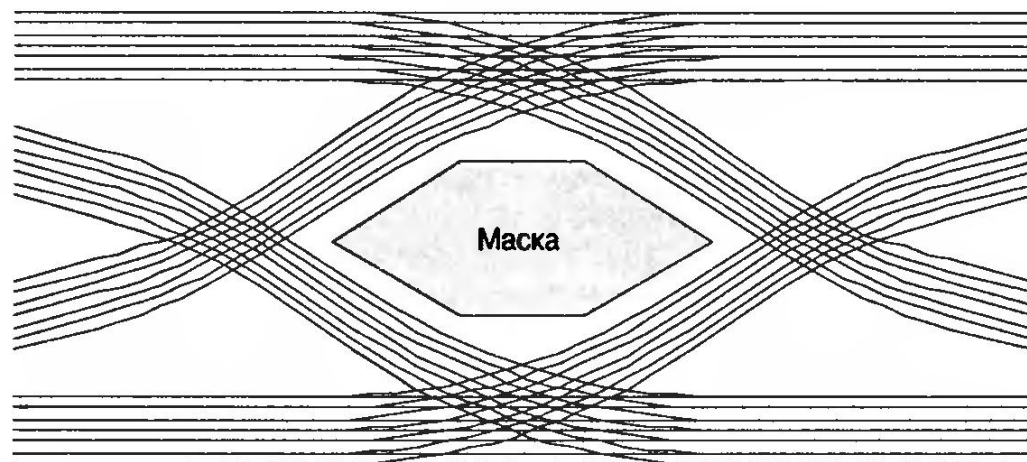


Рис. 21.15. Глазковая диаграмма и маска

угольной или шестиугольной, как показано на рисунке, представляет собой *окно достоверности данных*. Работа высокоскоростного интерфейса возможна лишь только в том случае, когда все кривые остаются за пределами этого окна.

Если вы собираетесь использовать высокоскоростные последовательные интерфейсы, необходимо удостовериться в том, что имеется доступ к средствам анализа целостности сигнала, которые поддерживают концепцию глазковых диаграмм.