

Интерфейс USB

Интерфейс *USB*

Интерфейс *USB* (Universal Serial Bus - универсальная последовательная шина) предназначен для подключения периферийных устройств к персональному компьютеру.



Функциональные возможности интерфейса *USB*

- простота использования для конечного пользователя:
 - простота кабельной системы и подключений;
 - скрытие подробностей электрического подключения от конечного пользователя;
 - самоидентифицирующиеся устройства с автоматическим конфигурированием;
 - динамическое подключение и переконфигурирование периферийных устройств;

- широкие возможности работы:
- пропускная способность от нескольких Кбайт/с до нескольких Мбайт/с;
- поддержка одновременно как изохронной, так и асинхронной передачи данных;
- поддержка одновременных операций со многими устройствами (multiple connections);
- поддержка до 127 устройств на шине;
- передача разнообразных потоков данных и сообщений;
- поддержка составных устройств (т. е. периферийное устройство, выполняющее несколько функций);

□ равномерная пропускная способность:

- гарантированная пропускная способность и низкие задержки голосовых и аудиоданных;
- возможность использования всей полосы пропускания;

□ гибкость:

- поддержка разных размеров пакетов, которые позволяют настраивать функции буферизации устройств;
- настраиваемое соотношение размера пакета и задержки данных;
- управление потоком (flow control) данных на уровне протокола;

□ надежность:

- контроль ошибок и восстановление на уровне протокола;
- динамическое добавление и удаление устройств прозрачно для конечного пользователя;
- поддержка идентификации неисправных устройств;
- исключение неправильного соединения устройств;

□ дешевая реализация.

Кабель USB

Для подключения периферийных устройств используется 4-жильный кабель в экранирующей оплетке и защитным покрытием из полихлорвинила.

Кабель USB содержит две пары проводов: одну для сигнальных цепей (D+ и D-) и одну для схемной «земли» (GND) и питания +5 В (Vbus). Допустимая длина сегмента (кабеля от устройства до хаба) — до 5 м. Ограничения на длину сегмента диктуются затуханием сигнала и вносимыми задержками. Максимальное удаление устройства от хост-контроллера составляет 30 м (5 хабов, 6 кабельных сегментов).



Кабель USB 1.1

В кабеле USB 1.1 используются витая пара проводов для сигнальных цепей и неперевитая пара для питания.

Технические характеристики:

-два режима работы:

- режим с низкой пропускной сп-ю (Low-Speed) — 1,5 Мбит/с;
- режим с высокой пропускной сп-ю (Full-Speed) — 12 Мбит/с;
- максимальная длина кабеля (без экрана) для режима LS — 3 м;
- максимальная длина кабеля (в экране) для режима FS — 5 м;
- максимальное количество подключённых устройств — 127;
- возможно подключение "разноскоростных" периферийных устройств к одному контроллеру USB;
- напряжение питания для периферийных устройств — 5 В;
- максимальный ток, потребляемый периферийным устройством — 500 мА.

Кабель USB 2.0

В кабелях USB 2.0 обязателен экран и связанный с ним дополнительный проводник. Такой кабель пригоден для работы на любых скоростях, включая и HS (480 Мбит/с).

Для реализации «горячего» подключения разъемы обеспечивают более раннее соединение и более позднее отсоединение питающих цепей по отношению к сигнальным.

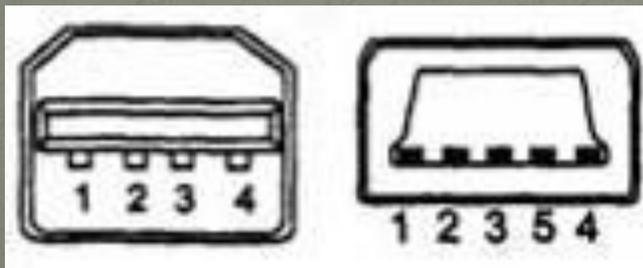
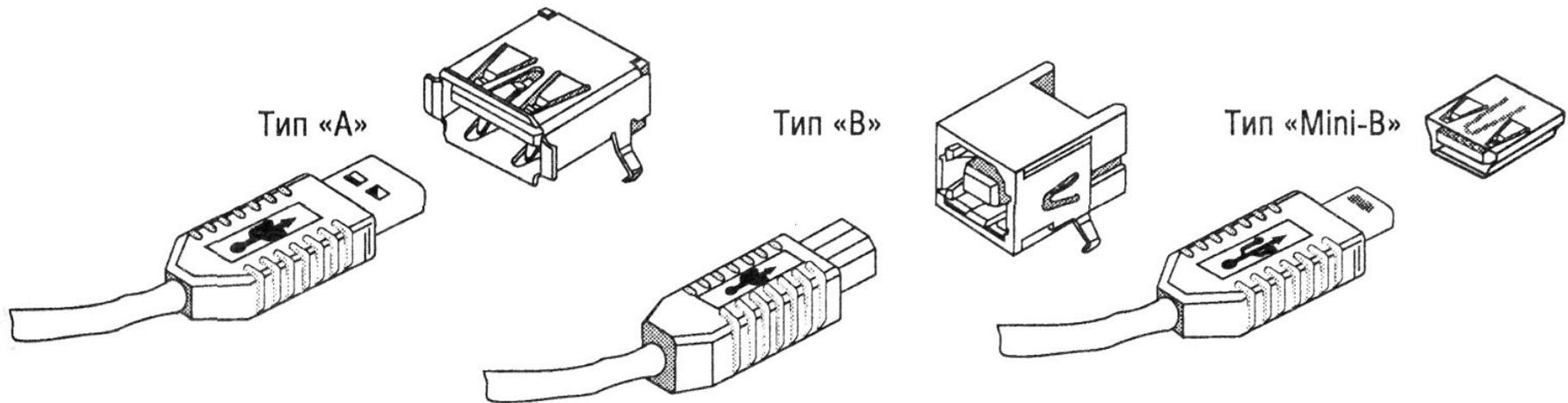


Скорости обмена данными USB 2.0

USB позволяет производить обмен информацией с периферийными устройствами на трех скоростях (спецификация *USB 2.0*).

- Низкая скорость (*Low Speed - LS*) - 1,5 Мбит/с;
- Полная скорость (*Full Speed - FS*) - 12 Мбит/с;
- Высокая скорость (*High Speed - HS*) - 480 Мбит/с.

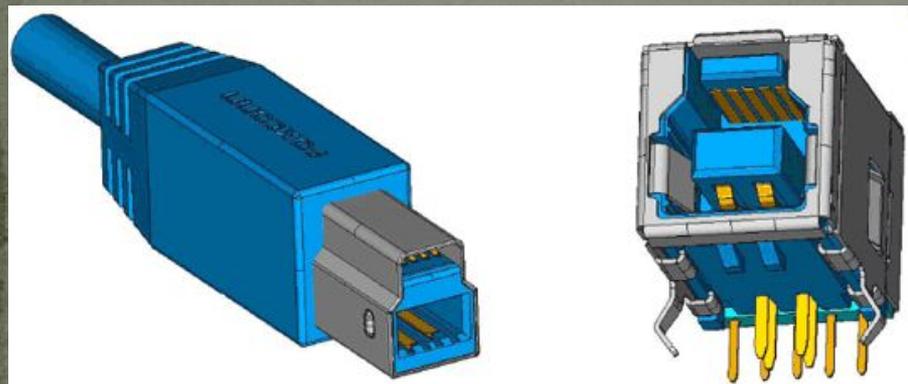
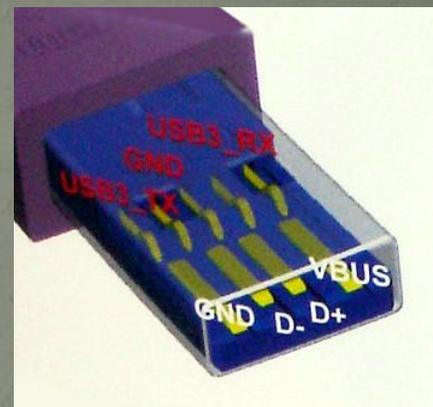
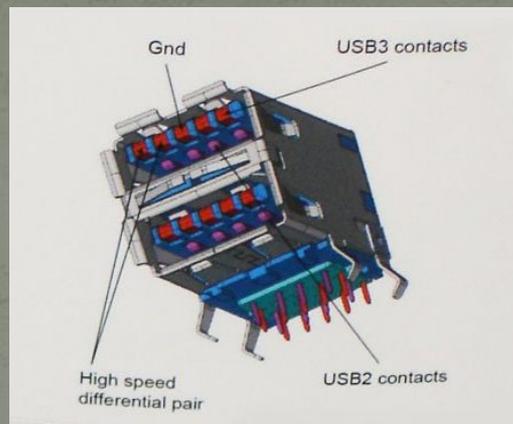
Разъёмы интерфейса USB



Контакт	Цепь
1	V_{BUS} (+5 В)
2	D-
3	D+
4	GND

Разъёмы интерфейса SuperSpeed USB (3.0)

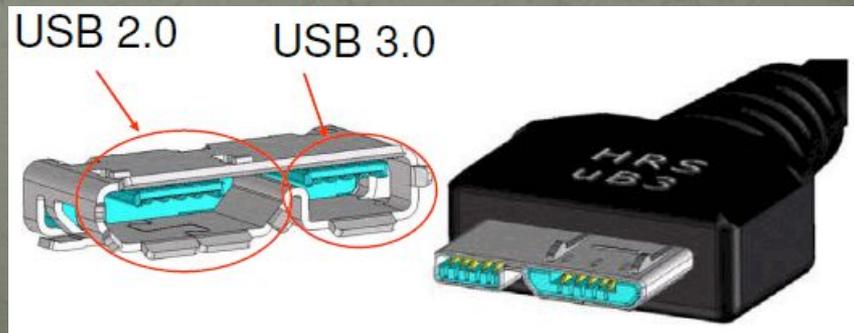
тип А



тип В

На базе разъёма типа В разработан разъём Powered-B с двумя дополнительными контактами питания по краям

тип micro-B



Организация шины USB

Согласно спецификации USB, устройства (devices) могут являться хабами, функциями или их комбинацией.

Устройство-хаб (hub) только обеспечивает дополнительные точки подключения устройств к шине.

Устройство-функция (function) USB предоставляет системе дополнительные функциональные возможности, например подключение к ISDN, цифровой джойстик, акустические колонки с цифровым интерфейсом и т. п.

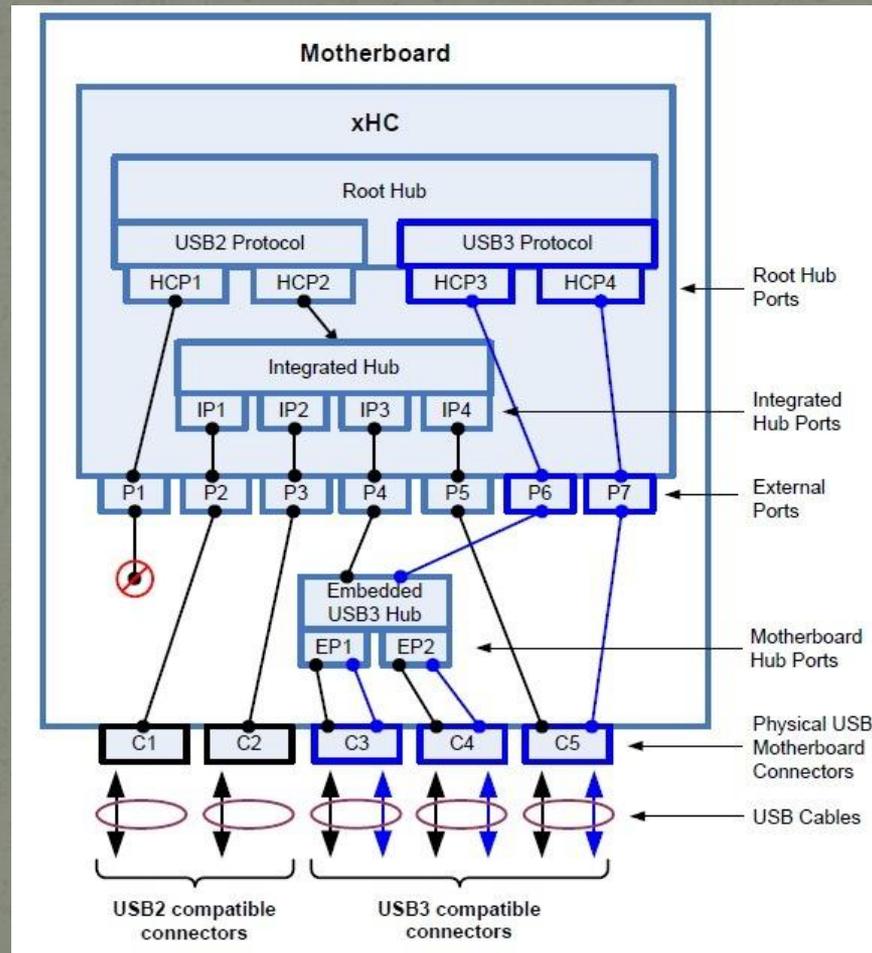
Комбинированное устройство (compound device), содержащее несколько функций, представляется как хаб с подключенными к нему несколькими устройствами.

Организация шины USB



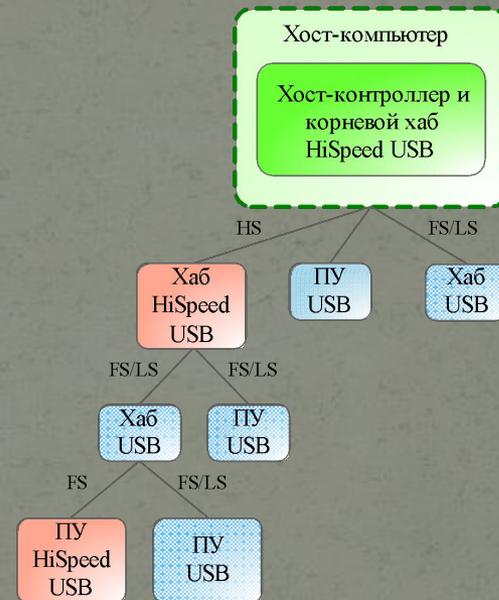
Физическая топология шины USB – **многоярусная звезда**.
Логическая топология USB – просто **звезда**.

Организация шины USB 3.0



Обмен данными по шине USB осуществляется в 4-х режимах:

- *Low Speed* (низкоскоростной режим) с пропускной способностью до 1,5 Мбит/с;
- *Full Speed* (полноскоростной режим) с пропускной способностью до 12 Мбит/с;
- *High Speed* (высокоскоростной режим) с пропускной способностью до 480 Мбит/с.
- *Super Speed* (сверхвысокоскоростной режим) с пропускной способностью до 4,8 Гбит/с.

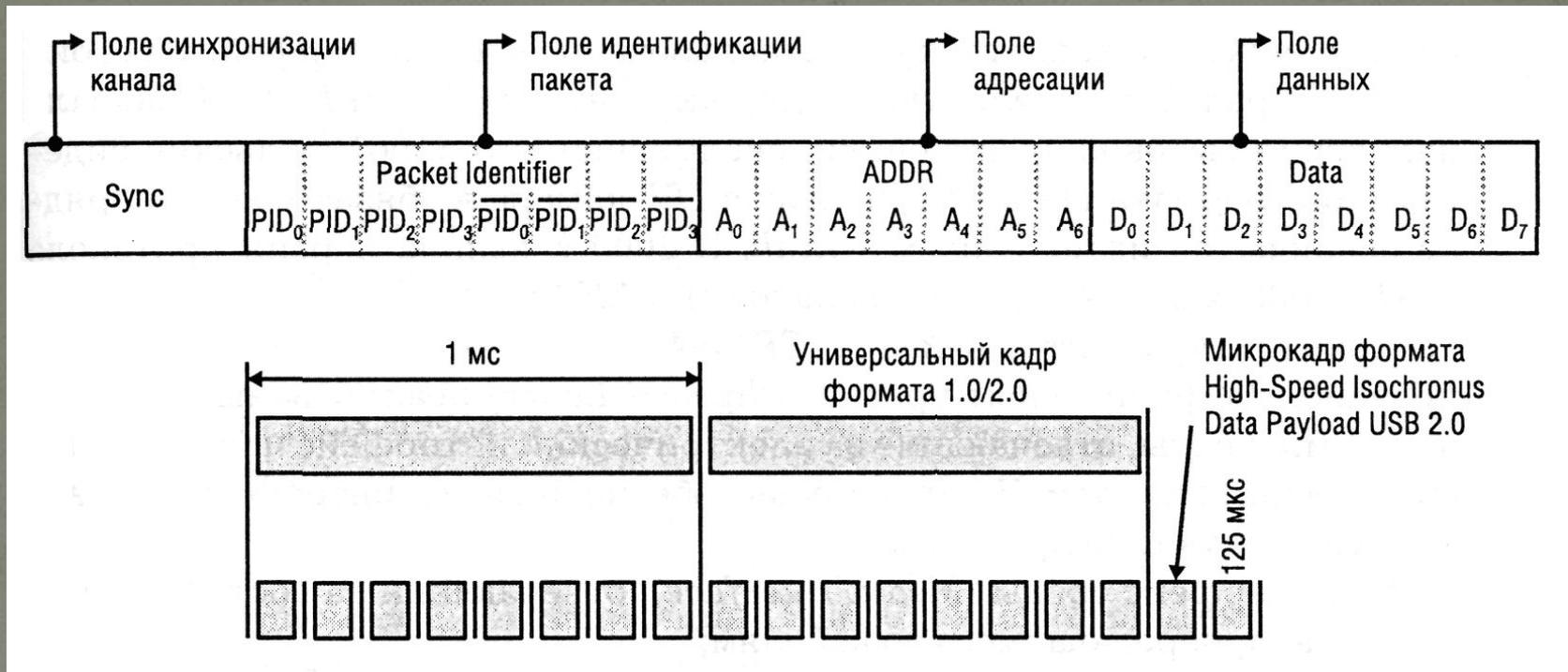


Протокол



Формат кадра в спецификации 1.1

Протокол



Формат кадров интерфейса Hi-Speed USB

Типы передачи данных

- **Управляющие посылки** (control transfers) используются для конфигурирования устройств во время их подключения и для управления устройствами в процессе работы. Протокол обеспечивает гарантированную доставку данных.
- **Передачи массивов данных** (bulk data transfers) – это передачи без каких-либо обязательств по задержке доставки и скорости передачи. Доставка гарантированная – при случайной ошибке выполняется повтор.
- **Прерывания** (interrupt) – короткие передачи, которые имеют спонтанный характер и должны обслуживаться не медленнее, чем того требует устройство. При случайных ошибках обмена выполняется повтор.
- **Изохронные передачи** (isochronous transfers) – непрерывные передачи в реальном времени, занимающие предварительно согласованную часть пропускной способности шины с гарантированным временем задержки доставки.

Полоса пропускания шины делится между всеми установленными каналами (устройствами).

Подключение и отключение новых устройств

Все устройства подключаются через порты хабов. Хаббы определяют подключение и отключение устройств к своим портам и сообщают состояние портов при запросе от контроллера. Хост разрешает работу порта и адресует к устройству через *канал управления*, используя нулевой адрес – USB Default Address.

Хост определяет, является ли новое подключенное устройство хабом или функцией, и назначает ему уникальный адрес USB. Хост создает канал управления (*control pipe*) с этим устройством, используя назначенный адрес и нулевой номер точки назначения.

Если новое устройство является хабом, хост определяет подключенные к нему устройства, назначает им адреса и устанавливает каналы. Если новое устройство является функцией, уведомление о подключении передается диспетчером USB заинтересованному ПО.

Когда устройство отключается, хаб автоматически запрещает соответствующий порт и сообщает об отключении контроллеру, который удаляет сведения о данном устройстве из всех структур данных. Если отключается хаб, процесс удаления выполняется для всех подключенных к нему устройств. Если отключается функция, уведомление посылается заинтересованному ПО.

Шина IEEE 1394 - FireWire

IEEE 1394 (FireWire, i-Link) - последовательная высокоскоростная шина, предназначенная для обмена цифровой информацией между компьютером и другими электронными устройствами.

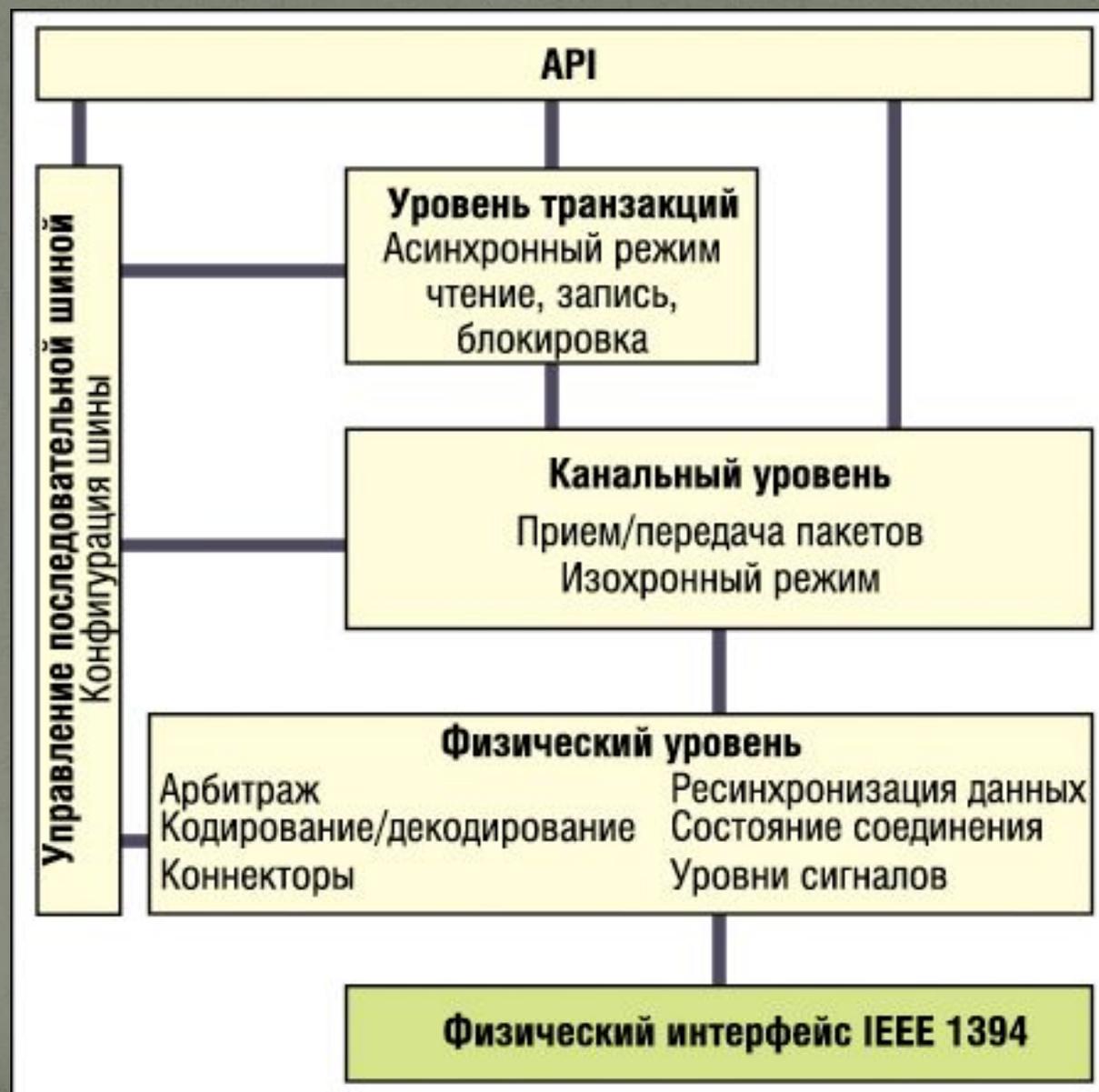
Стандарт 1394 определяет три возможные частоты передачи сигналов по кабелям: 98,304, 196,608 и 393,216 Мбит/с, которые округляются до 100, 200 и 400 Мбит/с. Частоты в стандарте обозначаются как S100, S200 и S400 соответственно. В утвержденном стандарте P1394c появились новые скорости S800, S1600 и S3200.

Ассоциацией также ведутся разработки беспроводного интерфейса на основе стандарта 1394.

Основные отличительные особенности шины

- Позволяет соединить до 63 устройств
- "Горячее" подключение/отключение без потери данных.
- Автоматическое конфигурирование, аналогичное Plug&Play.
- Произвольная топология шины - по аналогии с локальными сетями может использоваться как "звезда" так и общая шина (только в виде цепочки, в отличие от сети на коаксиальном кабеле).
- Возможность обмена с гарантированной пропускной способностью, что крайне необходимо для передачи видеоизображений.
- Изохронная передача данных.
- Низкая цена компонентов и кабеля.
- Имеются линии питания, поэтому многие устройства сразу после подключения начнут работать.

Структура протокола



Уровень транзакций

Уровень транзакций используется в асинхронном режиме передачи. Протокол 1394 предусматривает механизм запроса/ответа с подтверждением, обычно генерируемым в каждой фазе. Существуют следующие типы транзакций:

- простое чтение (четыре байта);
- простая запись (четыре байта);
- чтение с переменной длиной;
- запись с переменной длиной;
- блокировка транзакций.

Асинхронные пакеты имеют заголовок стандартного формата и опциональный блок данных.

Канальный и физический уровни

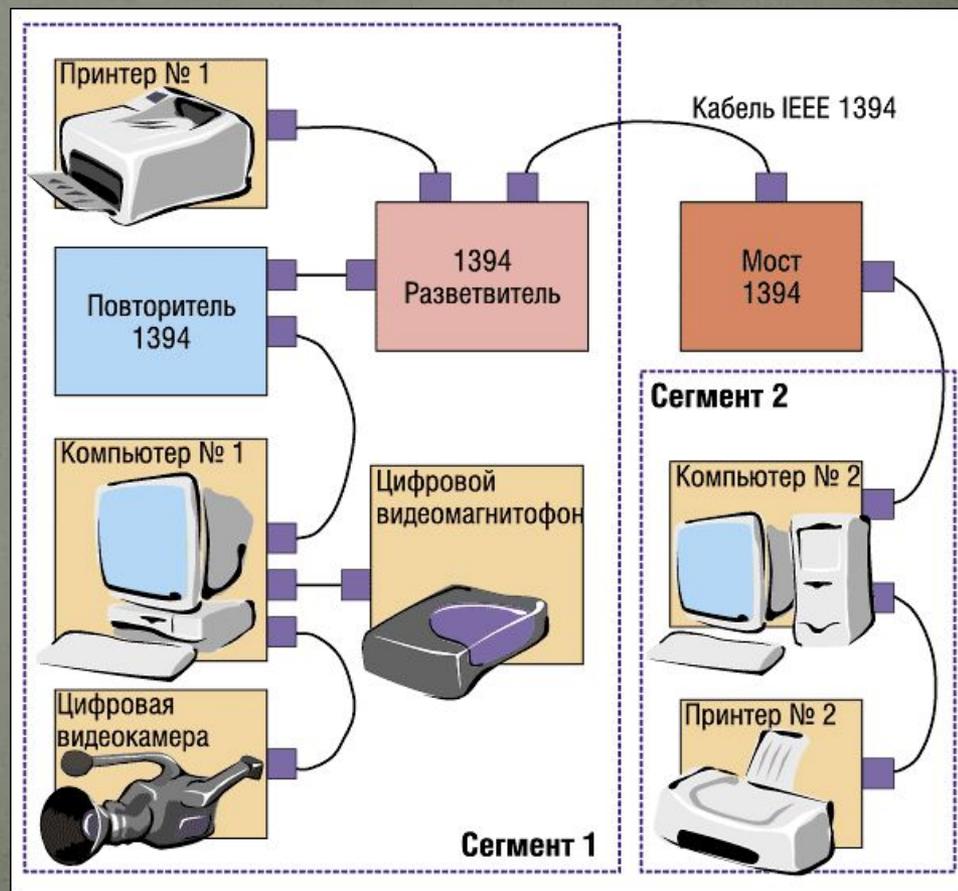
Канальный уровень (или уровень связи) служит интерфейсом между уровнями – физическим и транзакций – и отвечает за вычисление, формирование и проверку CRC для пакетов. Вдобавок, поскольку изохронный режим передачи не использует уровень транзакций, канальный уровень непосредственно отвечает за прием и передачу изохронных данных.

Протокол **физического уровня** включает механизм арбитража, преобразование передаваемых и получаемых данных в последовательный код, электрическую сигнализацию, механические коннекторы и кабели.

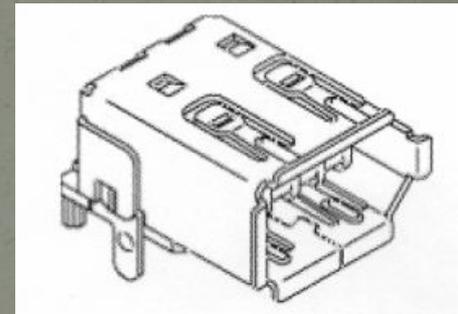
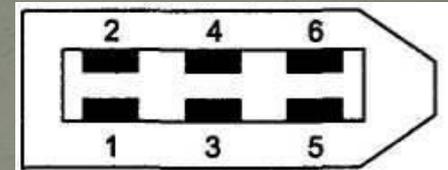
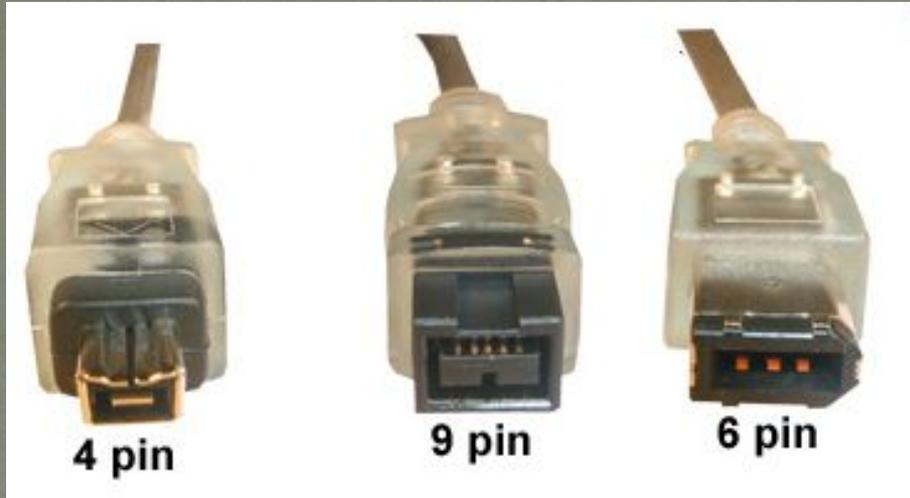
Топология и физический уровень сети

Все устройства соединяются друг с другом кабелями по любой топологии (*древовидной, цепочечной, звездообразной*).

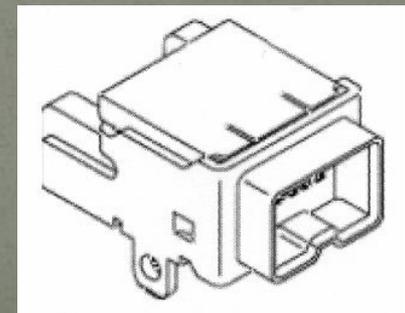
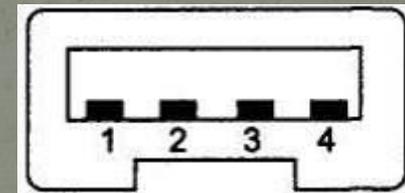
Стандарт 1394 определяет две категории шин: **кабельные шины** и **кросс-шины**. Под **кросс-шинами** подразумеваются обычно параллельные интерфейсы, объединяющие внутренние подсистемы устройства, подключенного к кабелю 1394. Сеть может состоять из множества шин, соединенных **мостами** – специальными устройствами, осуществляющими передачу пакетов между шинами, фильтрацию трафика, а для соединения разнородных шин еще и необходимые преобразования интерфейсов.



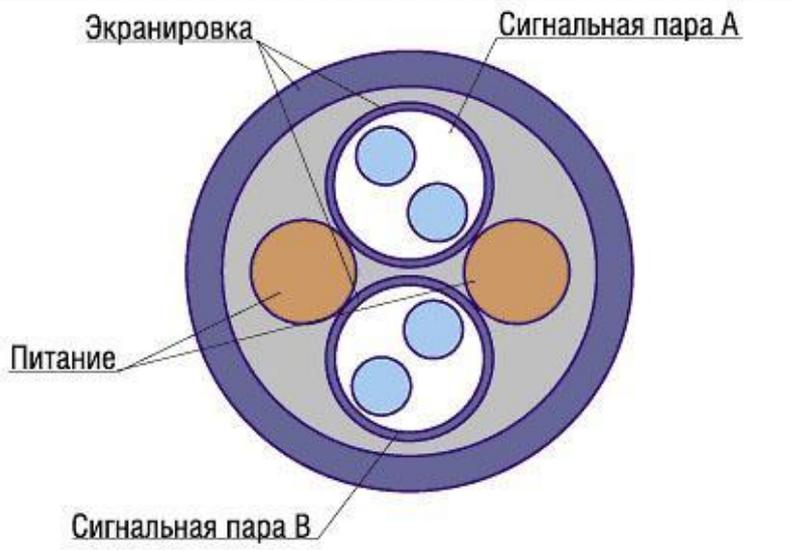
Топология и физический уровень сети



Разъем А			Провод	Разъем Б		
4-конт.	6-конт.	Цепь		Цепь	6-конт.	4-конт.
-	1	Power	Белый	Power	1	
-	2	GND	Черный	GND	2	
1	3	TPB-	Красный	TPA-	5	3
2	4	TPB+	Зеленый	TPA+	6	4
3	5	TPA-	Оранжевый	TPB-	3	1
4	6	TPA+	Синий	TPB+	4	2
Экран	Экран	Экран	Экран	Экран	Экран	Экран



Топология и физический уровень сети



Также в качестве среды передачи могут использоваться:

- кабель UTP категории 5 со стандартными коннекторами RJ-45;
- пластиковое оптоволокно;
- многомодовое оптоволокно.

Разъемы USB

	Обычный	Mini	Micro
Тип А	4×12 мм 	3×7 мм  Mini USB Тип А (слева) Mini USB Тип В (справа)	2×7 мм 
Тип В	7×8 мм 	3×7 мм  Micro USB Тип В (слева) Mini USB Тип В (справа)	2×7 мм 

Два типа разъемов:

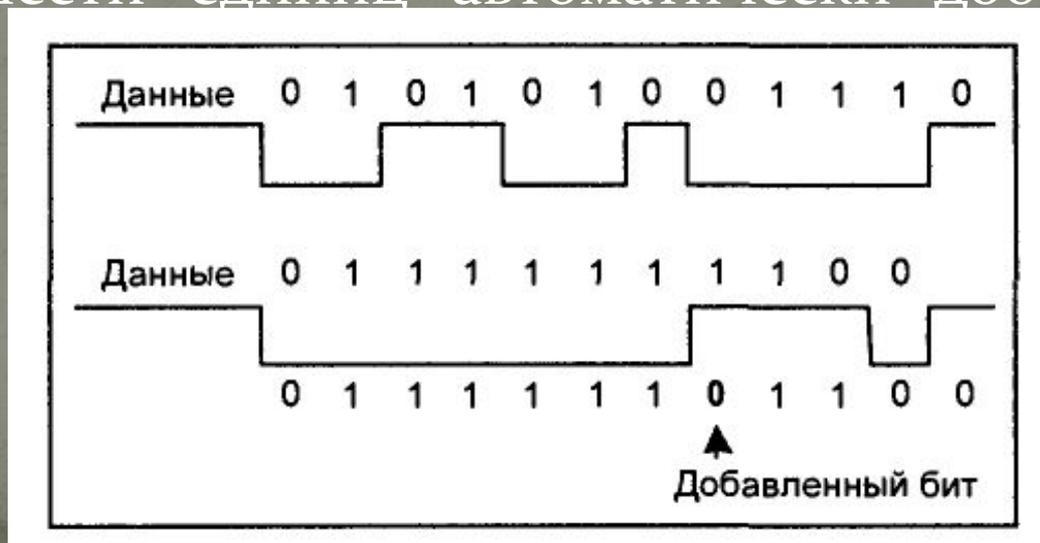
А — на стороне контроллера или концентратора USB

В — на стороне периферийного устройства

Кодирование данных

Данные по шине USB передаются битовыми последовательностями. Вместо кодирования логических уровней как уровней напряжения USB определяет логический 0 как изменение напряжения, а логическую 1 как неизменение напряжения.

Для надежной передачи данных нужно исключить из кодов слишком длинные последовательности единиц. Это действие называется *стаффинг* (Bit stuffing): после каждых шести единиц автоматически добавляется 0.



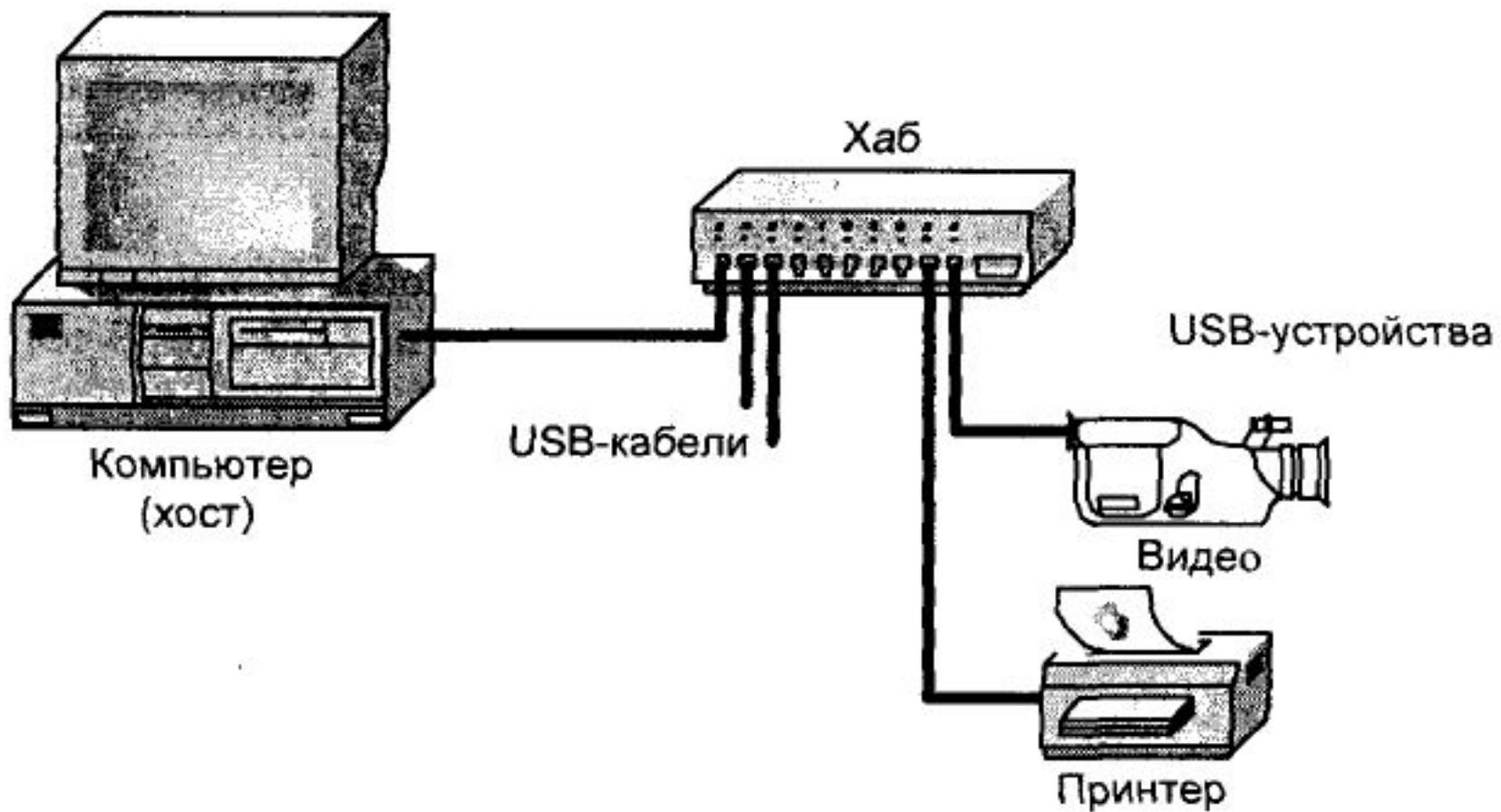
Хост и хабы

Интерфейс USB соединяет между собой *хост* (*host*) и устройства. Хост находится внутри персонального компьютера и управляет работой всего интерфейса. Для того, чтобы к одному порту USB можно было подключать более одного устройства, применяются *хабы* (*hub* - устройство, обеспечивающее подключение к интерфейсу других устройств).

Корневой хаб и «функции»

Корневой хаб (root hub) находится внутри компьютера и подключен непосредственно к хосту. В интерфейсе USB используется специальный термин "*функция*" - это логически законченное устройство, выполняющее какую-либо специфическую функцию

Обычная архитектура USB



Хост-центрическая система

Шина USB представляет собой хост-центрическую аппаратно-программную систему подключения множества периферийных устройств.

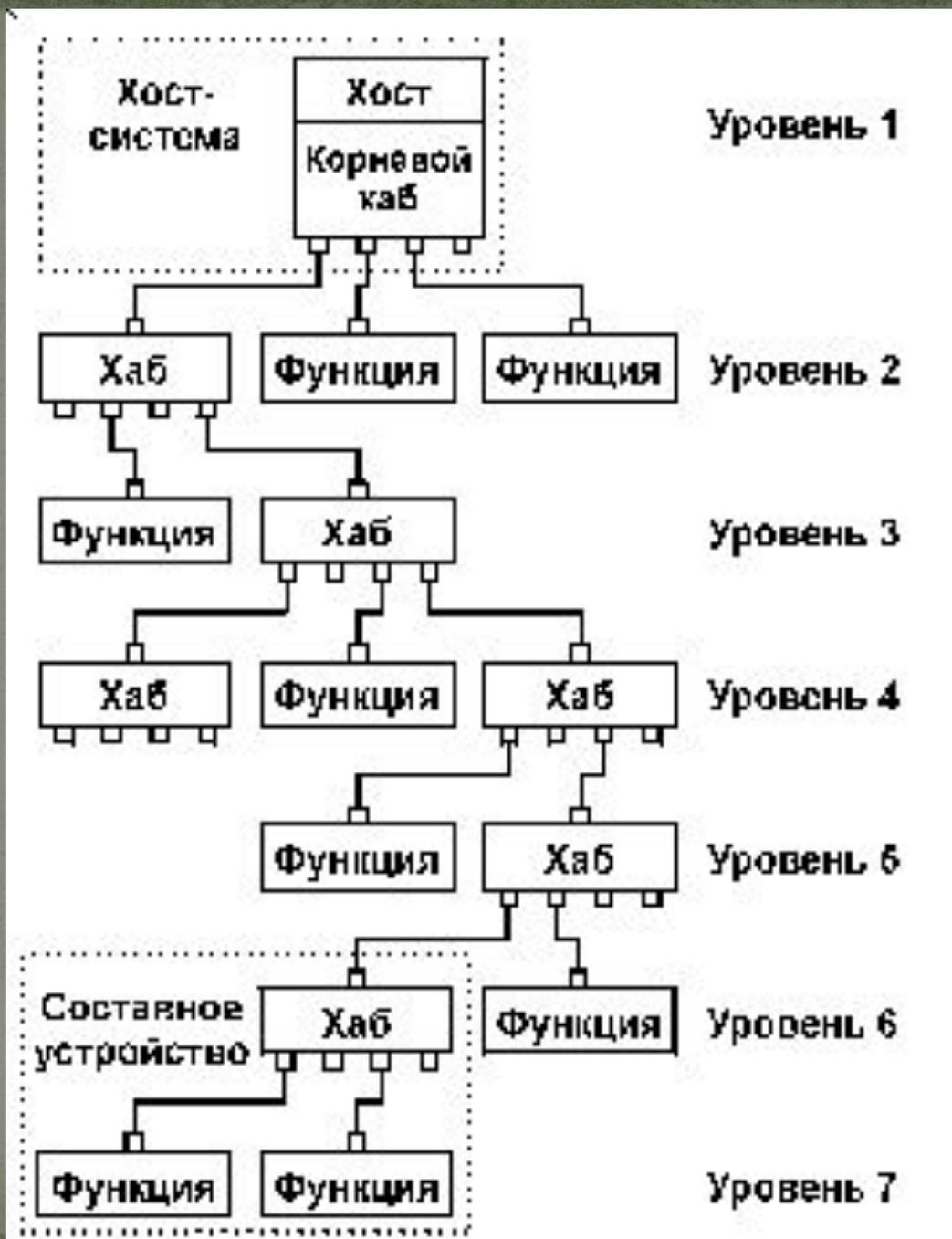
Хост-центричность понимается в нескольких аспектах:

- хост отвечает за конфигурирование всех устройств;
- хост управляет всеми обменами (транзакциями) на шине;
- обмен информацией возможен только между хостом (его памятью) и устройствами — однорангового взаимодействия

Топология интерфейса USB

Топология интерфейса USB представляет собой набор из 7 уровней (*tier*):

на первом уровне находится хост и корневой хаб, а на последнем - только функции. Устройство, в состав которого входит хаб и одна или несколько функций, называется **составным** (*comround device*).



Восходящие и нисходящие потоки

Порт хаба или функции, подключаемый к хабу более высокого уровня, называется восходящим портом (*upstream port*), а порт хаба, подключаемый к хабу более низкого уровня или к функции называется нисходящим портом (*downstream port*).

Транзакции

Транзакция на шине USB — это последовательность обмена пакетами между хостом и ПУ, в ходе которой может быть передан или принят один пакет данных.

Каждая транзакция состоит из трех фаз:

- фаза передачи пакета-признака,
- фаза передачи данных
- фаза согласования

Разновидности пакетов

Все передачи данных по интерфейсу инициируются хостом. Данные передаются в виде пакетов. В интерфейсе USB используется несколько разновидностей пакетов:

пакет-признак (*token packet*) описывает тип и направление передачи данных, адрес устройства и порядковый номер конечной точки (КТ - адресуемая часть USB-устройства); пакет-признаки бывают нескольких типов: *IN*, *OUT*, *SOF*, *SETUP*;

пакет с данными (*data packet*) содержит передаваемые данные;

пакет согласования (*handshake packet*) предназначен для сообщения о результатах пересылки данных; пакеты согласования бывают нескольких типов: *ACK*, *NAK*, *STALL*.

Типы пересылок информации

1. *Управляющая пересылка (control transfer)* используется для конфигурации устройства, а также для других специфических для конкретного устройства целей.

2. *Потоковая пересылка (bulk transfer)* используется для передачи относительно большого объема информации.

3. *Пересылка с прерыванием (interrupt transfer)* используется для передачи относительно небольшого объема информации, для которого важна своевременная его пересылка. Имеет ограниченную длительность и повышенный приоритет относительно других типов пересылок.

4. *Изохронная пересылка (isochronous transfer)* также называется потоковой пересылкой реального времени. Информация, передаваемая в такой пересылке, требует реального масштаба времени при ее создании, пересылке и приеме.

1. Управляющие пересылки

Управляющие пересылки содержат не менее двух стадий: *Setup-стадия* и *статусная стадия*. Между ними может также располагаться *стадия передачи данных*. *Setup-стадия* используется для выполнения *SETUP-транзакции*, в процессе которой пересылается информация в управляющую КТ функции. *SETUP-транзакция* содержит *SETUP-пакет*, пакет с данным и пакет согласования. Если пакет с данными получен функцией успешно, то она отсылает хосту *АСК-пакет*. В противном случае транзакция завершается.

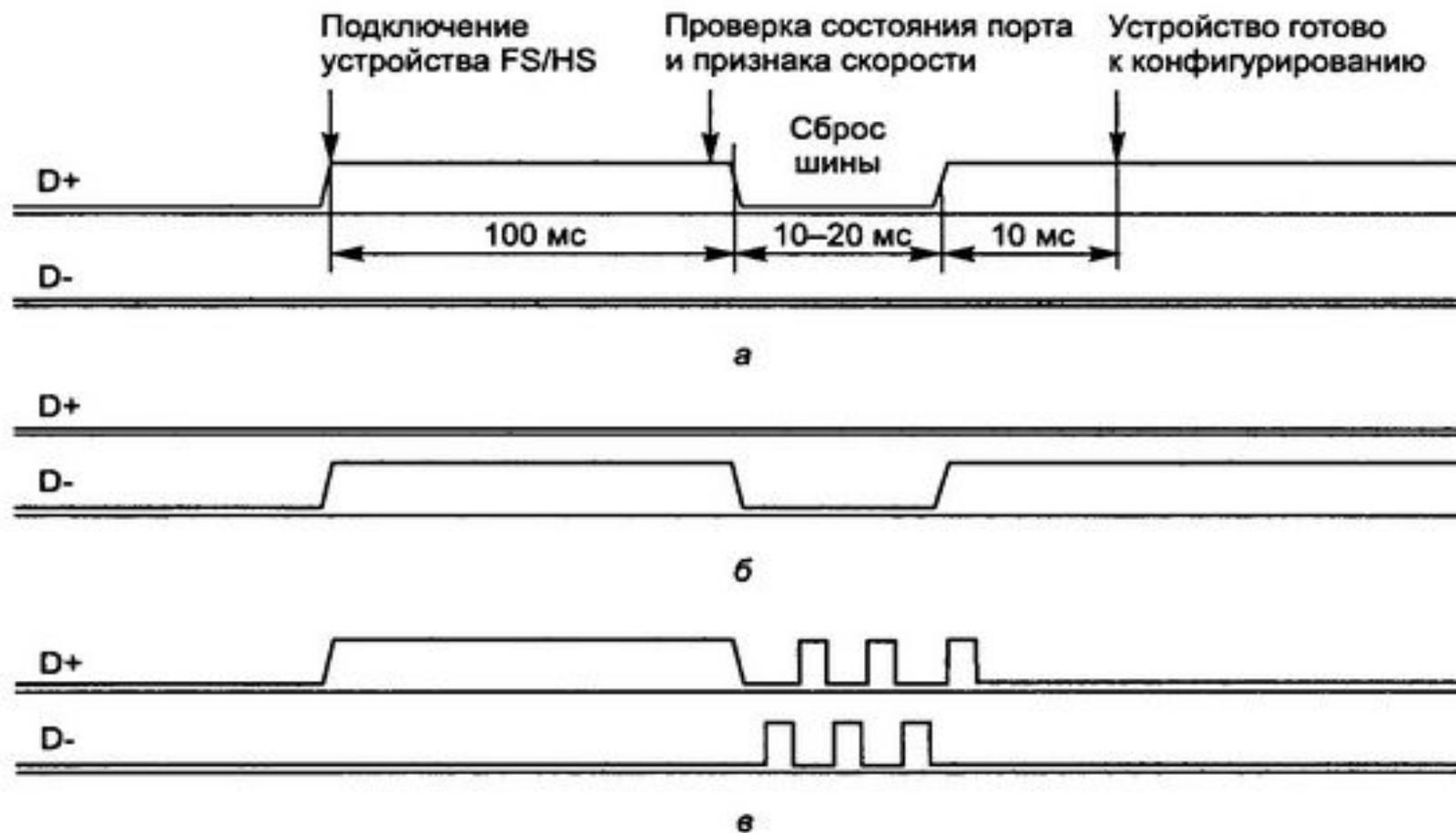
Стадия передачи данных

В стадии передачи данных управляющие пересылки содержат одну или несколько *IN*- или *OUT*-транзакций, принцип передачи которых такой же, как и в потоковых пересылках. Все транзакции в стадии передачи данных должны производиться в одном направлении.

Статусная стадия

В *статусной стадии* производится последняя транзакция, которая использует те же принципы, что и в потоковых пересылках. Направление этой транзакции противоположно тому, которое использовалось в стадии передачи данных. Статусная стадия служит для сообщения о результате выполнения SETUP-стадии и стадии передачи данных. Статусная информация всегда передается от функции к хосту.

Обнаружение подключения и сброса устройства: а — FS, б — LS, в — HS



2. Поточковые пересылки

Поточковые пересылки характеризуются гарантированной безошибочной передачей данных между хостом и функцией посредством обнаружения ошибок при передаче и повторного запроса информации.

Когда хост становится готовым принимать данные от функции, он в фазе передачи пакета-признака посылает функции *IN*-пакет. В ответ на это функция в фазе передачи данных передает хосту пакет с данными или, если она не может сделать этого, передает *NAK*- или *STALL*-пакет. *NAK*-пакет сообщает о временной неготовности функции передавать данные, а *STALL*-пакет сообщает о необходимости вмешательства хоста. Если хост успешно получил данные, то он в фазе согласования посылает функции *ACK*-пакет. В противном случае транзакция завершается.

Когда хост становится готовым передавать данные, он посылает функции *OUT*-пакет, сопровождаемый пакетом с данными. Если функция успешно получила данные, он отсылает хосту *ACK*-пакет, в противном случае отсылается *NAK*- или *STALL*-пакет.

3. Пересылки с прерыванием

Пересылки с прерыванием могут содержать *IN*-или *OUT*-пересылки. При получении *IN*-пакета функция может вернуть пакет с данными, *NAK*-пакет или *STALL*-пакет. Если у функции нет информации, для которой требуется прерывание, то в фазе передачи данных функция возвращает *NAK*-пакет. Если работа КТ с прерыванием приостановлена, то функция возвращает *STALL*-пакет. При необходимости прерывания функция возвращает необходимую информацию в фазе передачи данных. Если хост успешно получил данные, то он посылает *ACK*-пакет. В противном случае согласующий пакет хостом не посылается

4. Изохронные транзакции

Изохронные транзакции содержат фазу передачи признака и фазу передачи данных, но не имеют фазы согласования. Хост отсылает *IN*- или *OUT*-признак, после чего в фазе передачи данных КТ (для *IN*-признака) или хост (для *OUT*-признака) пересылает данные. Изохронные транзакции не поддерживают фазу согласования и повторные посылки данных в случае возникновения ошибок.

Блоки USB в микропроцессорах

В связи с тем, что в интерфейсе USB реализован сложный протокол обмена информацией, в устройстве сопряжения с интерфейсом USB необходим микропроцессорный блок, обеспечивающий поддержку протокола. Поэтому основным вариантом при разработке устройства сопряжения является применение микроконтроллера, который будет обеспечивать поддержку протокола обмена. В настоящее время все основные производители микроконтроллеров выпускают продукцию, имеющую в своем составе блок USB

USB OTG

USB OTG (от On-The-Go) — дальнейшее расширение спецификации USB 2.0, предназначенное для лёгкого соединения периферийных USB-устройств друг с другом без необходимости подключения к ПК. Например, к моделям КПК и коммуникаторов, поддерживающих USB OTG, можно подключать некоторые USB-устройства. Обычно это флэш-накопители, цифровые фотоаппараты, клавиатуры, мыши и другие устройства, не требующие дополнительных драйверов.



Wireless USB

В 2004 года корпорация Intel совместно с Agere, Systems, HP, Microsoft Corporation, NEC, Philips Semiconductors и Samsung Electronics создали группу Wireless USB Promoter Group (группа продвижения беспроводного USB).

Wireless USB (беспроводной USB) — стандарт беспроводной передачи данных.



Беспроводной USB-микроадаптер

Wireless USB

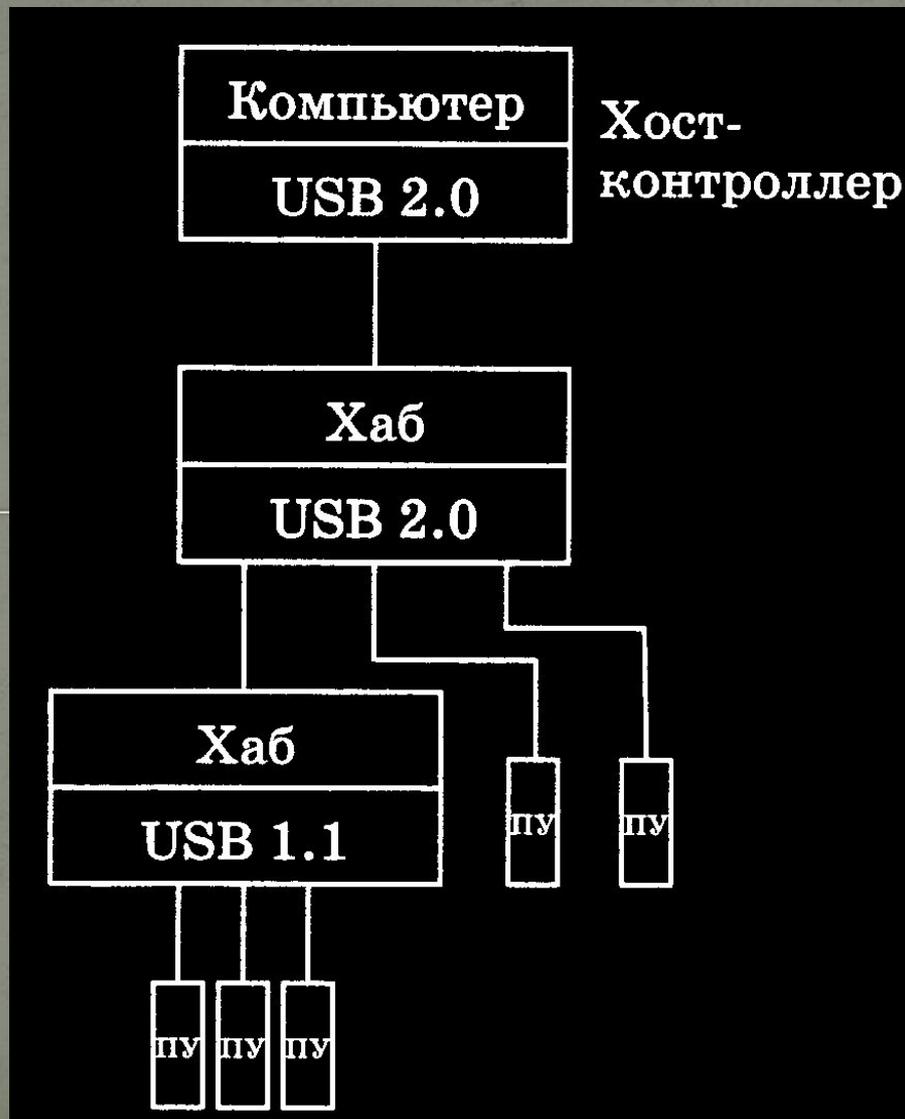


Функциональные возможности USB

Интерфейс USB обладает следующими функциональными возможностями:

- простотой пользования для конечного пользователя. Этот интерфейс скрывает подробности электрического подключения, а идентификация ПУ и конфигурирование выполняются автоматически. Кроме того, в нем реализована архитектура Plug and Play и возможно динамическое «горячее» подключение ПУ;
- возможностью выполнения одновременных операций со многими устройствами, число которых может достигать до 127;
- возможностью как синхронной, так и асинхронной передачи данных и возможностью разнообразных потоков данных и сообщений;
- использованием всей полосы пропускания и способностью осуществлять передачу разных размеров пакетов;
- надежностью, для чего выполняется контроль ошибок и восстановление сообщений, а также производится идентификация неисправных устройств.

Топология шины USB

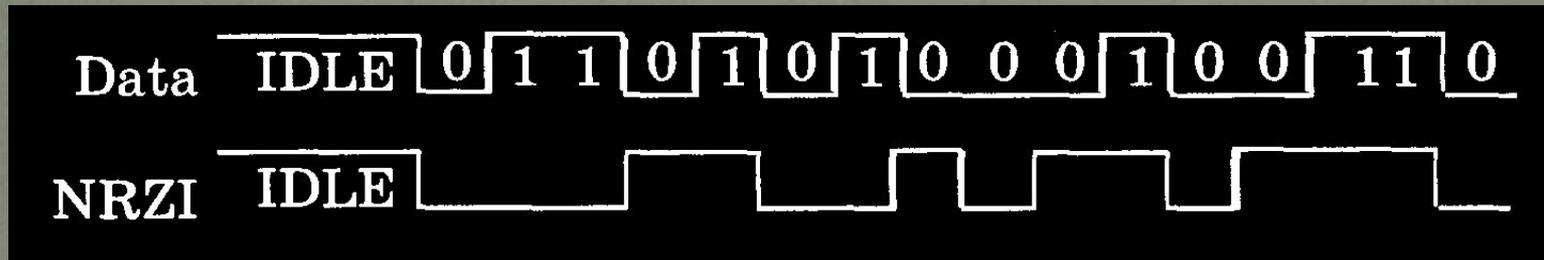


Драйверы хост-контроллера и ПУ

Для работы USB необходимы следующие драйверы хост-контроллера и ПУ:

- хост-контроллер должен иметь драйвер, преобразующий запросы ввода – вывода в структуры данных, размещаемые в специальной области ОП, и способный загружать и читать состояние регистров хост-контроллера для выполнения транзакций;
- за все устройства отвечает драйвер USB, осуществляющий нумерацию, конфигурирование ПУ, распределение пропускной способности шины, мощности питания и т.д.;
- помимо таких драйверов необходимо клиентское программное обеспечение, обеспечивающее доступ к устройствам со стороны прикладных программ.

Метод кодирования NRZI



Типы передач данных

Спецификация USB определяет четыре типа передач между хостом и ПУ: передачу массивов данных, изохронные передачи, управляющие передачи и передачи по прерываниям.

Передача массивов данных обеспечивает доставку данных от хоста к ПУ (к принтерам, сканерам и подобным устройствам) и обратно, но время доставки не ограничено. Этим передачам присвоен самый низкий приоритет и при большой занятости шины они могут приостанавливаться. Передача занимает всю полосу пропускания шины. При выявлении ошибки приемным устройством операция повторяется. Данные передаются пакетами, поле данных в которых занимает 8, 16, 32 или 64 байта.

Изохронные передачи служат для передачи аудио- и видеоданных от мультимедийных устройств (видеокамер, аудиосистем и т. п.) и обеспечивают обмен между хостом и ПУ в реальном времени. Они не гарантируют полную доставку информации, так как передача ведется без подтверждения, и недействительные пакеты игнорируются. Такие передачи занимают предварительно согласованную часть пропускной способности шины.

Типы передач данных (продолжение)

Передача по прерываниям используется для пересылки одиночных пакетов небольшого размера за ограниченное время. Поле данных может содержать до 1024 байт при высокой скорости, до 64 байт при полной и всего до 8 байт при низкой скорости. При обнаружении ошибки приемным устройством выполняется повтор передачи.

Управляющие передачи служат для конфигурирования устройств, а также для управления ими в процессе работы. Для доставки управляющих данных выделяется 10% полосы пропускания шины. Такая передача позволяет передать ПУ команду и получить подтверждение или отказ от ее выполнения. Доставка гарантирована, т.е. устройство подтверждает выполнение переданной управляющей команды.

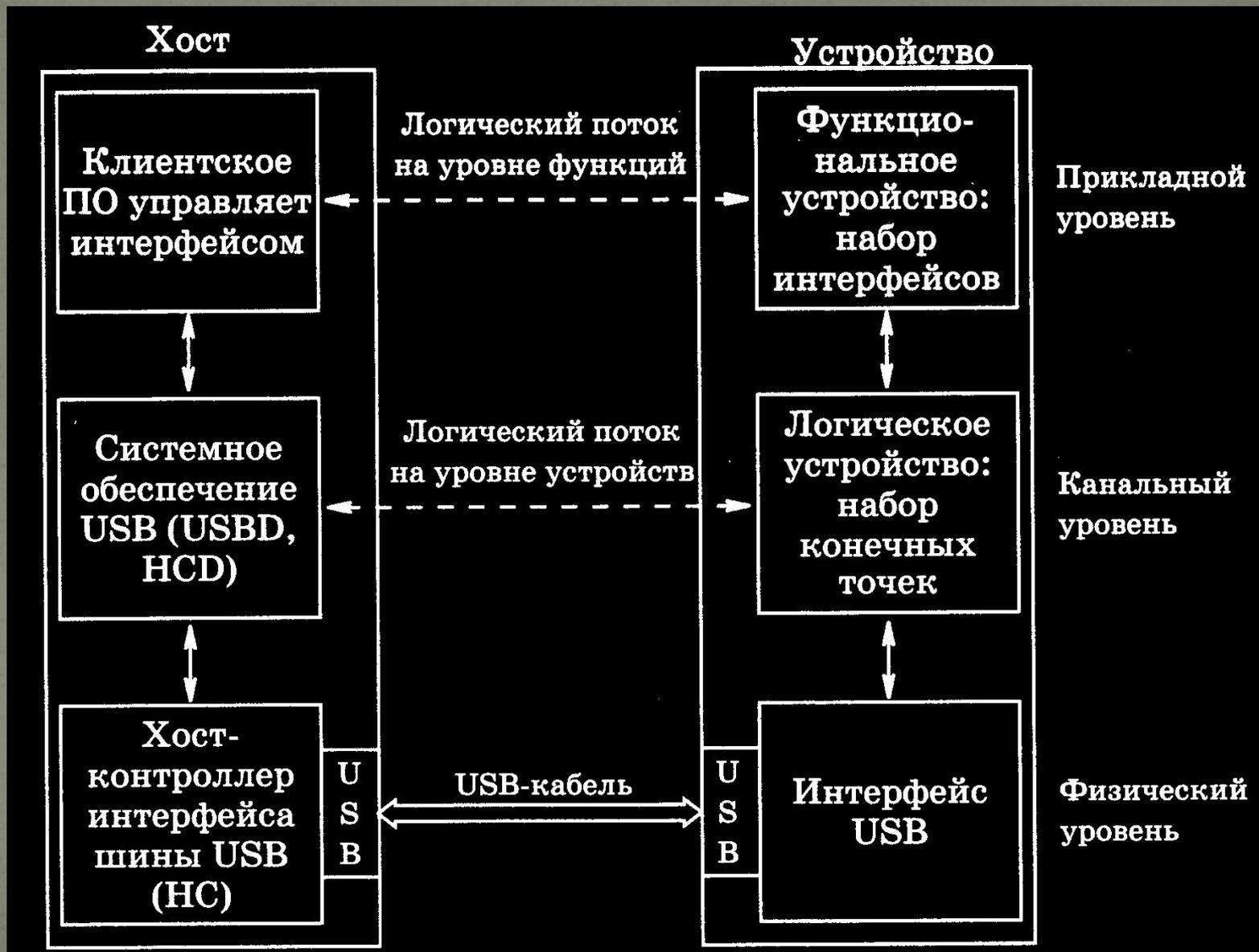
коммуникационные каналы (логическое соединение) между программным обеспечением хост-контроллера и конечной точкой.

Для любой передачи необходимо организовать коммуникационный канал (логическое соединение) между программным обеспечением хост-контроллера и конечной точкой. Каналы могут быть двух видов – потоковые каналы и каналы сообщений.

Потоковые каналы однонаправленные, и передачи массивов, изохронные передачи и прерывания в них не синхронизированы, т.е. передачи в разных каналах могут выполняться в произвольном порядке. При возникновении ошибки поток в канале прерывается.

Каналы сообщений двунаправленные; передачи во встречных направлениях строго синхронизированы, и приемная сторона всегда должна подтвердить факт приема сообщения. Последующее сообщение не может быть передано до окончания обработки предыдущего. В свою очередь, каналы сообщений также бывают двух типов: **основной канал сообщений**, служащий для доступа к конфигурационной информации устройства, и **клиентские каналы**, которыми распоряжаются драйверы устройств. Основной канал сообщений, «владельцем» которого является драйвер USB, служит для передачи информации о конфигурировании и управления. Клиентские каналы позволяют передавать все четыре типа сообщений. Драйвер устройства работает с несколькими клиентскими каналами, и эти драйверы служат единственными источниками и потребителями данных.

Программное взаимодействие ПК и ПУ



Программное взаимодействие ПК и ПУ (продолжение)

Клиентское программное обеспечение – это те драйверы устройств, которые обеспечивают доступ прикладных программ к ПУ. Эти драйверы управляют устройствами через общий драйвер шины, но непосредственно к регистрам устройства эти драйверы не обращаются. Клиентское программное обеспечение формирует пакеты запросов на ввод-вывод, которые должны содержать адрес, длину буфера в ОП и указание месторасположения данных.

Системное обеспечение шины USB – это драйвер шины и драйвер хост-контроллера. Драйвер шины выполняет нумерацию и конфигурирование ПУ, распределяет пропускную способность шины и мощность питания и т. д. При получении запроса на ввод – вывод драйвер шины преобразует его в одну или несколько транзакций и передает перечень этих транзакций драйверу хост-контроллера.

Драйвер хост-контроллера планирует и отслеживает исполнение каждой из этих транзакций, преобразуя их в последовательность операций шины, в результате чего формируются передаваемые по шине кадры.

Интерфейс со стороны ПУ взаимодействует с интерфейсом хоста – он принимает (или передает) кадры данных по шине и отправляет их на канальный уровень, т. е. логическому устройству.

Программное взаимодействие ПК и ПУ (продолжение)

Логическое устройство с уникальным адресом (1 – 127) представляет собой набор конечных точек, с которыми хост-контроллер обменивается данными. Каждой конечной точке присваивается номер (0 – 15), кроме того, ее характеризуют направлением передачи (от хоста или к хосту). Конечная точка с номером 0 двунаправленная и служит для управления. При обмене приемник или источник данных однозначно определяется адресом устройства, номером конечной точки и направлением передачи данных.

Функциональное устройство может выполнять несколько задач. Для каждой задачи в устройстве должен быть определен свой «интерфейс», т. е. набор конечных точек и правила их использования. Драйвер может обращаться только к одному интерфейсу, а при наличии нескольких интерфейсов необходимо также несколько драйверов. Конфигурация устройства – это набор работающих интерфейсов. В устройстве можно предусмотреть несколько конфигураций, но активной может быть только одна.