

## Раздел 2. Лекция 4

Специализированные интерфейсы  
подключения накопителей. Часть 1

# Основные вопросы лекции

1. Интерфейс ATA.
2. Интерфейс Serial ATA.

# 1. Интерфейс ATA

ATA (Advanced Technology Attachment) также *называемый IDE* (Integrated Drive Electronics) - стандарт на интерфейс между компьютером (контроллером) и накопителем на жестких магнитных дисках (дисководом, HDD), включая:

- физический уровень (разъёмы, кабели);
- электрические и логические характеристики сигналов;
- регистры устройства;
- команды и протоколы.

# 1. Интерфейс ATA

Появился в 1990 году в результате переноса стандартного контроллера жесткого диска в архитектуру IBM PC AT на плату самого жесткого диска (такая архитектура получила название IDE).

**Назначение интерфейса ATA** – обмен данными с вынесенным на внешнее устройство контроллером: передача и прием данных, подача команд, отслеживание ошибок, доступ к управляющим и статусным регистрам.

Включает ATAPI (AT Attachment interface with Packet Interface).

Имеет также множество маркетинговых названий:

EIDE (ATA-2 и Enhanced BIOS),

FASTATA (урезанный ATA-2),

FASTATA-2 (просто ATA-2),

UltraDMA (ATA-4 в режиме UDMA mode 3),

UltraATA/33 (ATA-4),

UltraATA/66 (ATA-5),

UltraATA/100 (ATA-6) и др.

# 1. Интерфейс АТА

По сути АТА с электрической точки зрения представляет собой упрощенный вариант шины ISA.

**ISA** (Industry Standard Architecture, ISA bus): первоначально представлял собой АТ-совместимый дисковый контроллер, встроенный в дисковод и подсоединённый упрощённой 16-битной шиной ISA (АТ bus).

Сохранены следующие механизмы и сигналы ISA:

- 16-битная шина данных;
- шина адреса для адресации регистров (урезана до 3 бит);
- аппаратный сброс, готовность, разрядность обмена;
- сигнал прерывания;
- сигналы чтения/записи портов;
- сигналы DMA.

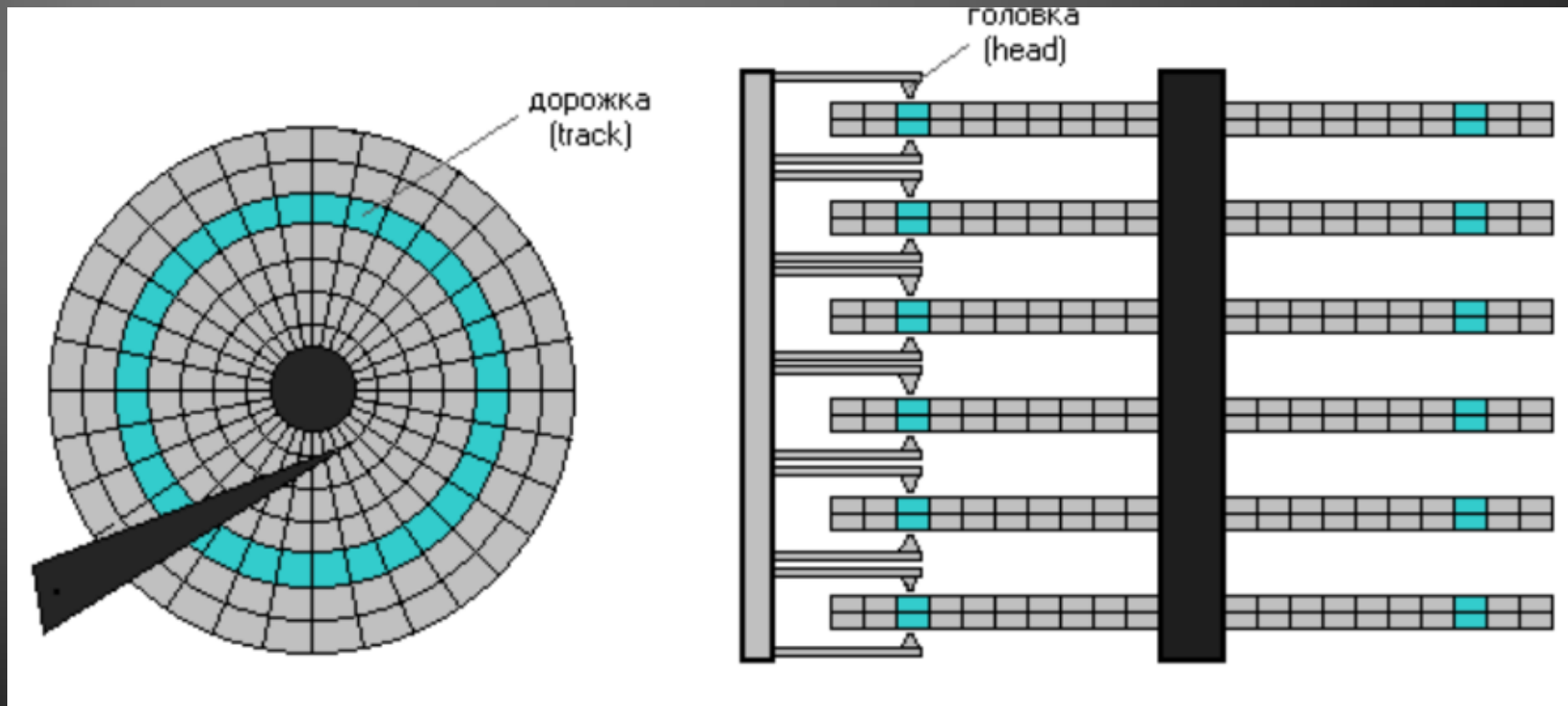
По мере развития всё больше и больше напоминает SCSI (терминаторы, очередь команд, АТАPI).

# 1. Внутреннее устройство первых IDE-дисков

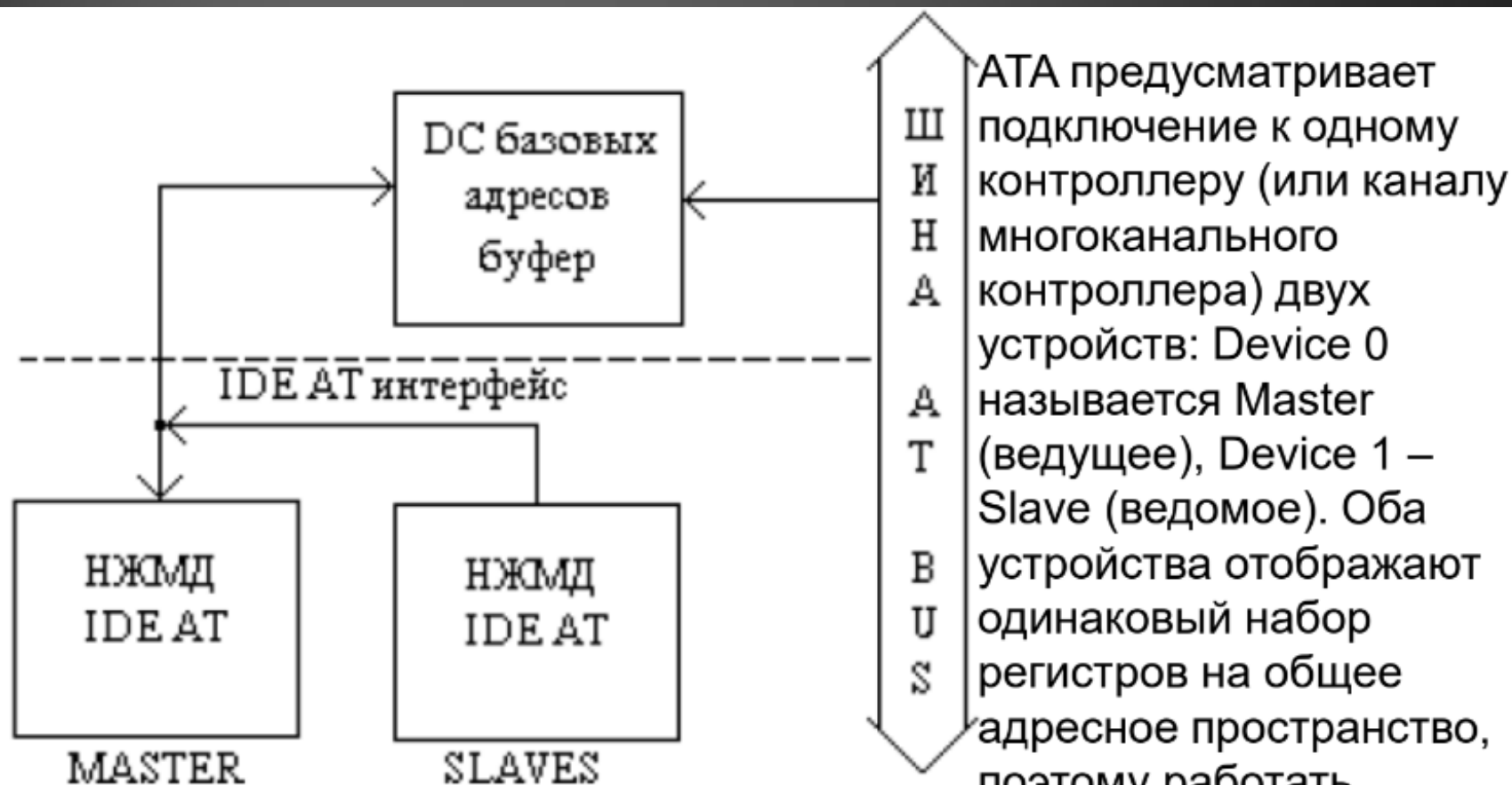
IDE - Integrated Drive Electronics

Интерфейс ATA рассчитан только на устройства дискового типа, поскольку использует адресацию по секторам.

Набор команд интерфейса ATA ориентирован на жесткие диски



# 1. Конфигурация АТА



Bus masters - это устройства, способные управлять работой шины, т.е. инициировать запись/чтение и т.д.

Bus slaves - соответственно, устройства, которые могут только отвечать на запросы

# 1. Электрический интерфейс АТА

Сигналы интерфейса АТА имеют уровни TTL (высокий уровень – от 2.4 до 5.5 В, низкий – от -0.5 до 0.8 В).

Стандартный двухрядный штырьковый разъем для настольных винчестеров имеет 40 контактов, плоский шлейф состоит из 40 проводников. Для применения режимов UltraDMA/66 и выше требуется шлейф с 80 проводниками (сигнальные линии отделены линиями «земли») с теми же 40-контактными разъемами. Питание – через отдельный 4-контактный разъем (GND, +5, +12) от блока питания.

Разъем для мобильных винчестеров имеет 44 контакта, так как включает питание (+5, GND).

Длина кабеля ограничена величиной 0.46 м.

Кабель обычно содержит 3 разъема для подключения двух устройств с хост-контроллеру.



# 1. Принцип работы

Выбор ведущего устройства (Master) осуществляется либо перемычками на обоих устройствах, либо при помощи кабеля с 80 линиями. У такого кабеля на одном из разъемов (обычно среднем) контакт 28 не подключен, на остальных – соединен. Свой номер устройство проверяет по уровню на 28 контакте (у хоста он заземлен).

Для проверки наличия 80-жильного кабеля используется контакт 34, который в разьеме хост-контроллера не подключен (фактически соединяет два устройства).

Для правильного включения предусмотрена цветовая маркировка кабеля, а также отсутствующий контакт 20 (заделан в разьеме кабеля, в разьеме устройств не должно быть штырька). Применяется также иной ключ – выступ на разьеме кабеля (и прорезь в рамке разьема устройств), но этот способ не документирован и не рекомендуется.

На интерфейсе АТА базируются интерфейсы PC Card и CompactFlash, но у них свои форматы разъемов.

# 1. Сигналы

PIN	SIGNAL	I/O	Type		PIN	SIGNAL	I/O	Type
01	RESET-	I	TTL		02	GND		
03	DD7	I/O	3-state		04	DD08	I/O	3-state
05	DD6	I/O	3-state		06	DD09	I/O	3-state
07	DD5	I/O	3-state		08	DD10	I/O	3-state
09	DD4	I/O	3-state		10	DD11	I/O	3-state
11	DD3	I/O	3-state		12	DD12	I/O	3-state
13	DD2	I/O	3-state		14	DD13	I/O	3-state
15	DD1	I/O	3-state		16	DD14	I/O	3-state
17	DD0	I/O	3-state		18	DD15	I/O	3-state
19	GND				(20)	Key		
21	DMARQ	O	3-state		22	GND		
23	DIOW-(*)	I	TTL		24	GND		
25	DIOR-(*)	I	TTL		26	GND		
27	IORDY-(*)	O	3-state		28	CSEL	I	TTL
29	DMACK-	I	TTL		30	GND		
31	INTRQ	O	3-state		32			
33	DA1	I	TTL		34	PDIAG-	I/O	OC
35	DA0	I	TTL		36	DA02	I	TTL
37	CS0-	I	TTL		38	CS1-	I	TTL
39	DASP-	I/O	OD		40	GND		

# 1. Описание сигналов АТА

- DD00-DD15 – данные между хостом и винчестером
- DA00-DA02 – выбор регистра из блока (младшие линии шины адреса ISA).
- CS0# - выбор блока командных регистров (Command Block Registers), вырабатывается в зависимости от порта, к которому обращается хост.
- CS1# - выбор блока управляющих регистров (Control Block Registers).
- Reset# - аппаратный сброс устройства.
- DIOW# - строб записи в регистры устройства, фиксируется по положительному перепаду.
- DIOR# - строб чтения из регистров, фиксируется по положительному перепаду.
- INTRQ – запрос прерывания, вырабатывается устройством для сигнализации об очередном блоке данных (режим PIO) или об окончании обмена DMA (режим DMA).
- DASP# - используется как индикатор активности для работы соответствующего светодиода. Во время сброса с его помощью проверяется наличие устройства Slave.

# 1. Описание сигналов АТА

- PDIAG# - информация от устройства Slave устройству Master о прохождении диагностики. Master следит за сигналом во время сброса и команды самодиагностики, чтобы определить исправность Slave. Хост-контроллер сигнал не использует.
- CSEL – сигнал выбора Master/Slave. На хост-контроллере заземлен, на разъеме Master подключен, на Slave – нет. Устройство проверяет уровень и настраивается на работу как Master или Slave.
- IORDY – сигнал снимается устройством во время обмена данными для паузы (тактов ожидания), а потом поднимается при готовности.
- DMARQ – сигнал готовности устройства к обмену по протоколу DMA. В режимах MW и Ultra DMA удерживается на протяжении всего цикла.
- DMACK# - подтверждение готовности от хоста, без которого обмен DMA не начинается.

# 1. Режимы обмена данными

Существуют два базовых режима:

- программный доступ (PIO);
- прямой доступ к памяти (DMA).

Режим PIO характеризуется передачей или приемом данных через порты ввода-вывода с использованием команд процессора REP OUTS и REP INS. Пропускная способность интерфейса ATA в режиме PIO задается командой Set Features, подкомандой Set Transfer Mode.

Устройство намеренно «сдерживает» обмен по интерфейсу в соответствии с режимом PIO, выставляя такты задержки сигналом IORDY.

# 1. Протокол 1 и 2: PIO

Протокол PIO (Programmable Input/Output) заключается в следующих основных положениях (при работе без прерываний):

- Дождаться готовности устройства (BSY=0)
- Записать в DEV номер устройства на канале.
- Дождаться BSY=0, DRDY=1 считывая 1F7h или 3F6h (для первого канала).
- Записать в регистры остальные параметры.
- Записать в регистр команды код операции.
- Читать регистр статуса пока устройство не установит BSY=0.
- Дождаться готовности обмена данными (DRQ=1)
- Принять данные (или передать).

Протокол 1: PIO In

Протокол 2: PIO Out

# 1. Параметры режимов PIO

Режим	Длительность цикла, нс	Пропускная способность, Мб/с	Введен начиная с версии
<b>PIO Mode 0</b>	600	3,3	ATA-1
<b>PIO Mode 1</b>	383	5,2	ATA-1
<b>PIO Mode 2</b>	240	8,3	ATA-1
<b>PIO Mode 3</b>	180	11,1	ATA-2
<b>PIO Mode 4</b>	120	16,6	Fast ATA-2

# 1. Протокол 3: DMA

Протокол DMA (Direct Memory Access) заключается в следующих основных положениях:

- Дождаться обнуления бита BSY.
- Записать в регистр DH адрес головки и номер устройства (1 – Slave, 0 – Master).
- Дождаться обнуления бита DRQ.
- Заполнить остальные регистры нужными значениями.
- Инициализировать канал DMA (процедура зависит от типа хост-контроллера).
- Записать код команды в регистр CR.
- Дождаться прерывания от устройства.
- Сбросить канал DMA.
- Прочитать регистр SR, чтобы проверить ошибку и снять сигнал прерывания.



# 1. Режимы DMA и UDMA

Позволяют разгрузить процессор, так как вместо записи в регистры требуется только ожидать прерывание.

Режим Single Word требует выполнения процедуры обмена сигналами DMARQ и DMACK# для каждого передаваемого слова.

Режим Multi-Word DMA предполагает однократное выставление сигнала DMARQ и удержание его до конца передачи сектора или блока.

Режим Ultra DMA предполагает дополнительное стробирование от источника данных, остановку передачи по инициативе каждой из сторон, подсчет и проверку контрольной суммы данных всего цикла (коды CRC).

Для режимов Ultra DMA Mode 3 и выше требуется 80-жильный кабель.

# 1. Эволюция ATA. Версии интерфейса

Разработкой и стандартизацией интерфейса ATA/ATAPI (AT Attachment Packet Interface ) занималась рабочая группа T13 института INCITS, входящего в организацию ANSI.

Исходный стандарт ATA описывал 16-битный параллельный интерфейс с 40-контактными интерфейсными разъемами и поддержкой 2 винчестеров. Скорость обмена данными не превышала 8 Мб/с.

# 1. Эволюция интерфейса: ATA-2

## Fast ATA, E-IDE - Enhanced IDE

- До 4 устройств – 2 канала по 2 устройства;
- более производительные режимы обмена данными  
16.6 Мб/с, режимы PIO Mode 4 (Programmed I/O)  
16.6MB/s max. MW DMA Mode 2 (Multi-word DMA передача нескольких слов при одном захвате)
- использование IDE-накопителей емкостью свыше 504 Мбайт
- поддержка периферийных устройств, отличных от жестких дисков

Своей популярностью IDE-накопители во многом обязаны так называемой прозрачности (для установки устройства не требуется специального программного драйвера, поскольку оно определено и поддерживается на уровне системной BIOS и интерфейса IDE).

# 1. Эволюция интерфейса: ATA-3

- SMART; **Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology**
- Пароли и безопасность;
- APM - Advanced Power Management: : винчестер имеет встроенные средства управления энергопотреблением, что позволяет сделать систему более экономичной и, в некоторых случаях, повысить надежность винта (за счет меньшего тепловыделения и парковки головок);
- Другие дополнения протокола.

# 1. Эволюция интерфейса: АТА/АТАРІ-4

- Пакетный протокол АТАРІ (ATA Packet Interface) - стандарт, созданный для возможности подключения CD-ROM к стандартному разъему АТА, что упростило подключение CD-ROM и позволило снизить их стоимость.
- Режимы Ultra DMA Mode 0, 1 и 2 (33 Мбайт/с)
- Защита передаваемых данных кодами CRC(Cyclical Redundancy Check - циклический контроль с избыточным кодом)
- НРА (защищенная область данных) позволяют ограничить количество доступных секторов. Данная возможность получила название НРА (Host Protected Area) и предназначалась для создания защищенной области данных, доступной только операционной системе. К сожалению, данная возможность не реализована ни одним из разработчиков операционных систем.

# 1. Эволюция интерфейса: ATA/ATAPI-4

- "Enhanced security erase" (улучшенное уничтожение информации)
- APM (расширенное энергосбережение)
- перекрытие команд Перекрытие команд позволяет жесткому диску освободить шину до завершения выполнения команды, чтобы второй жесткий диск, находящийся на той же самой шине, мог получить команду или передать/получить данные. Поддержка перекрытия команд, впервые появившаяся в версии ATA/ATAPI-4, позволяет эффективно распараллеливать работу жестких дисков, находящихся на одной шине данных.
- оптимизация очереди команд (TCQ) - минимизация перемещений магнитной головки при выполнении всех команд, находящихся в очереди на выполнение, т.к. именно поиск дорожки и ожидание сектора являются наиболее длительными фазами операций чтения/записи данных (Оптимизация времени позиционирования. Оптимизация времени доступа)
- Удалены устаревшие команды - "Format track", "Read/Write long", "Write verify".

# 1. Эволюция интерфейса: АТАРІ-5, АТАРІ-6

## АТА/АТАРІ-5

- Удаление устаревших команд и битов;
- Новые режимы защиты и управления;
- Режимы Ultra DMA Mode 3 (44 Мбайт/с) и Ultra DMA-4 (66 Мбайт/с).
- 80-жильный кабель.

## АТА/АТАРІ-6

- Режим Ultra DMA Mode 5 (128 Мб / с.);
- ААМ- Automatic Acoustic Management (управление уровнем шума);
- А/V Streaming Command Set. – поддержка аудио-видеопотоков (увеличен объем информации, переданной за одну команду с 131 Кб до 33 Мб)
- протокол Ultra DMA-5 (100 Мбайт/с)
- расширенные журналы SMART
- удаление адресации CHS.

# 1. Эволюция интерфейса: ATAPI-7

- Режим Ultra DMA Mode 6 (133 Мбайт/с)
- Обновление команд Streaming;
- Последовательный интерфейс Serial ATA включен в документацию в качестве второго варианта физической/электрической реализации.
- расширенные режимы самотестирования SMART (Selective, Conveyance), поддержка расширенных журналов SMART



# 1. Эволюция интерфейса: ATAPI-8

- аппаратное шифрование (Trusted Computing feature)
- датчик свободного падения (Free-fall Control)
- проверка чтением после записи (Write-Read-Verify feature), дополнительный протокол управления параметрами жесткого диска и чтения расширенной информации (SCT Command Transport)
- флэш память с возможностью управления ее энергосбережением (NV Cache, NV Cache Power Mode)
- номинальная скорость вращения двигателя (Nominal media rotation rate)
- время раскрутки магнитных пластин до номинальной скорости (Time to Spin Up in Seconds)
- команда - WRITE UNCORRECTABLE EXT.

# 1. Интерфейс АТАРІ

Благодаря своей универсальности, отсутствию привязки к конструктивным особенностям жесткого диска, возможности расширения набора команд интерфейс АТА фактически применяется для подключения любых устройств хранения данных во внутреннем исполнении.

Даже ориентация на «трехмерную» (CHS) геометрию жестких дисков было отменено с введением адресации LBA.

Впрочем, некоторые устройства требуют использования иной адресации и могут реализовывать некоторые неспецифичные для жестких дисков функции.

**АТАРІ** – расширение интерфейса АТА, фактически это метод передачи команд SCSI по интерфейсу АТА. Реализуется посредством команд чтения/записи пакетов данных, сформированных в соответствии с форматом SCSI.

**АТАРІ** – расширение универсальное, но в основном используется для оптических накопителей.

# 1. Дополнительные функции ATA: SMART

**SMART** – Self Monitoring, Analysis & Reporting Technology, система мониторинга состояния винчестера. Специальные алгоритмы отслеживают состояние различных подсистем жесткого диска и предлагают прогноз его работоспособности. Цель SMART – заблаговременно предупредить пользователя о возможном выходе из строя.

SMART выполняет самотестирование, отслеживает определенные события (ошибки секторов и интерфейса, переименование секторов, сбои запуска двигателя и т.д.), подсчитывает параметры работы (суммарное время работы, скорость запуска двигателя, температура и т.д.).

Результаты работы SMART представлены в виде значений атрибутов – критичных для надежности параметров.

# 1. Дополнительные функции ATA: Security

Винчестер поддерживает режим блокировки с помощью пароля. Обычно поддержка ввода пароля возлагается на BIOS.

Доступны следующие функции:

- Set Password – сохранение пароля (до 32 символов) и установка режима секретности. Предусмотрены два пароля – User и Master, и два режима – High и Maximum.
- Disable Password – снятие блокировки (отмена защиты).
- Unlock – передача пароля на проверку, разблокировка.
- Erase Unit – стереть всю информацию, аналогично форматированию.

# 1. Дополнительные функции АТА: НРА

Host Protected Area – специальная зона в конце диска, не доступная обычными операциями чтения. ПО может устанавливать максимальное количество доступных секторов, которое сохраняется между перезагрузками. Если установить доступное количество секторов менее существующих, то часть диска будет недоступна, сформируется защищенная зона – НРА.

В НРА можно сохранять различную информацию, напр., образ системного диска, дампы памяти, копию BIOS и т.п.

Чтобы прочитать НРА, требуется установить изначальное число секторов на диске той же командой. Узнать эту величину можно из паспорта диска.

# 1. Дополнительные функции АТА: NV Cache

Специально для поддержки гибридных винчестеров в архитектурную модель АТА были добавлены команды управления энергонезависимым кэшем (Non-volatile cache).

Гибридный диск представляет собой классический винчестер с дополнительным буфером flash-памяти.

Основное назначение flash-памяти:

- Хранение часто используемых файлов операционной системы.
- Хранение файлов, используемых при загрузке операционной системы.
- Хранение hibernate pool – файла содержимого памяти и др. ресурсов операционной системы.

Буфер flash предназначен для хоста, конкретнее – для операционной системы и BIOS. Не использованная емкость доступна контроллеру винчестера как обычный кэш.

NV Cache позволяет экономить энергию за счет остановки двигателя, а также начала загрузки ОС (выхода из Hibernate) без его запуска при старте компьютера.

# 1. Архитектура шин Ultra ATA

## Конструкция шины

Последняя модификация интерфейса ATA/ATAPI-6 с технологией Ultra ATA

100% совместима со всеми предыдущими версиями ATA благодаря использованию стандартной 16-разрядной параллельной информационной шины и 40-контактного разъема, пропускающего 16 командных сигналов.

# 1. Пропускная способность шины Ultra ATA

При наличии 16-разрядной информационной шины за одну транзакцию передается два байта данных. Таким образом, для того чтобы пропускная способность составляла 100 МБ/с, информационная шина должна работать с частотой 50 МГц.

При DMA используется двусторонний механизм подачи импульсов, или «удвоенная скорость передачи данных» (данные регистрируются как на переднем, так и на заднем фронте строба данных, вследствие чего вдвое уменьшается частота строб-импульса)

Таким образом, пропускная способность составляет:

$$\begin{aligned} & \text{частота строб-импульса } 25\text{МГц} \times 2 \times 16 \\ & \text{бит/фронт} \div 8 \text{ бит/байт} = 100 \text{ МБ/с} \end{aligned}$$



# 1. Параметры режимов DMA/Ultra DMA

Режим	Длительность цикла, нс	Пропускная способность, Мб/с	Введен
SW DMA Mode 0	960	2	ATA
SW DMA Mode 1	480	4,16	ATA
SW DMA Mode 2	240	8,33	ATA
MW DMA Mode 0	480	4,16	ATA
MW DMA Mode 1	150	13,3	ATA-2
MW DMA Mode 2	120	16,6	Fast ATA-2
UDMA Mode 0	120	16,6	ATA/ATAPI-4
UDMA Mode 1	80	25	ATA/ATAPI-4
UDMA Mode 2	60	33	ATA/ATAPI-4
UDMA Mode 3	45	44,4	ATA/ATAPI-5
UDMA Mode 4	30	66,6	ATA/ATAPI-5
UDMA Mode 5	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>ATA/ATAPI-6</b>
UDMA Mode 6	15	133,3	ATA/ATAPI-7

# 1. Контроллер PCI IDE

С разработкой шины PCI возникла необходимость стандартизации контроллера с поддержкой интерфейса ATA, который подключен к PCI и позволяет использовать Bus Mastering вместо ISA-ориентированного механизма DMA.

PCI не предоставляет возможности прямого доступа к памяти с использованием централизованного контроллера в стиле 8237A (как шина ISA). Для разгрузки центрального процессора от рутинных перекачек данных предлагается прямое управление шиной со стороны устройств, называемых ведущими устройствами, или мастерами, шипы (PCI Bus Master).

Спецификация Standard PCI IDE Controller касается не интерфейса ATA, а интерфейса программирования DMA-обменов с жестким диском по ATA. Плюс предлагается метод перемещения базового адреса регистров в пространстве портов в-в, как того требует PCI.

Если устройство поддерживает стандартный интерфейс программирования PCI IDE, то оно имеет код класса 01:01:80. Причем в его ProgID (третий байт) содержится информация о поддержке функций PCI IDE для первого и второго каналов интерфейса ATA.

## 2. Serial ATA. Основное назначение

**Интерфейс SATA (Serial ATA)** - последовательный интерфейс обмена данными с накопителями информации. SATA является развитием параллельного интерфейса ATA (IDE).

**Версии:** 2001г. – SATA I; 2004г. – SATA II; 2008г. – SATA III.

**Основное назначение:** подключение жестких дисков, дисководов на оптических дисках, магнитных лентах.

Появился на невозможности увеличении пропускной способности параллельной шины:

- повышение скорости передачи
- удешевление и улучшение кабелей и коннекторов
- обеспечение выделенного интерфейса для каждого устройства
- создание более компактных устройств
- упрощение процессов конфигурирования
- переход от ОШ к подключению «точка-точка».

## 2. SATA vs. ATA

**SATA сохраняет:**

- регистровую модель ATA.
- передачу в режимах PIO, DMA.
- систему команд ATA версии 5.

**Новое:**

- ввод нового режима FPDMA.
- поддержка более эффективных команд.

## 2. Serial ATA – расширение ATA

Интерфейс Serial ATA был предложен отдельной группой разработчиков – SATA IO.

**Serial ATA – это последовательный (serial) вариант реализации транспортного уровня интерфейса ATA.** Разделение интерфейса ATA на уровни произошло начиная с версии ATA/ATAPI-7.

Интерфейс стал более быстродействующим за счет последовательного перемещения данных по более тонкому и гибкому кабелю.

Сохранена полная совместимость с ATA на уровне архитектуры, регистровой модели и протоколов.

Иной способ обмена данными и содержимым регистров.

## 2. Внешнее отличие дисков



## 2. Версии интерфейса Serial ATA

Serial ATA Specification 1.0. SATA-150 (SATA-I). Передача данных 1.5 Гбит/с в том или другом направлении (Gen1 signaling speed). Новый PHY-интерфейс (PHY - Physical layer protocol - уровень физического интерфейса).

SATA-300 (SATA-2). Передача данных на скорости 3 Гбит/с. Он был реализован еще до появления официального стандарта, и ему было присвоено ошибочное название SATA-II. Строго говоря, поддержка PHY Gen2 (3 Гбит/с) обязательна для устройств, соответствующих Specification 2.5. Дальнейшие доработки выявленных нюансов привели к появлению версии Specification 2.6.

SATA-600 (SATA-3). Поддержка PHY Gen3 (6 Гбит/с) обязательна для устройств, соответствующих Serial ATA Specification 3.0. Данная версия спецификации вышла в июле 2008 года.

## 2. Более высокая скорость

Первая версия стандарта (известная также как SATA 1.5 Gbit/s) позволяет передавать данные на скорости до 150 Мбайт/с.

**Куда делись 42 Мбайт/с, ведь 1.5 Гбит/с — это 192 Мбайт/с?**

SATA поддерживает кодирование по алгоритму 8b10b, которое забирает 20% канала.

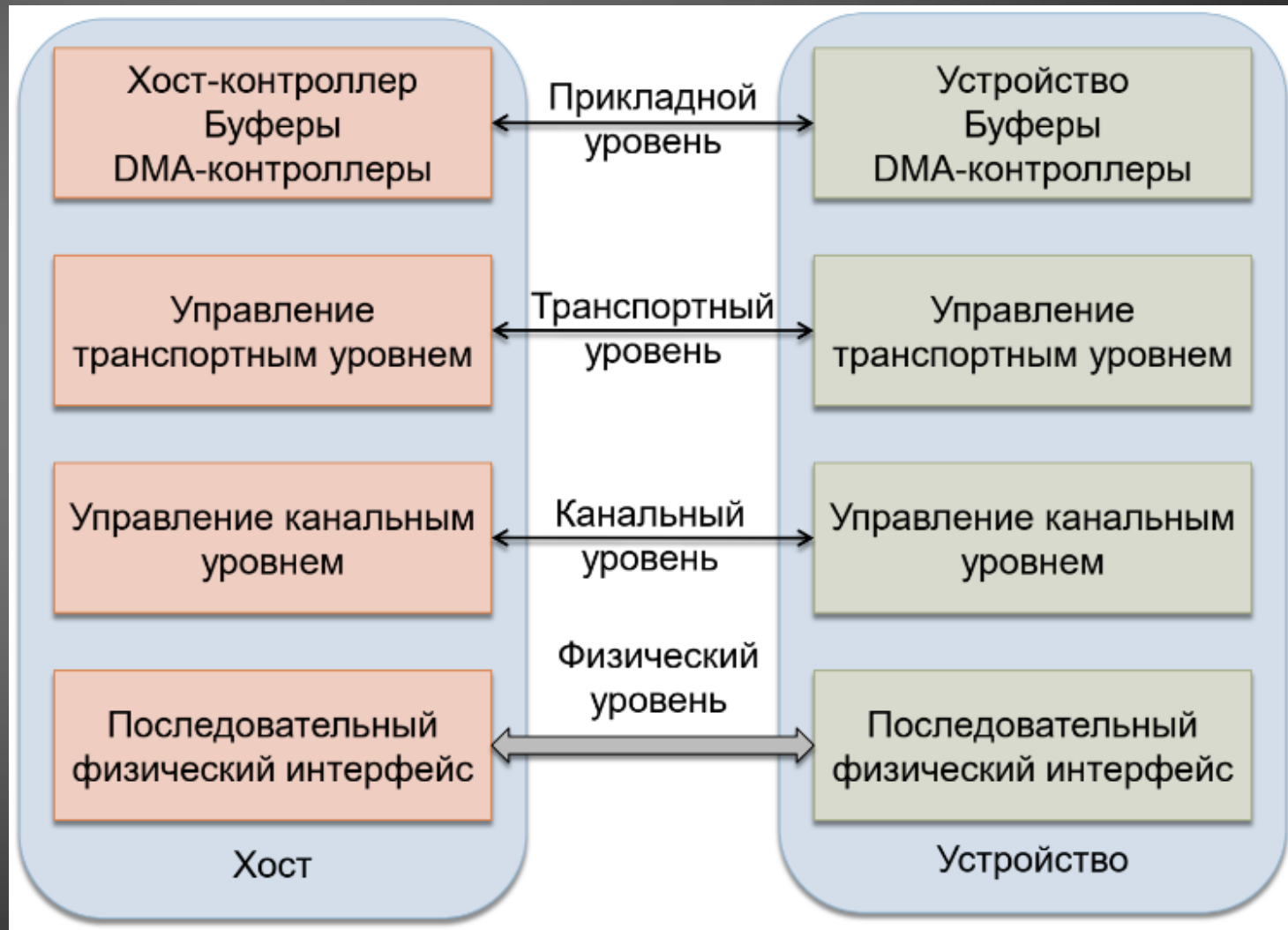
*Буквально через пару лет после выхода первых версий SerialATA стали говорить о подготовке и внедрении SATA2 (известный также как SATA II и SATA 3 Gbit/s). Его главное достоинство... конечно же вдвое выросшая скорость передачи данных. Теперь она составила 3 Гбит/с или 300 Мбайт/с (если учесть затраты на кодирование), вплотную приблизившись к UltraSCSI 320.*



## 2. Более высокая скорость

- Еще одна новая возможность SerialATA II — поддержка **подключения более одного устройства к одному порту SATA**. Делается это через специальные **расширители портов**. А теперь давайте считать. Что будет если подключить допустим четыре самых быстрых HDD к одному разъему SATA через расширитель? - Выходим за рамки возможностей SATA2 (по скорости). Выход из этой ситуации очевиден — подготовка более быстрого стандарта. Следующим в планах стоит SATA 6 Gbit/s с максимальной скоростью обмена данными 600 Мбайт/с.
- Для подключения устройств используется специальный 7-контактный кабель. Четыре контакта передают информацию, остальные служат для заземления. Максимальная длина кабеля — 1 метр. Для Parallel ATA это значение составляло 45 см, хотя некоторые выпускали 90 см шлейфы.
- Еще одно отличие SATA от PATA — напряжение, необходимое для передачи данных. Чтобы снизить шумы и наводки в широких шлейфах PATA используется напряжение 5 В. Для SATA этот показатель в десять раз меньше — 0.5 В. Из этого следует, что последние должны потреблять меньше энергии, но это не совсем так. Контроллеры SATA требуют высокой скорости для декодирования данных, что перекрывает плюсы меньшего напряжения.
- Сменился и разъем питания. Стандарт SATA предусматривает специальный 15-контактный разъем вместо четырехконтактного Molex. Девять из пятнадцати контактов используются для подведения трех напряжений: 3.3 В, 5.0 В и 12.0 В. При этом каждый контакт обеспечивает силу тока до 1.5 А.

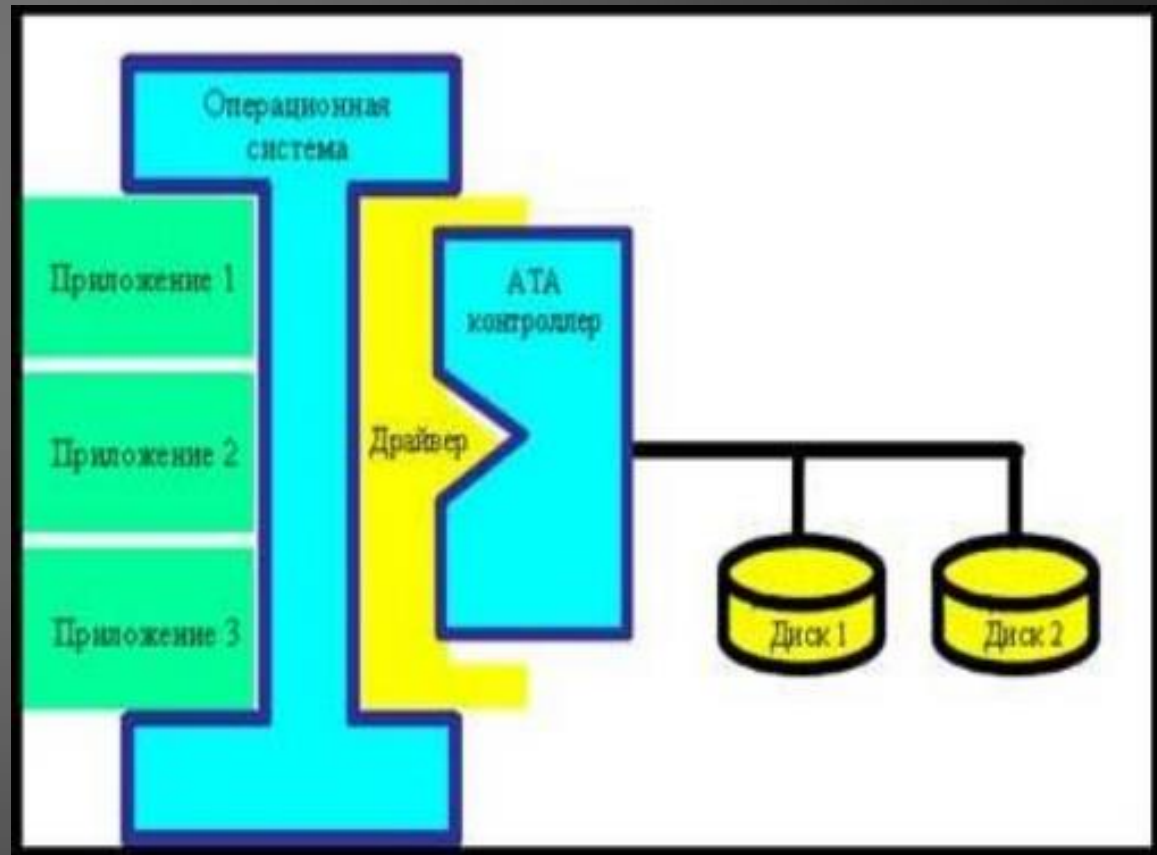
## 2. Уровневая модель SATA



## 2. Различие на уровне подключения

В (параллельном) ATA два устройства объединяются кабелем в цепочку и подключаются к одному порту контроллера.

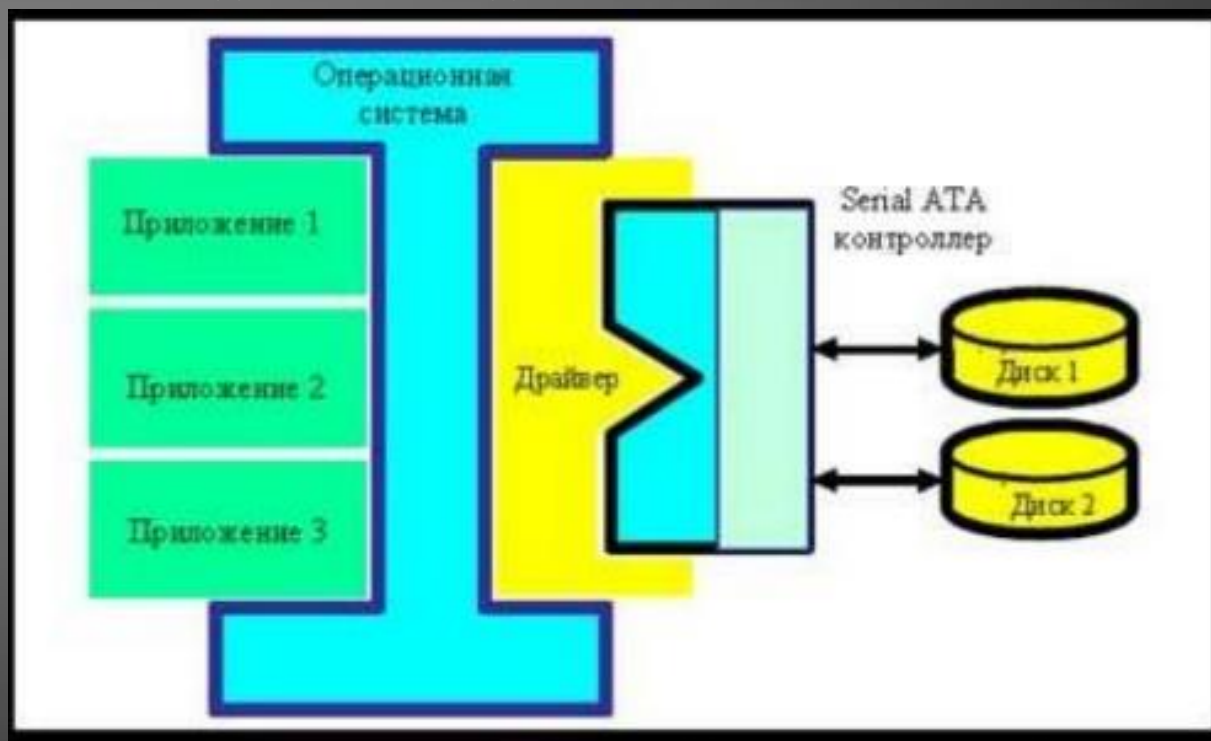
Взаимодействие приложения и устройства происходит через ОС и драйвер контроллера.



## 2. Различие на уровне подключения

В (последовательном) **SATA** функционирование приложений, ОС и драйверов осталось без изменений. Интерфейс между контроллером нового стандарта и драйвером (левая часть блока "контроллер") остался прежним: новый Serial ATA полностью эмулирует Parallel ATA: использует для обмена те же регистры и команды.

Изменилось лишь взаимодействие между ним и непосредственно дисками. Видно также, что для подключения тех же двух устройств контроллер уже имеет два порта, и каждый накопитель подключается отдельным кабелем.



## 2. Эмуляция Parallel ATA

Контроллер Serial ATA полностью эмулирует работу стандартного контроллера ATA и стандартного PCI IDE для обеспечения совместимости с ПО. По умолчанию каждое подключенное устройство считается Master-устройством на отдельном канале.

Контроллер содержит «теневые» (Shadow) регистры, по назначению совпадающие с регистрами контроллера жесткого диска. Обращение к ним контроллер оформляет в виде FIS и отправляет устройству.

Возможен также режим Legacy, когда каждое устройство становится либо Master, либо Slave, и подключается либо к первому, либо ко второму каналу. В таком случае контроллер обязан поддерживать два набора теневых регистров и отслеживать, к какому из устройств выполняется обращение.

## 2. Уровни передачи данных

- Данные передаются кадрами, транспортный уровень формирует и проверяет корректность информационных структур кадров (Frame Information Structure, FIS - пакет данных интерфейса).
- Для облегчения высокоскоростной передачи на канальном уровне данные кодируются по схеме 8B/10B (8 бит данных кодируются 10-битным символом) и скремблируются, после чего по физической линии передаются по простейшему методу NRZ (уровень сигнала соответствует передаваемому биту).
- Между канальным и прикладным уровнем имеется транспортный уровень, отвечающий за доставку кадров. На каждом уровне имеются свои средства контроля достоверности и целостности.

## 2. Теневые регистры

Регистры, расположенные в устройствах SATA, имеют свои так называемые теневые образы в хост-контроллере:

- программное взаимодействие (чтение и запись) осуществляется с теневыми регистрами;
- связь теневых регистров с регистрами устройств обеспечивается кадрами, передаваемыми по последовательному интерфейсу SATA.

Каждое устройство, подключенное к адаптеру Serial ATA, представляется тремя блоками регистров: управляющих, командных и SCR.

## 2. Физический уровень

Обеспечивает соединение хост-контроллера и устройств по топологии «звезда». Данные передаются со скоростью 1.5, 3 или 6 Гбит/с (в зависимости от возможностей хоста и устройств) в формате NRZ по двум дифференциальным парам в обоих направлениях. Номинал напряжения – 250 мВ. Кабель плоский, 7 линий, с печатными контактами разной длины (для «горячего» подключения). Длина кабеля – не более 1 м.

**Код без возвращения к нулю - Non Return to Zero (NRZ)** представляет собой обычную двоичную последовательность.

- код в формате NRZ представляет собой последовательность однополярных импульсов со скважностью  $q=1$ .
- дифференциальный NRZ – состояние меняется в начале битового интервала для “1” и не меняется при “0”



## 2. Физический уровень – дифференциальная пара

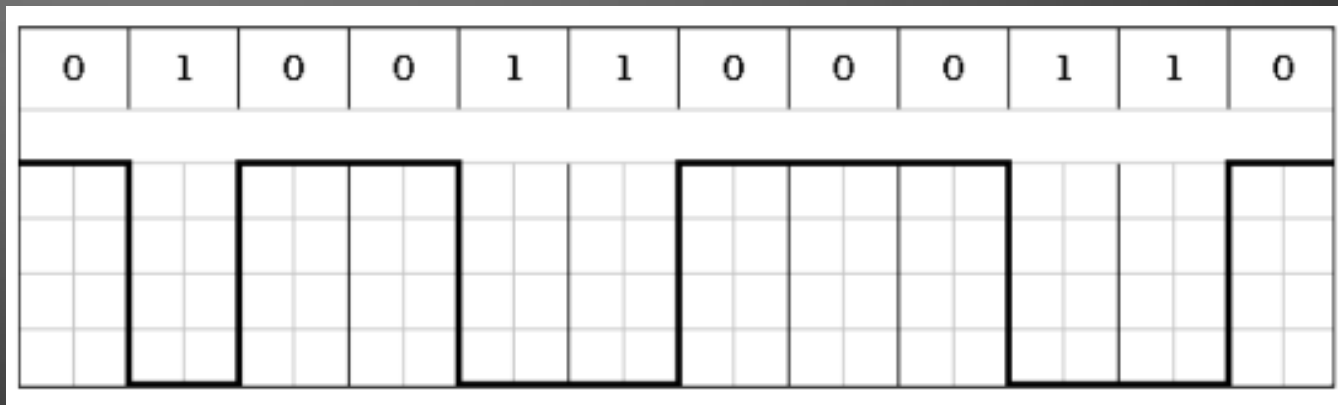
В этой схеме применяется сбалансированная пара проводов, по каждому из которых подается напряжение, равное  $\pm 0,25$  В. Сигналы посылаются дифференцированно: если по одному проводу пары передается напряжение  $+0,25$  В, то по другому соответственно  $-0,25$  В. Таким образом, разность напряжений постоянно составляет  $0,5$  В. Это означает, что передаваемые сигналы всегда находятся в противофазе в смежных проводах.

Дифференцированная передача минимизирует электромагнитное излучение и позволяет упростить чтение сигналов на принимающем конце.

## 2. Физический уровень

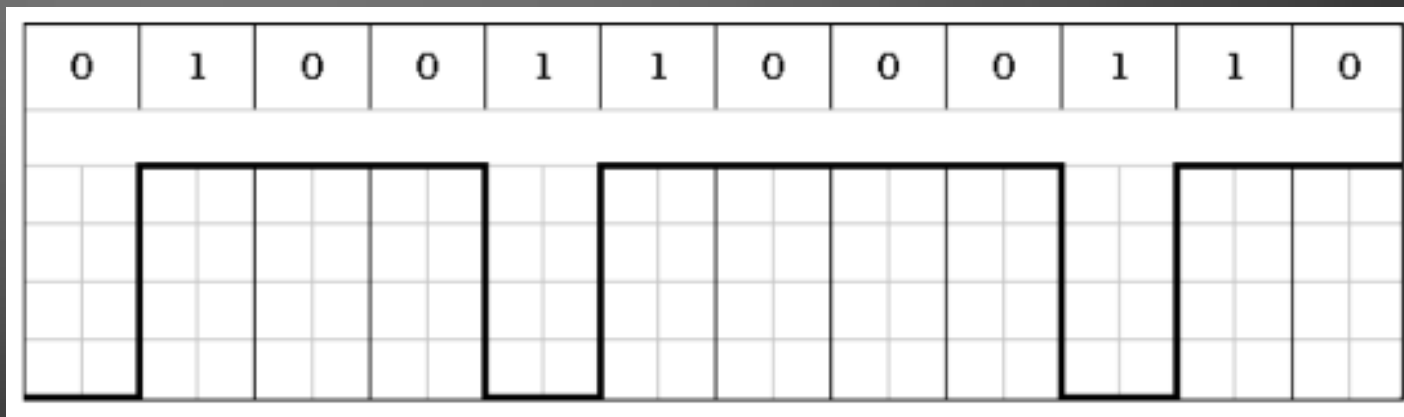
### Без возврата к нулю

- Потенциальное кодирование, также называется кодированием без возвращения к нулю (NRZ). При передаче нуля он передает потенциал, который был установлен на предыдущем такте (то есть не меняет его), а при передаче единицы потенциал инвертируется на противоположный. Этот код называется потенциальным кодом с инверсией при единице (NRZI). Он удобен в тех случаях, когда наличие третьего уровня сигнала весьма нежелательно, например в оптических кабелях, где устройство распознаются только два сигнала — свет и темнота.



## 2. Потенциальный код NRZI

При передаче последовательности единиц, сигнал, в отличие от других методов кодирования, не возвращается к нулю в течение такта. То есть смена сигнала происходит при передаче единицы, а передача нуля не приводит к изменению напряжения.



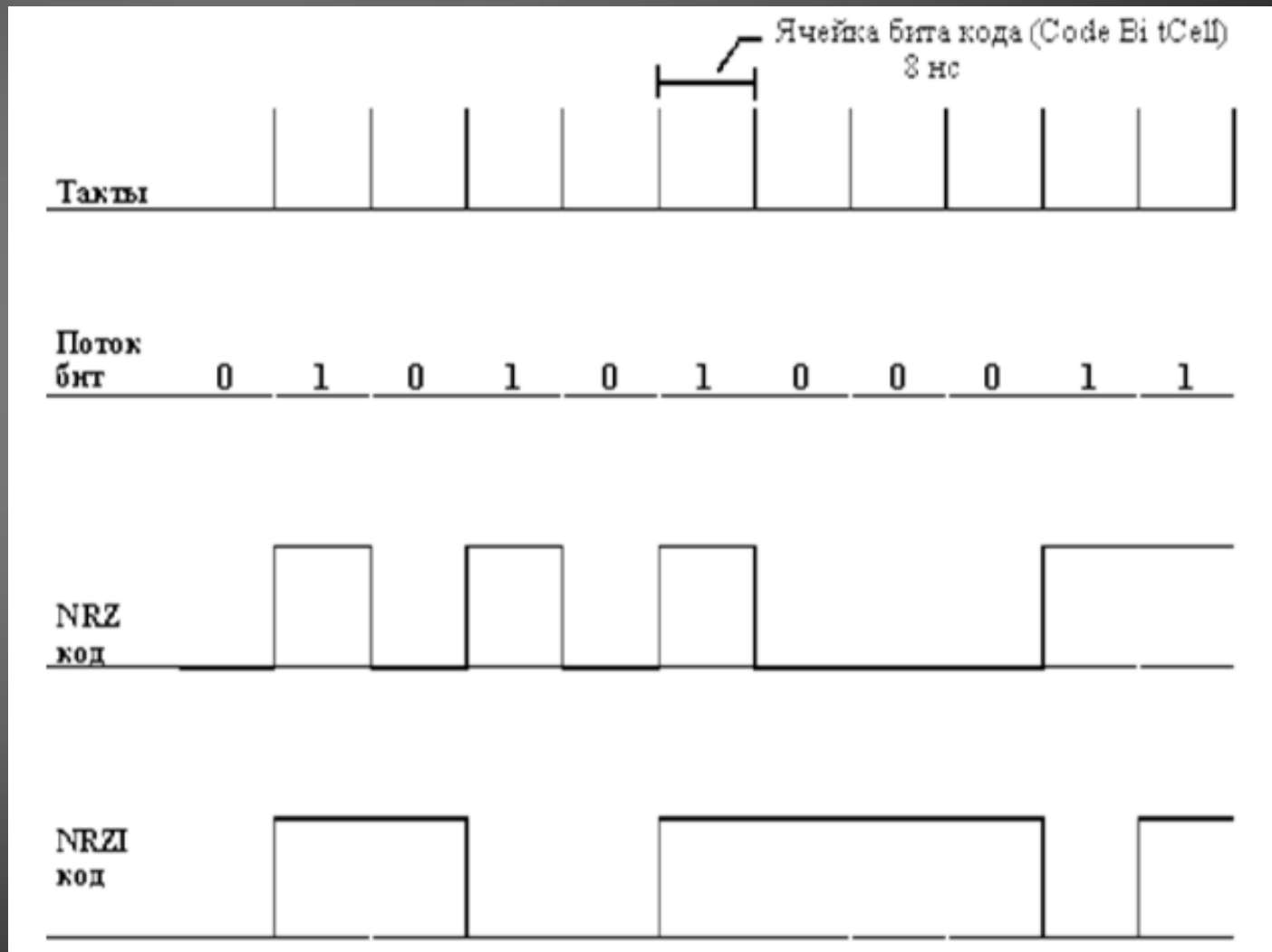
## 2. Физический уровень

Физический интерфейс обеспечивает детектирование наличия устройств, калибровку, согласование скоростей, передачу сигналов управления питанием, «горячее» подключение/отключение и т.п.

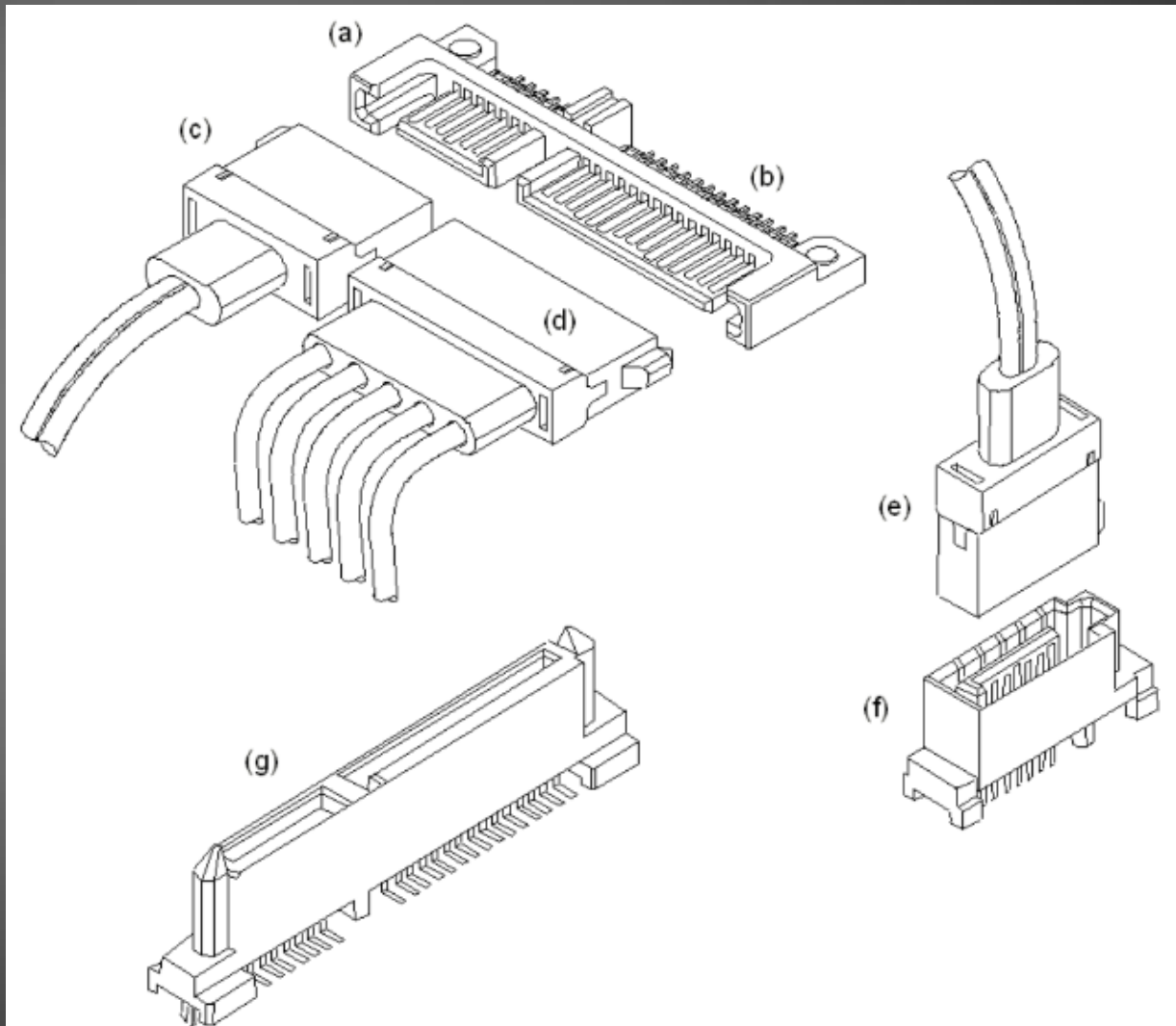
Топология «многоярусная звезда» обеспечивается за счет применения умножителей портов (Port Multipliers). Возможна и обратная топология, когда к одному устройству подключается несколько хостов – через селектор порта (Port Selector).

Применение концентраторов (*умножителей портов*).

## 2. Сравнение кодирования NRZ и NRZI



## 2. Внутренние разъемы Serial ATA



## 2. Разъемы и контакты

Serial ATA описывает сигнальные разъемы как на устройстве, так и на контроллере (системной плате), а также разъем питания на устройстве.

Сигнальный разъем имеет 7 контактов – две дифференциальные пары (A+/A- и B+/B-) и 3 контакта заземления.

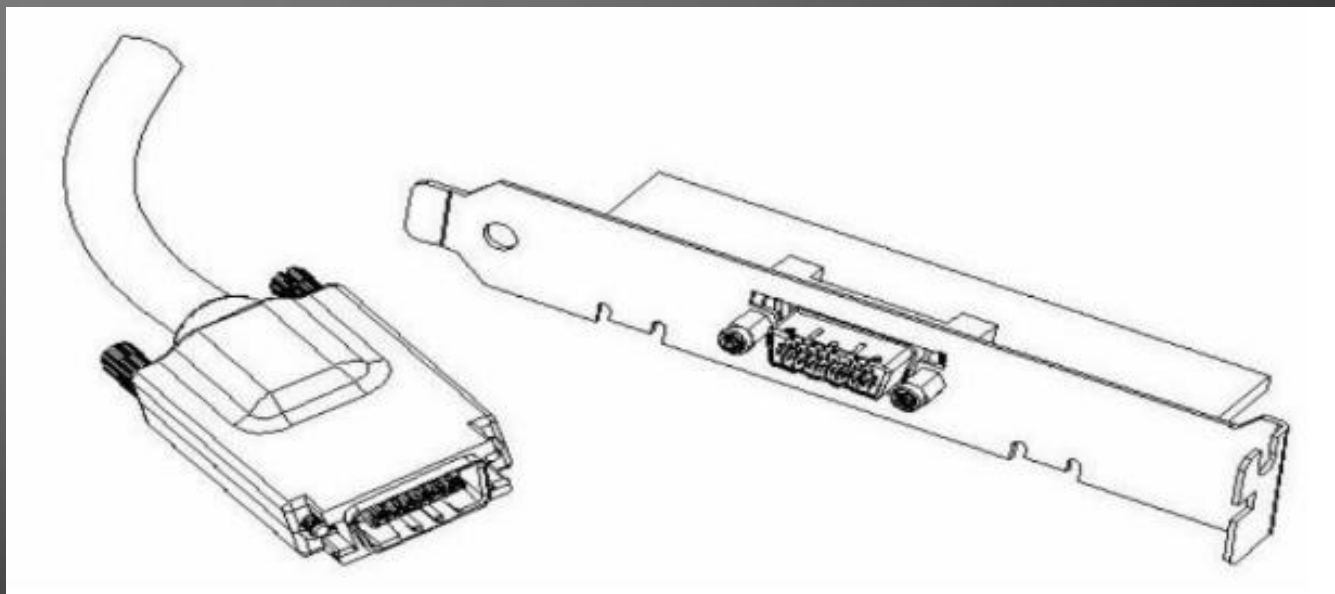
Разъем питания содержит по три контакта питания с напряжениями +3.3V, +5V и +12V, а также 6 контактов заземления.

Устройство может подключаться как с помощью кабелей, так и «встык» (обычно в ноутбуках).

Форма разъемов защищает от неправильного подключения. Разъемы могут содержать защелки для фиксации (поскольку они не обеспечивают достаточно прочного соединения), но это не обязательно.

## 2. Другие варианты подключений

Стандарт Serial ATA описывает и другие варианты подключений помимо «точка-точка». Начиная с версии 2.6, описаны варианты разъемов для внешнего и внутреннего подключения устройств, подключения панелей с портами, соединения нескольких систем между собой. Разъемы могут быть рассчитаны на одну, две и четыре линии интерфейса Serial ATA.





## 2. Канальный (Link) уровень

Назначение канального уровня:

- Кодирование 8b/10b
- Формирование кадра из пакетов транспортного уровня
- Посылка и прием подтверждения встречным каналом
- Подсчет и проверка CRC
- Информирование транспортного уровня об ошибках передачи по каналу или физических ошибках
- Скрэмблирование для снижения уровня электромагнитного излучения (ЭМИ)

Данные транспортного уровня кодируются по схеме 8b/10b для ограничения непрерывных последовательностей «0» и «1», а также обеспечения возможности передачи служебных символов (т.н. примитивов).

Единица передачи информации – 32 бита (DWORD).

## 2. Канальный (Link) уровень

- *Уровень 2: канальный* - формирование кадров, управление доступом к среде.
- Канальный уровень формирует из данных, передаваемых 1-м уровнем, так называемые "кадры" последовательности кадров. На этом уровне осуществляются управление доступом к передающей среде, используемой несколькими ЭВМ, синхронизация, обнаружение и исправление ошибок.

## 2. Типы FIS

FIS может быть 3 типов:

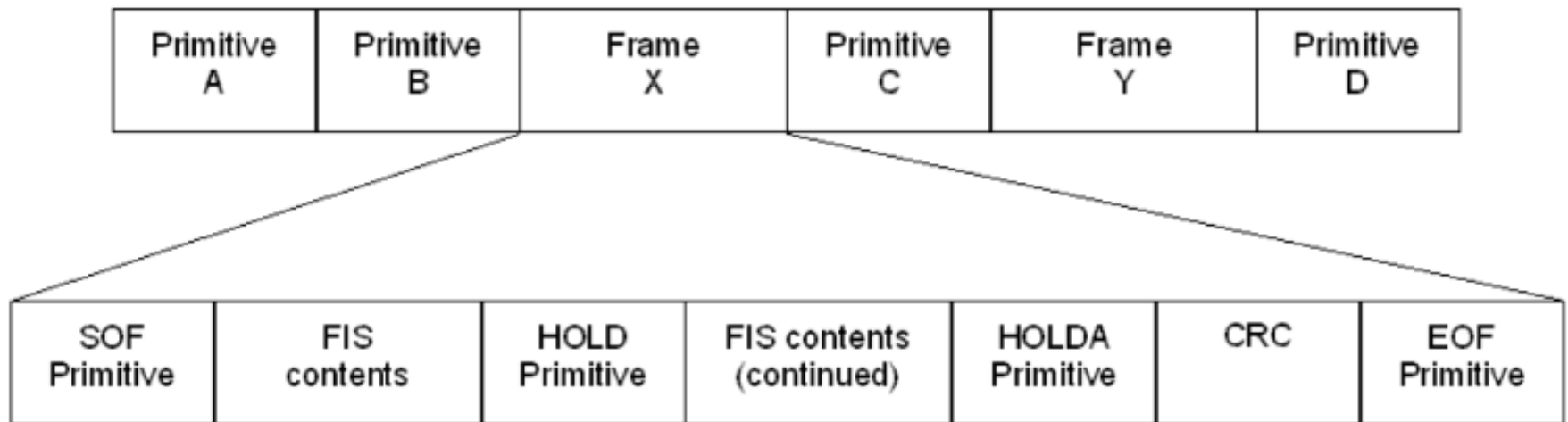
- передача содержимого регистров
- выбор режима PIO или DMA. **FIS DMA Setup** содержит **id буфера, направление, число байт для передачи.**
- передача данных. Заголовок + блок данных (от 1 до 2048 двойных слов).

## 2. Кадр канального уровня

Полезная информация транспортного уровня оформляется в кадры.

Кадр состоит из примитивов заголовка (SOF, Start-Of-Frame), конца кадра (EOF, End-Of-Frame) и контрольной суммы (CRC), а также полезного содержимого – Frame Information Structure (FIS).

При необходимости кадр может разрываться примитивами HOLD (пауза) и HOLDA (ответ на паузу).



## 2. Управление примитивами

- IDLE – SYNC – для поддержания шины в состоянии покоя
- Align – выравнивание (синхронизация при установленной связи)
- X\_RDY – намерение установить передачу (связь)
- R\_RDY – устройство готово начать передачу.



## 2. Управление примитивами

- Внеполосные сигналы OOB: (out of band)
- COM INIT, COM RESET, COM WAKE – это пачка из 160 примитивов Align.
- Для передачи этих сигналов не требуется Sync/Align. Отличаются зазорами между пачками Align. С их помощью происходит установка связи и определение скорости работы.

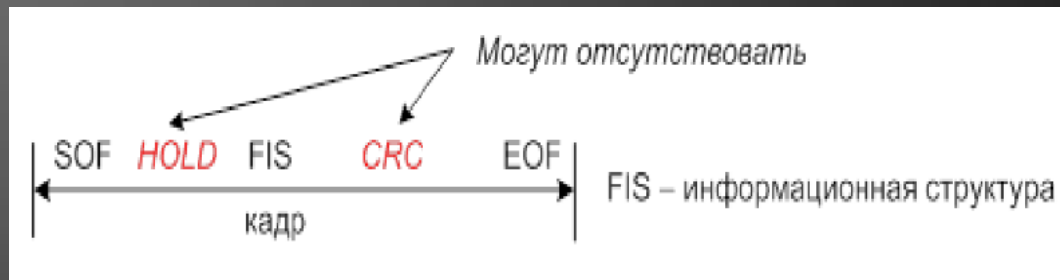
## 2. Транспортный уровень

Не участвует в обработке команд, отвечает за обмен данными между хостом (памятью системы) и устройством.

Информация оформляется в виде FIS-пакетов различного типа и длины – в зависимости от типа операции.

Поддерживаются следующие типы FIS:

- Запись в регистры устройства (обычно – команда).
- Запись в теневые регистры контроллера (обычно – ответ на команду).
- Изменения состояния устройства.
- Инициализация DMA.
- Инициализация PIO.
- Самодиагностика.
- Обмен данными.



## 2. Дополнительные регистры Serial ATA

Помимо двух блоков регистров ATA, интерфейс Serial ATA предусматривает наличие еще трех регистров для каждого из поддерживаемых устройств.

Регистры находятся в перемещаемом пространстве портов или памяти (при отображении на память).

*SStatus*:

- Состояние устройства (Active, Partial, Slumber).
- Выбранная скорость передачи (Gen 1, Gen 2, Gen 3,...).
- Состояние физического канала (нет устройства, связь имеется, идет диагностика, связь не установлена).

*SError* - наличие ошибки: CRC, 8b/10b, протокола, исправленной ошибки данных и т.п.

*SControl* – те же поля, что и у *SStatus*, только для управления состоянием и скоростью соединения.



## 2. External SATA

Специальное расширение стандарта создано для обеспечения подключения внешних устройств.

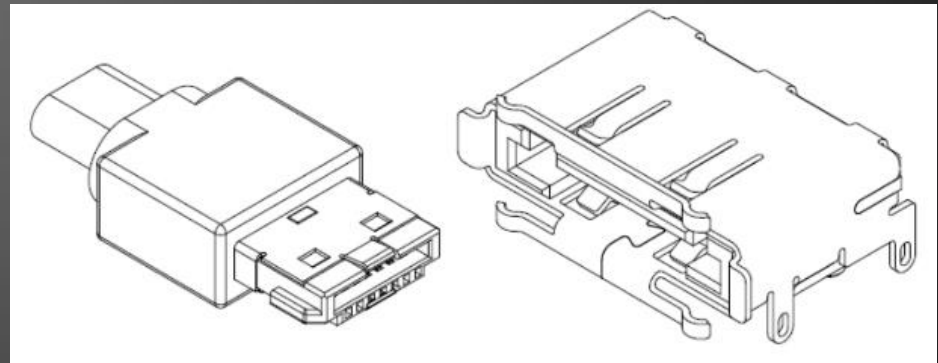
На всех уровнях, кроме физического, не отличается от обычного Serial ATA, чем обеспечивается прозрачность для контроллеров и ПО.

Электрический интерфейс имеет несколько иные характеристики для обеспечения надежной передачи данных (больше допуски, строже требования и т.д.).

Кабель External SATA имеет обязательное экранирование, его длина может достигать 2 м.

Разъем External SATA имеет иную форму, без Г-образного ключа, и защелки для фиксации.

Число и назначение контактов аналогичное.



## 2. Умножители портов

Применяются, когда необходимо подключить несколько устройств к одному порту контроллера.

Устройства могут работать попеременно, но им предоставляется вся ширина канала (разделение во времени).

Умножитель портов (Port Multiplier) обеспечивает коммутацию порта контроллера и выбранного устройства, анализируя биты номера порта, имеющиеся во всех исходящих FIS.

По результатам анализа активности портов умножитель выстраивает запросы и ответы в очередь и заполняет входящие FIS, выставляя в них номер порта, из которого пришли данные.

Для индикации номера порта предусмотрены 4 бита. Устройство с номером 16 – это сам умножитель, у которого имеется набор регистров управления.

## 2. Умножители портов

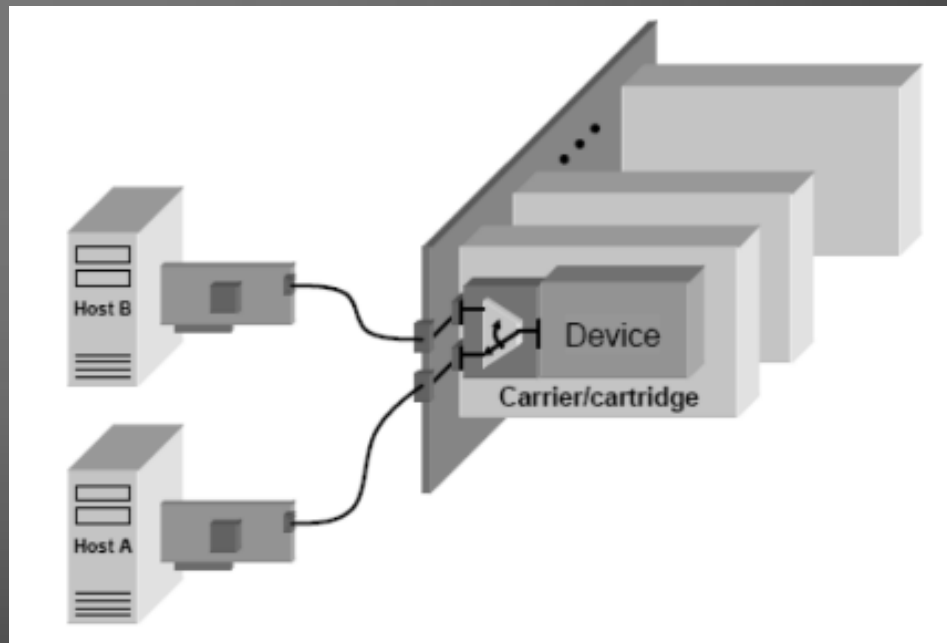
В SATA-II вводится абстрактное понятие концентратора — средства подключения к хосту множества устройств SATA. У концентратора имеется хост-интерфейс и ряд портов SATA для подключения устройств. Типы хост-интерфейса разнообразны — PCI/PCI-X/PCI Express, Advanced Switching, InfiniBand, Ethernet (iSCSI), Fibre Channel, Serial ATA... Концентратор может являться просто мостом, RAID-контроллером, коммутатором или мультиплексором портов. Хост-контроллер, подключенный к шине PCI или интегрированный в чипсет системной платы, также является концентратором (мостом между PCI и SATA).

## 2. Пример системы хранения данных



## 2. Селектор порта

Для обеспечения избыточности подключения можно использовать селектор – устройство, позволяющее подключать несколько портов к одному устройству. Селектор выбирает в качестве активного один порт – тот, который подал сигнал COMRESET. Выбор порта можно делать и аппаратно, но это уже не выходит за рамки протокола Serial ATA.



## 2. Staggered Spin-up

В Serial ATA получилось легко реализовать механизм последовательного запуска двигателей винчестеров, что важно в тех случаях, когда их в системе много, и одновременный старт приводит к тому, что блок питания не может выдать требуемый номинал тока.

Винчестер, поддерживающий staggered spin-up, не должен запускать двигатель до тех пор, пока порт, к которому он подключен, не перейдет в состояние active.

Следовательно, контроллер может проверить состояние и количество устройств, но запускать их двигатели с выдерживанием необходимой паузы.

Обычно функцию Staggered Spin-up можно отключить конфигурационной перемычкой, потому что в обычных системах она не нужна (и может не поддерживаться).

## 2. Новый вариант режима DMA

First Party DMA. Не просто DMA, а устройство указывает положение буфера данных в оперативной памяти. Это очень удобно при работе с очередями команд: для этого введен 5-разрядный тэг команды.

## 2. Технология изменения очередности команд

Используется технология NCQ (Native Command Queuing):

- 5 раз повернуть головку диска (без NCQ)
- Если выстроить в ряд 15423 по местоположению, то можно прочитать за один оборот диска (с технологией NCQ)

NCQ позволяет повысить производительность диска и уменьшить его физический износ.





## 2. Native Command Queuing

Особый алгоритм организации очередей из команд, позволяющий перераспределять команды с целью увеличения пропускной способности и тем самым достигать максимально возможной производительности.

Все запросы от процессора выстраиваются в очередность из 32 команд, затем контроллер SATA-устройства вычисляет точную очередность их выполнения, исходя из того, где размещены данные на диске.

Такая оптимизация позволяет обработать большее количество запросов за меньшее время, используя команды прямого доступа к памяти (FPDMA). Кроме того, т.к. механика жесткого диска эксплуатируется заметно ниже, то и само устройство прослужит намного дольше.

## 2. Native Command Queuing

По умолчанию команды, поданные устройству, выполняются сразу же. Это не позволяет проводить оптимизацию команд, которая важна для устройств с механическим позиционером.

В режиме NCQ бит Busy интерфейса ATA только отвечает за подачу команды, но не выполнение. Устройство накапливает до 32 команд, располагает их в таком порядке, чтобы минимизировать перемещение позиционера, и начинает выполнение.

Состояние конкретной команды можно проверить, запросив ее 32-битный дескриптор специальной командой.

Выполненные запросы помечаются тэгом, который входит в заголовок FIS.

Запросы с применением механизма NCQ имеют специальные коды команд, что позволяет смешивать обычные и NCQ-команды.

Поддержка NCQ реализована только в Serial ATA, начиная с версии 2.5.

## 2. Перспективы интерфейса

- Возможность применения концентраторов **умножения портов**
- External Sata (eSATA, xSATA) – подключение дисков вне корпуса компьютера. Переход на кабели до 2 метров. SATA предлагает более производительную альтернативу таким внешним интерфейсам, как USB и FireWire.
- xSATA – расширенная версия .xSATA позволяет использовать кабель длиной до 8 метров вместо двух. Технология уже интегрируется в современные материнские платы для настольных систем.

