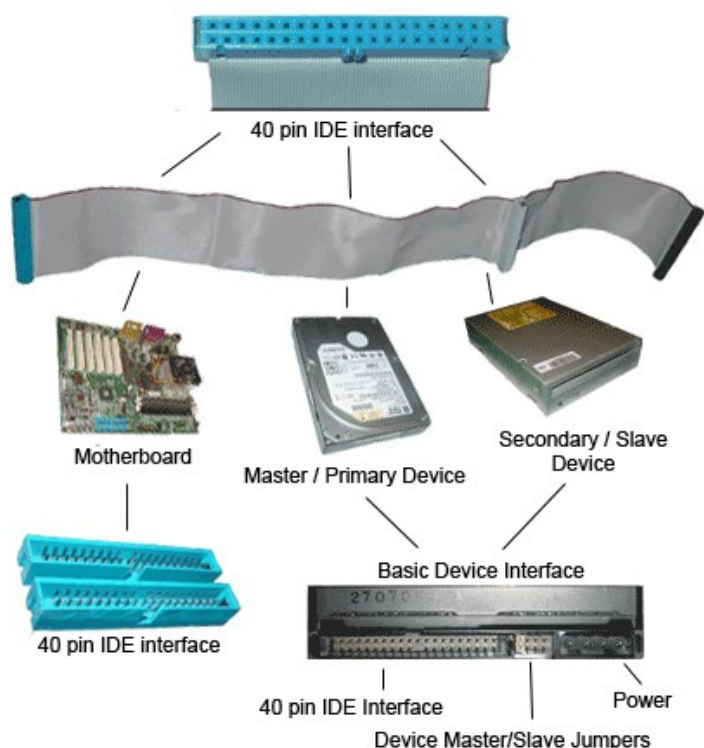


## Интерфейсы дисковых накопителей.

**ATA** (*IDE integrated Drive Electronics* — «электроника, встроенная в привод»)

ATA (*Advanced Technology Attachment*) - параллельный интерфейс подключения накопителей (жёстких дисков и оптических приводов) к компьютеру. В 90-е годы XX века был стандартом на платформе IBM PC; в настоящее время вытесняется своим последователем - SATA. Разные версии ATA известны под синонимами IDE, EIDE, UDMA, ATAPI; с появлением SATA также получил название PATA (*Parallel ATA*).

Поначалу этот интерфейс использовался с жёсткими дисками, но затем стандарт был расширен для работы и с другими устройствами, в основном - использующими сменные носители. К числу таких устройств относятся приводы CD-ROM и DVD-ROM, ленточные накопители и пр.



Первоначальная версия стандарта была разработана в 1986 году фирмой Western Digital и по маркетинговым соображениям получила название IDE (англ. *Integrated Drive Electronics* — «электроника, встроенная в привод»). Оно подчеркивало важное нововведение: контроллер привода располагается в нём самом, а не в виде отдельной платы расширения, как в предшествующем стандарте ST-506 и существовавших тогда интерфейсах SCSI и ST-412. Это позволило улучшить характеристики накопителей (за счёт меньшего расстояния до контроллера), упростить управление им (так как контроллер канала IDE абстрагировался от деталей работы привода) и удешевить производство (контроллер привода мог быть рассчитан только на «свой» привод, а не на все возможные; контроллер канала же вообще становился стандартным). Следует отметить, что контроллер канала IDE правильнее называть хост-адаптером, поскольку он перешёл от прямого управления приводом к обмену данными с ним по протоколу.

В стандарте ATA определён интерфейс между контроллером и накопителем, а также передаваемые по нему команды.

Интерфейс имеет 8 регистров, занимающих 8 адресов в пространстве ввода-вывода. Ширина шины данных составляет 16 бит. Количество каналов, присутствующих в системе, может быть больше 2. Главное, чтобы адреса каналов не пересекались с адресами других устройств ввода-вывода. К каждому каналу можно подключить 2 устройства (master и slave), но в каждый момент времени может работать лишь одно устройство.

Принцип адресации CHS заложен в названии. Сперва блок головок устанавливается позиционером на требуемую дорожку (Cylinder), после этого выбирается требуемая головка (Head), а затем считывается информация из требуемого сектора (Sector).

Стандарт EIDE (англ. Enhanced IDE — «расширенный IDE»), появившийся вслед за IDE, позволял использование приводов ёмкостью, превышающей 528 Мб (504 МиБ), вплоть до 8,4 Гб. Хотя эти аббревиатуры возникли как торговые, а не официальные названия стандарта, термины IDE и EIDE часто употребляются вместо термина ATA. После введения в 2003 году стандарта Serial ATA («последовательный ATA») традиционный ATA стали именовать IDE (ATA), имея в виду способ передачи данных по параллельному 40- или 80-жильному кабелю.

Другим важным этапом в развитии ATA стал переход от PIO (англ. Programmed input/output — программный ввод-вывод) к DMA (англ. Direct memory access — прямой доступ к памяти). При использовании PIO считыванием данных с диска управлял центральный процессор компьютера, что приводило к повышенной нагрузке на процессор и замедлению работы в целом. По причине этого компьютеры, использовавшие интерфейс ATA, обычно выполняли операции, связанные с диском, медленнее, чем компьютеры, использовавшие SCSI и другие интерфейсы. Введение DMA существенно снизило затраты процессорного времени на операции с диском.

В данной технологии потоком данных управляет сам накопитель, считывая данные в память или из памяти почти без участия процессора, который выдаёт лишь команды на выполнение того или иного действия. При этом жёсткий диск выдаёт сигнал запроса DMARQ на операцию DMA контроллеру. Если операция DMA возможна, контроллер выдаёт сигнал DMACK, и жёсткий диск начинает выдавать данные в 1-й регистр (DATA), с которого контроллер считывает данные в память без участия процессора.

Операция DMA возможна, если режим поддерживается одновременно BIOS, контроллером и операционной системой, в противном случае возможен лишь режим PIO.

В дальнейшем развитии стандарта (ATA-3) был введён дополнительный режим UltraDMA 2 (UDMA 33).

Этот режим имеет временные характеристики DMA Mode 2, однако данные передаются и по переднему, и по заднему фронту сигнала DIOR/DIOW. Это вдвое увеличивает скорость передачи данных по интерфейсу. Также введена проверка на чётность CRC, что повышает надёжность передачи информации.

В истории развития ATA был ряд барьеров, связанных с организацией доступа к данным. Большинство из этих барьеров, благодаря современным системам адресации и технике программирования, были преодолены. К их числу относятся ограничения на максимальный размер диска в 504 МиБ, около 8 ГиБ, около 32 ГиБ, и 128 ГиБ. Существовали и другие барьеры, в основном связанные с драйверами устройств, и организацией ввода-вывода в операционных системах, не соответствующих стандартам ATA.

Оригинальная спецификация ATA предусматривала 28-битный режим адресации. Это позволяло адресовать 228 (268 435 456) секторов по 512 байт каждый, что давало максимальную ёмкость в 137 Гб (128 ГиБ). В стандартных PC BIOS поддерживал до 7,88 ГиБ (8,46 Гб), допуская максимум 1024 цилиндра, 256 головок и 63 сектора. Это ограничение на число цилиндров/головок/секторов CHS (Cylinder-Head-Sector) в сочетании со стандартом IDE привело к ограничению адресуемого пространства в 504 МиБ (528 Мб). Для преодоления этого ограничения была введена схема адресации LBA (Logical Block Address), что позволило адресовать до 7,88 ГиБ. Со временем и это ограничение было снято, что позволило адресовать сначала 32 ГиБ, а затем и все 128 ГиБ, используя все 28 разрядов (в ATA-4) для адресации сектора. Запись 28-битного числа организована путём записи его частей в соответствующие регистры накопителя (с 1 по 8 бит в 4-й регистр, 9-16 в 5-й, 17-24 в 6-й и 25-28 в 7-й).

Адресация регистров организована при помощи трёх адресных линий DA0-DA2. Первый регистр с адресом 0 является 16-разрядным и используется для передачи данных между диском и контроллером. Остальные регистры 8-битные и используются для управления.

Новейшие спецификации ATA предполагают 48-битную адресацию, расширяя таким образом возможный предел до 128 ПиБ (144 петабайт).

Для подключения жёстких дисков с интерфейсом ide обычно используется 40-проводный кабель (именуемый также шлейфом). Каждый шлейф обычно имеет два или три разъёма, один из которых подключается к разъёму контроллера на материнской плате (в более старых компьютерах этот контроллер размещался на отдельной плате расширения), а один или два других подключаются к дискам. В один момент времени шлейф P-ATA передаёт 16 бит данных. Иногда встречаются шлейфы IDE, позволяющие подключение трёх дисков к одному IDE каналу, но в этом случае один из дисков работает в режиме read-only.

Разводка Parallel ATA

Контакт	Назначение	Контакт	Назначение
1	Reset	2	Ground
3	Data 7	4	Data 8
5	Data 6	6	Data 9
7	Data 5	8	Data 10
9	Data 4	10	Data 11
11	Data 3	12	Data 12
13	Data 2	14	Data 13
15	Data 1	16	Data 14
17	Data 0	18	Data 15
19	Ground	20	Key
21	DDRQ	22	Ground
23	I/O Write	24	Ground
25	I/O Read	26	Ground
27	IOC HRDY	28	Cable Select
29	DDACK	30	Ground
31	IRQ	32	No Connect
33	Addr 1	34	GPIO_DMA66_Detect
35	Addr 0	36	Addr 2
37	Chip Select 1P	38	Chip Select 3P
39	Activity	40	Ground

Долгое время шлейф ATA содержал 40 проводников, но с введением режима Ultra DMA/66 (UDMA4) появилась его 80-проводная версия. Все дополнительные проводники — это проводники заземления, чередующиеся с информационными проводниками. Таким образом вместо семи проводников заземления их стало 47. Такое чередование проводников уменьшает ёмкостную связь между ними, тем самым сокращая взаимные наводки. Ёмкостная связь является проблемой при высоких скоростях передачи, поэтому данное нововведение было необходимо для обеспечения нормальной работы установленной спецификацией UDMA4 скорости передачи 66 МБ/с (мегабайт в секунду). Более быстрые режимы UDMA5 и UDMA6 также требуют 80-проводного кабеля.

Хотя число проводников удвоилось, число контактов осталось прежним, как и внешний вид разъёмов. Внутренняя же разводка, конечно, другая. Разъёмы для 80-проводного кабеля должны присоединять большое число проводников заземления к небольшому числу контактов заземления, в то время как в 40-проводном кабеле проводники

присоединяются каждый к своему контакту. У 80-проводных кабелей разъёмы обычно имеют различную расцветку (синий, серый и чёрный), в отличие от 40-проводных, где обычно все разъёмы одного цвета (чаще чёрные).

Стандарт ATA всегда устанавливал максимальную длину кабеля равной 45,7 см (18 дюймов). Это ограничение затрудняет присоединение устройств в больших корпусах, или подключение нескольких приводов к одному компьютеру, и почти полностью исключает возможность использования дисков *ide* в качестве внешних дисков. Хотя в продаже широко распространены кабели большей длины, следует иметь в виду, что они не соответствуют стандарту. То же самое можно сказать и по поводу «круглых» кабелей, которые также широко распространены. Стандарт ATA описывает только плоские кабели с конкретными характеристиками полного и ёмкостного сопротивлений. Это, конечно, не означает, что другие кабели не будут работать, но, в любом случае, к использованию нестандартных кабелей следует относиться с осторожностью.

Если к одному шлейфу подключены два устройства, одно из них обычно называется ведущим (англ. *master*), а другое — ведомым (англ. *slave*). Обычно ведущее устройство идёт перед ведомым в списке дисков, перечисляемых BIOS'ом компьютера или операционной системы. В старых BIOS'ах (486 и раньше) диски часто неверно обозначались буквами: «С» для ведущего диска и «D» для ведомого.

Если на шлейфе только один привод, он в большинстве случаев должен быть сконфигурирован как ведущий. Некоторые диски (в частности, производства Western Digital) имеют специальную настройку, именуемую *single* (то есть «один диск на кабеле»). Впрочем, в большинстве случаев единственный привод на кабеле может работать и как ведомый (такое часто встречается при подключении CD-ROM'а на отдельный канал).

Настройка, именуемая *cable select* (то есть «выбор, определяемый кабелем», кабельная выборка), была описана как опциональная в спецификации ATA-1 и стала широко распространена начиная с ATA-5, поскольку исключает необходимость переставлять перемычки на дисках при любых переподключениях. Если привод установлен в режим *cable select*, он автоматически устанавливается как ведущий или ведомый в зависимости от своего местоположения на шлейфе. Для обеспечения возможности определения этого местоположения шлейф должен быть с кабельной выборкой. У такого шлейфа контакт 28 (CSEL) не подключен к одному из разъёмов (серого цвета, обычно средний). Контроллер заземляет этот контакт. Если привод видит, что контакт заземлён (то есть на нём логический 0), он устанавливается как ведущий, в противном случае (высокоимпедансное состояние) — как ведомый.

Во времена использования 40-проводных кабелей широко распространилась практика осуществлять установку *cable select* путём простого перерезания проводника 28 между двумя разъёмами, подключавшимися к дискам. При этом ведомый привод оказывался на конце кабеля, а ведущий — в середине. Такое размещение в поздних версиях спецификации было даже стандартизировано. Когда на кабеле размещается только одно устройство, такое размещение приводит к появлению ненужного куска кабеля на конце, что нежелательно — как из соображений удобства, так и по физическим параметрам: этот кусок приводит к отражению сигнала, особенно на высоких частотах.

80-проводные кабели, введённые для UDMA4, лишены указанных недостатков. Теперь ведущее устройство всегда находится в конце шлейфа, так что, если подключено только одно устройство, не получается этого ненужного куска кабеля. Кабельная же выборка у них «заводская» — сделанная в самом разъёме просто путём исключения данного контакта. Поскольку для 80-проводных шлейфов в любом случае требовались собственные разъёмы, повсеместное внедрение этого не составило больших проблем.

Стандарт также требует использования разъёмов разных цветов, для более простой идентификации их как производителем, так и сборщиком. Синий разъём предназначен для подключения к контроллеру, чёрный — к ведущему устройству, серый — к ведомому.

Термины «ведущий» и «ведомый» были заимствованы из промышленной электроники (где указанный принцип широко используется при взаимодействии узлов и устройств), но в данном случае являются некорректными, и потому не используются в текущей версии стандарта ATA. Более правильно называть ведущий и ведомый диски соответственно device 0 (устройство 0) и device 1 (устройство 1). Существует распространённый миф, что ведущий диск руководит доступом дисков к каналу. На самом деле управление доступом дисков и очерёдностью выполнения команд осуществляет контроллер (которым, в свою очередь, управляет драйвер операционной системы). То есть фактически оба устройства являются ведомыми по отношению к контроллеру.

## SCSI

SCSI (англ. Small Computer System Interface) — представляет собой набор стандартов для физического подключения и передачи данных между компьютерами и периферийными устройствами. SCSI-стандарты определяют команды, протоколы и электрические и оптические интерфейсы. Разработан для объединения на одной шине различных по своему назначению устройств, таких, как жёсткие диски, накопители на магнитооптических дисках, приводы CD, DVD, стримеры, сканеры, принтеры и т. д. Раньше имел неофициальное название Shugart Computer Systems Interface в честь создателя Алана Ф. Шугарта, разработанный в 1978 г. и опубликованный в 1981 году. Теоретически возможен выпуск устройства любого типа на шине SCSI.

После стандартизации в 1986 году SCSI начал широко применяться в компьютерах Sun Microsystems. В компьютерах, совместимых с IBM PC, SCSI не пользуется такой популярностью в связи со своей сложностью и сравнительно высокой стоимостью и применяется преимущественно в серверах.

SCSI широко применяется на серверах, высокопроизводительных рабочих станциях; RAID-массивы на серверах часто строятся на жёстких дисках со SCSI-интерфейсом (однако в серверах нижнего ценового диапазона всё чаще применяются RAID-массивы на основе SATA). В настоящее время устройства на шине SAS постепенно вытесняют устаревшую шину SCSI.

Система команд SCSI на уровне программного обеспечения употребляется в единых стеках поддержки устройств хранения данных в ряде операционных систем, таких, как Microsoft Windows.

Существует реализация системы команд SCSI поверх оборудования (контроллеров и кабелей) IDE/ATA/SATA, называемая ATAPI — ATA Packet Interface. Все используемые в компьютерной технике подключаемые по IDE/ATA/SATA приводы CD/DVD/Blu-Ray используют эту технологию.

Также система команд SCSI реализована поверх протокола USB, что является частью спецификации класса Mass Storage device. Это позволяет подключать через интерфейс USB любые хранилища данных (от флеш-накопителей до внешних жёстких дисков), не разрабатывая для них собственного протокола обмена, а вместо этого используя имеющийся в операционной системе драйвер SCSI.

## Стандарты

Современная модель стандартов SCSI, устанавливаемая комитетом T10 (ANSI), определяет

- архитектуру SCSI (документ SAM — SCSI Architecture Model);
- основные требования к протоколу, основные команды (SPC — SCSI Primary Commands);
- структуры типа развернутой информации об ошибке;
- виды участников:
  1. инициаторы
  2. устройства прямого доступа
  3. устройства последовательного доступа
  4. устройства автоматизированного управления и прочие;
- наборы команд для видов участников (например, SBC — SCSI Block Commands, MMC)
- виды транспорта (SAS, iSCSI, традиционный параллельный SCSI, Fibre Channel...).

Наиболее современным транспортом для физического подключения является Serial Attached SCSI (SAS). Для передачи команд протокола SCSI по IP-сетям используется сетевой протокол iSCSI, утверждённый IETF как стандартный в 2003 году.

Параллельный интерфейс SCSI является исторически первым и самым известным. Существует три стандарта электрической организации параллельного интерфейса SCSI:

SE (англ. single-ended) — асимметричный SCSI, для передачи каждого сигнала используется отдельный проводник.

LVD (англ. low-voltage-differential) — интерфейс дифференциальной шины низкого напряжения, сигналы положительной и отрицательной полярности идут по разным физическим проводам — витой паре. На один сигнал приходится по одной витой паре проводников. Используемое напряжение при передаче сигналов  $\pm 1,8$  В.

HVD (англ. high-voltage-differential) — интерфейс дифференциальной шины высокого напряжения, отличается от LVD повышенным напряжением и специальными приёмопередатчиками.

Основные реализации параллельного интерфейса SCSI (в хронологическом порядке):

Наименование	Разрядность шины	Частота шины	Пропускная способность	Максимальная длина кабеля	Максимальное количество устройств
SCSI	8 бит	5 МГц	5 Мбайт/сек	6 м (25 м с HVD)	8
Fast SCSI	8 бит	10 МГц	10 Мбайт/сек	3 м (25 м с HVD)	8
Wide SCSI	16 бит	10 МГц	20 Мбайт/сек	3 м (25 м с HVD)	16
Ultra SCSI	8 бит	20 МГц	20 Мбайт/сек	1,5—3 м (25 м с HVD)	4—8
Ultra Wide SCSI	16 бит	20 МГц	40 Мбайт/сек	1,5—3 м (25 м с HVD)	4—16

Ultra2 SCSI	8 бит	40 МГц	40 Мбайт/сек	12 м (25 м с HVD)	8
Ultra2 Wide SCSI	16 бит	40 МГц	80 Мбайт/сек	12 м (25 м с HVD)	16
Ultra3 SCSI	16 бит	40 МГц DDR	160 Мбайт/сек	12 м	16
Ultra-320 SCSI	16 бит	80 МГц DDR	320 Мбайт/сек	12 м	16
Ultra-640 SCSI	16 бит	160 МГц DDR	640 Мбайт/сек	10 м	16

### Протокол команд SCSI

В терминологии SCSI взаимодействие идёт между инициатором и целевым устройством. Инициатор посылает команду целевому устройству, которое затем отправляет ответ инициатору.

Команды SCSI посылаются в виде блоков описания команды (англ. Command Descriptor Block, CDB). Длина каждого блока может составлять 6, 10, 12, 16 или 32 байта. В последних версиях SCSI блок может иметь переменную длину. Блок состоит из однобайтового кода команды и параметров команды.

После получения команды целевое устройство возвращает значение 00h в случае успешного получения, 02h в случае ошибки или 08h в случае, если устройство занято. В случае, если устройство вернуло ошибку, инициатор обычно посылает команду запроса состояния. Устройство возвращает Key Code Qualifier (KCQ).

Все команды SCSI делятся на четыре категории: N (non-data), W (запись данных от инициатора целевым устройством), R (чтение данных) и V (двусторонний обмен данными). Всего существует порядка 60 различных команд SCSI, из которых наиболее часто используются:

Test unit ready — проверка готовности устройства, в том числе наличия диска в дисковом устройстве.

Inquiry — запрос основных характеристик устройства.

Send diagnostic — указание устройству провести самодиагностику и вернуть результат.

Request sense — возвращает код ошибки предыдущей команды.

Read capacity — возвращает ёмкость устройства.

Format Unit

Read (4 варианта) — чтение.

Write (4 варианта) — запись.

Write and verify — запись и проверка.

Mode select — установка параметров устройства.



Mode sense — возвращает текущие параметры устройства.

Каждое устройство на SCSI-шине имеет как минимум один номер логического устройства (LUN — англ. Logical Unit Number). В некоторых более сложных случаях одно физическое устройство может представляться набором LUN.

Для возможности работы нескольких независимых целевых устройств SCSI в UNIX-подобных операционных системах применяется адресация из произвольно назначаемого драйвером идентификатора целевого устройства (SCSI target id) и номера LUN, сконфигурированного на нём.

Для устройств типа приводов CD/DVD/Blu-Ray, в том числе их разновидностей с возможностью записи, разработан MMC — Multimedia Command Set. Некоторые приводы, например, производства Asus и Pioneer, используют конкурирующий стандарт Mt. Fuji, отличающийся от MMC в некоторых нюансах.

## Терминирование

Параллельные шины SCSI всегда должны терминироваться с обеих сторон для обеспечения нормального функционирования. Подавляющее большинство контроллеров и многие устройства имеют возможность автотерминирования — использования встроенного терминатора.

## SATA

SATA (англ. Serial ATA) — последовательный интерфейс обмена данными с накопителями информации. SATA является развитием параллельного интерфейса ATA (IDE), который после появления SATA был переименован в PATA (Parallel ATA).

SATA использует 7-контактный разъём вместо 40-контактного разъёма у PATA. SATA-кабель за счёт своей формы более устойчив к многократному подключению. Питающий шнур SATA также разработан с учётом многократных подключений. Разъём питания SATA подаёт 3 напряжения питания: +12 В, +5 В и +3,3 В; однако современные устройства могут работать без напряжения +3,3 В, что даёт возможность использовать пассивный переходник со стандартного разъёма питания IDE на SATA. Ряд SATA-устройств поставляется с двумя разъёмами питания: SATA и Molex.

Стандарт SATA отказался от традиционного для PATA подключения по два устройства на шлейф; каждому устройству полагается отдельный кабель, что снимает проблему невозможности одновременной работы устройств, находящихся на одном кабеле (и возникавших отсюда задержек), уменьшает возможные проблемы при сборке (проблема конфликта Slave/Master устройств для SATA отсутствует), устраняет возможность ошибок при использовании нетерминированных PATA-шлейфов.

Стандарт SATA поддерживает функцию очереди команд (NCQ, начиная с SATA Revision 1.0a). В отличие от PATA, стандарт SATA предусматривает горячее подключение устройства (используемого операционной системой) (начиная с SATA Revision 1.0)

Интерфейс SATA имеет два канала передачи данных, от контроллера к устройству и от устройства к контроллеру. Для передачи сигнала используется технология LVDS, провода каждой пары являются экранированными витыми парами.

Контакт #	Назначение
1	GND
2	A+ (Передача данных)
3	A- (Передача данных)
4	GND
5	B- (Прием данных)
6	B+ (Прием данных)
7	GND
—	Замок



7-контактный кабель передачи данных Serial ATA.

Спецификация SATA Revision 1.0 была представлена 7 января 2003 года. Первоначально стандарт SATA предусматривал работу шины на частоте 1,5 ГГц, обеспечивающей пропускную способность приблизительно в 1,2 Гбит/с (150 Мбайт/с). (20%-я потеря производительности объясняется использованием системы кодирования 8b/10b, при которой на каждые 8 бит полезной информации приходится 2 служебных бита). Пропускная способность SATA/150 незначительно выше пропускной способности шины Ultra ATA (UDMA/133). Главным преимуществом SATA перед PATA является использование последовательной шины вместо параллельной. Несмотря на то, что последовательный способ обмена принципиально медленнее параллельного, в данном случае это компенсируется возможностью работы на более высоких частотах за счёт отсутствия необходимости синхронизации каналов и большей помехоустойчивостью кабеля. Это достигается применением принципиально иного способа передачи данных (LVDS).

Спецификация SATA Revision 3.0 (SATA III или SATA 3.0) представлена в июле 2008 и предусматривает пропускную способность до 6 Гбит/с брутто (600 Мбайт/с нетто для данных с учётом 8b/10b кодирования). В числе улучшений SATA Revision 3.0, по сравнению с предыдущей версией спецификации, помимо более высокой скорости, можно отметить улучшенное управление питанием. Также сохранена совместимость, как на уровне разъёмов и кабелей SATA, так и на уровне протоколов обмена.



## **Serial ATA International Organization:**

### **Serial ATA Revision 3.0**

**June 2, 2009  
Gold Revision**

#### **SATA-IO Board Members:**

**Dell Computer Corporation  
Hewlett Packard Corporation  
Hitachi Global Storage Technologies, Inc.  
Intel Corporation  
Maxim Integrated Products  
Seagate Technology  
Western Digital Corporation**

## **TABLE OF CONTENTS**

1	Revision History .....	23
1.1	Revision 2.5 (Ratification Date October 27, 2005) .....	23
1.2	Revision 2.6 (Ratification Date February 15, 2007) .....	23
1.3	Revision 3.0 (Ratification Date: June 2, 2009) .....	23
2	Scope .....	25
3	Normative references .....	27
3.1	Approved references .....	27
3.2	References under development .....	29
3.3	Other references .....	29
4	Definitions, abbreviations, and conventions .....	31
4.1	Definitions and abbreviations .....	31
4.1.1	Active Port .....	31
4.1.2	ATA (AT Attachment) .....	31
4.1.3	ATAPI (AT Attachment Packet Interface) device .....	31
4.1.4	BER (bit error rate) .....	31
4.1.5	bitrate .....	31
4.1.6	bit synchronization .....	31
4.1.7	burst .....	31
4.1.8	byte .....	31
4.1.9	character .....	31
4.1.10	character alignment .....	31
4.1.11	character slipping .....	31
4.1.12	ClickConnect .....	32
4.1.13	CLTF (Closed Loop Transfer Function) .....	32
4.1.14	code violation .....	32
4.1.15	comma character .....	32
4.1.16	comma sequence .....	32
4.1.17	command aborted .....	32
4.1.18	command completion .....	32
4.1.19	command packet .....	32
4.1.20	concentrator .....	33
4.1.21	Control Block registers .....	33
4.1.22	control character .....	33
4.1.23	control port .....	33
4.1.24	control variable .....	33
4.1.25	CRC (Cyclic Redundancy Check) .....	33
4.1.26	data character .....	33
4.1.27	data signal source .....	33
4.1.28	device .....	33
...		
B.8	ATAPI Packet commands with PIO data in .....	634
B.9	ATAPI Packet commands with PIO data out .....	635
B.10	ATAPI Packet commands with DMA data in .....	636
B.11	ATAPI Packet commands with DMA data out .....	637
B.12	Odd word count considerations .....	638
B.12.1	DMA read from target for odd word count .....	638
B.12.2	DMA write by host to target for odd word count .....	638
B.13	PIO data read from the device .....	639
B.14	PIO data write to the device .....	639
B.15	Native Command Queuing Examples (Informative) .....	639
B.15.1	Queued Commands with Out of Order Completion .....	640
B.15.2	Interrupt Aggregation .....	641
Appendix C.	Device Emulation of nIEN with Interrupt Pending (Informative) .....	643
Appendix D.	I/O Controller Module (Informative) .....	644
D.1	Supported Configurations .....	645
D.1.1	Single I/O Controller Signals .....	645
D.1.2	Dual I/O Controller Signals .....	646
D.1.3	Further optional features .....	646
D.2	Optional High Speed Channel configurations .....	647
D.3	Optional Low Speed Channel configurations .....	649
D.4	I/O Controller Module Connectors .....	650
D.4.1	I/O Controller Module Connector .....	650
D.5	I/O Controller Module Connector Locations .....	653
D.5.1	Purpose .....	653
D.6	Pinout Listing .....	656
D.7	Signal Descriptions .....	657
Appendix E.	Jitter Formulas without SSC (Informative) .....	662
E.1	Clock to Data .....	662
E.2	Data to Data (shown for historical reasons) .....	662

## SAS

Serial Attached SCSI (SAS) — последовательный компьютерный интерфейс, разработанный для подключения различных устройств хранения данных, например, жёстких дисков и ленточных накопителей. SAS разработан для замены параллельного интерфейса SCSI и основывается во многом на терминологии и наборах команд SCSI.

SAS обратно совместим с интерфейсом SATA: устройства 3 Гбит/с и 6 Гбит/с SATA могут быть подключены к контроллеру SAS, но устройства SAS нельзя подключить к контроллеру SATA.

Последняя реализация SAS обеспечивает передачу данных со скоростью до 12 Гбит/с на одну линию. Ожидается 24 Гбит/с.

Протокол SAS разработан и поддерживается комитетом T10. Консорциум производителей различного оборудования под названием SCSI Trade Association (SCSITA) занимается продвижением различных технологий, связанных с SCSI, в том числе SAS.

Типичная система с интерфейсом SAS состоит из следующих компонентов:

Инициаторы (англ. Initiators)

Инициатор — устройство, которое порождает запросы на обслуживание для целевых устройств и получает подтверждения по мере исполнения запросов.

Целевые устройства (англ. Targets)

Целевое устройство содержит логические блоки и целевые порты, которые осуществляют приём запросов на обслуживание, исполняет их; после того, как закончена обработка запроса, инициатору запроса отсылается подтверждение выполнения запроса. Целевое устройство может быть как отдельным жёстким диском, так и целым дисковым массивом.

Подсистема доставки данных (англ. Service Delivery Subsystem)

Является частью системы ввода-вывода, которая осуществляет передачу данных между инициаторами и целевыми устройствами. Обычно подсистема доставки данных состоит из кабелей, которые соединяют инициатор и целевое устройство. Дополнительно, кроме кабелей, в состав подсистемы доставки данных могут входить расширители SAS.

Расширители (экспандеры) (англ. Expanders)

Расширители (экспандеры) SAS — устройства, входящие в состав подсистемы доставки данных и позволяющие облегчить передачу данных между устройствами SAS; например, расширитель позволяет подключить несколько целевых устройств SAS к одному порту инициатора. Подключение через расширитель является абсолютно прозрачным для целевых устройств.

Терминология

Одиночная дифференциальная пара, ведущая от одного устройства к другому (в одном направлении), называется PHY (от physical).

Пара PHY, образующая дуплексный канал, называется 'physical link'.

Один или несколько physical link образуют port. Если порт содержит более одного physical link, то такой порт называется 'wide port'.

Каждый port имеет sas\_address. Все physical link, анонсирующие один и тот же sas\_address автоматически объединяются в один wide port (например, если у HBA есть 2 4x SAS интерфейса, то подключив их всех вместе к enclosure, можно получить wide port 8x).

## Сравнение SAS и параллельного SCSI

SAS использует последовательный протокол передачи данных между несколькими устройствами и, таким образом, использует меньшее количество сигнальных линий.

Интерфейс SCSI использует общую шину. Таким образом, все устройства подключены к одной шине, и с контроллером одновременно может работать только одно устройство. Интерфейс SAS использует соединения точка-точка — каждое устройство соединено с контроллером выделенным каналом.

В отличие от SCSI, SAS не нуждается в терминации шины пользователем.

В SCSI имеется проблема, связанная с тем, что время распространения сигнала по разным линиям, составляющим параллельный интерфейс, может отличаться. Интерфейс SAS лишён этого недостатка.

SAS поддерживает большое количество устройств (> 16384), в то время как интерфейс SCSI поддерживает 8, 16, или 32 устройства на шине.

SAS обеспечивает более высокую пропускную способность (1,5, 3,0, 6,0 или 12,0 Гбит/с). Такая пропускная способность может быть обеспечена на каждом соединении инициатор-целевое устройство, в то время как на шине SCSI пропускная способность шины разделена между всеми подключёнными к ней устройствами.

Контроллеры SAS могут поддерживать подключение устройств с интерфейсом SATA, при прямом подключении — с использованием протокола SATA, при подключении через SAS-экспандеры — с использованием туннелирования через протокол STP (SATA Tunneled Protocol).

SAS, так же, как и параллельный SCSI, использует команды SCSI для управления и обмена данными с целевыми устройствами.

## Сравнение SAS и SATA

SAS имеет частичную совместимость с SATA-устройствами лишь на уровне разъёмов и кабелей для подключения отдельных дисков. Устройства SATA используют другой физический уровень (в том числе разный уровень напряжений и другой набор команд (ATA). Для подключения SATA-устройства к домену SAS (т.е. к SAS-экспандеру) используется специальный протокол STP (англ. Serial ATA Tunneling Protocol), описывающий согласование идентификаторов SAS и SATA.

Устройства SATA 1 и SAS поддерживают тегированные очереди команд TCQ (англ. Tagged Command Queuing). В то же время устройства SATA версии 2 поддерживают как

TCQ, так и NCQ (англ. Native Command Queuing). В современных дисках SAS максимальная глубина очереди равна 256, для дисков SATA — 32.

Современные диски SAS имеют два физических порта. Это позволяет использовать такие диски в схемах с повышенной отказоустойчивостью, например, в 2-контроллерных системах хранения данных. Для некоторых СХД возможно применение дисков SATA в сочетании с дополнительными SATA-интерпозерами, обеспечивающими двухпортовое подключение.

Протокол SAS обеспечивает полнодуплексную передачу данных, в то время как SATA работает в полудуплексном режиме.

С дисками SAS может быть реализована сквозная проверка целостности данных (англ. End-to-end Data Protection).