Интерфейсы и периферийные устройства

Раздел 2. Устройства хранения данных

Лекция 5-2. Жесткий диск типа «винчестер»

Конструкция и принцип действия жесткого диска.

Физическая организация информации на магнитных пластинах. Перспективы развития.

Жесткий диск (HDD)

- Жесткий диск типа «винчестер» самое массовое устройство внешней памяти с несменными носителями, имеющее внутреннее исполнение.
- В исходном варианте он хранит операционную систему, другое системное ПО, код и данные прикладного ПО. HDD является неотъемлемой частью практически любой ЭВМ в стоечном, напольном, настольном или мобильном исполнении. Если он отсутствует физически, то тогда, как правило, эмулируется, т.к. прочно входит в архитектуру всех систем.
- С другой стороны, это самое сложное и капризное устройство, к которому применяются самые высокие требования надежности.
 - Из-за наличия движущихся частей HDD подвержен в наибольшей степени влияниям извне он чувствителен практически ко всем факторам окружающей среды (как минимум к температуре, влажности, атмосферному давлению, запыленности, вибрациям, ударам, перегрузкам).

Принцип магнитной записи

- Для хранения данных на жестких дисках использован хорошо известный принцип упорядочивания направления намагничивания частиц ферромагнетиков под действием внешнего магнитного поля.
- В качестве среды записи и хранения информации в жестких дисках выступают ферромагнетики, отличительной особенностью которых является наличие микроскопических однородно намагниченных объемов вещества, называемых доменами.
- Один бит магнитной информации это один **магнитный домен** ферромагнитного материала, направление вектора намагниченности в котором может быть изменено внешним полем.
- Запись одного бита информации осуществляется путём подачи тока в электрическую катушку записывающей головки. Изменяя направление прохождения тока через элемент, можно получить участки на носителе с магнитными доменами, ориентированными в разных направлениях.
- Задача элемента чтения обнаружить изменения направления намагниченности участков диска

Электромагнетизм

- 1831 г. Майкл Фарадей закон электромагнитной индукции и введение термина «магнитное поле»
- 1834 г. Э.Х. Ленц направление индукционного тока и связанного с ним магнитного поля
- 1873 г. Дж.К. Максвелл «Трактат об электричестве и магнетизме»
- 1888 г. Г.Р. Герц экспериментальное обнаружение электромагнитных волн

• Максвелла уравнения связывают величины, характеризующие электромагнитное поле, с его источниками, то есть с распределением в пространстве электрических зарядов и токов.

В пустоте электромагнитное поле характеризуется двумя векторными величинами, зависящими от пространственных координат и времени: напряжённостью электрического поля Е и магнитной индукцией В. Эти величины определяют силы, действующие со стороны поля на заряды и токи, распределение которых в пространстве задаётся плотностью заряда r (зарядом в единице объёма) и плотностью тока j (зарядом, переносимым в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению движения зарядов).

Для описания электромагнитных процессов в материальной среде (в веществе), кроме векторов Е и В, вводятся вспомогательные векторные величины, зависящие от состояния и свойств среды: электрическая индукция D и напряжённость магнитного поля H.

- Максвелла уравнения позволяют определить основные характеристики поля (**E**, **B**, **D** и **H**) в каждой точке пространства в любой момент времени, если известны источники поля **j** и **r** как функции координат и времени. Максвелла уравнения могут быть записаны в интегральной или в дифференциальной форме;
- Максвелла уравнения в интегральной форме определяют по заданным зарядам и токам не сами векторы поля E, B, D, H в отдельных точках пространства, а некоторые интегральные величины, зависящие от распределения этих характеристик поля: циркуляцию векторов E и H вдоль произвольных замкнутых контуров и потоки векторов D и B через произвольные замкнутые поверхности.

Уравнения Максвелла

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = 4\pi \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$abla extbf{x} extbf{E} = -rac{1}{c} rac{\partial extbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c}\mathbf{j} + \frac{1}{c}\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

МАКСВЕЛЛ Джеймс Клерк

Закон Гаусса - Электрический заряд является источником электрической индукции

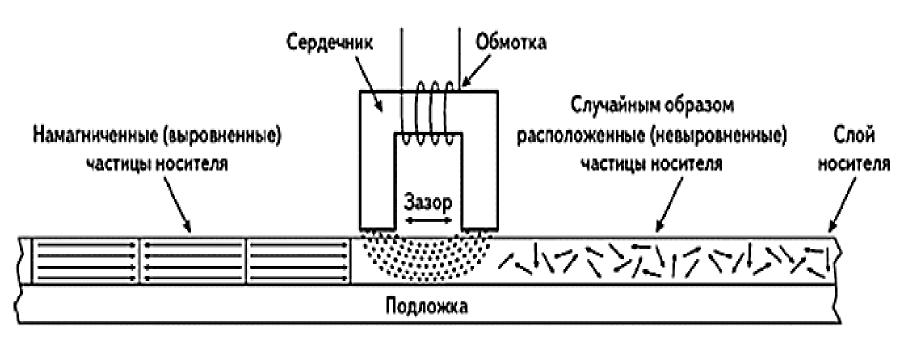
Закон индукции Фарадея - Изменение магнитной индукции порождает вихревое электрическое поле

Теорема о циркуляции магнитного поля – Электрический ток и изменение электрической индукции порождают вихревое магнитное поле

E - напряженность электрическо ополя **H** - напряженность магнитного поля **D** = **e** E - электрическая индукция **B** = **m** H - магнитная индукция r - плотность свободных зарядов **j** - плотность тока свободных зарядов c - скорость света

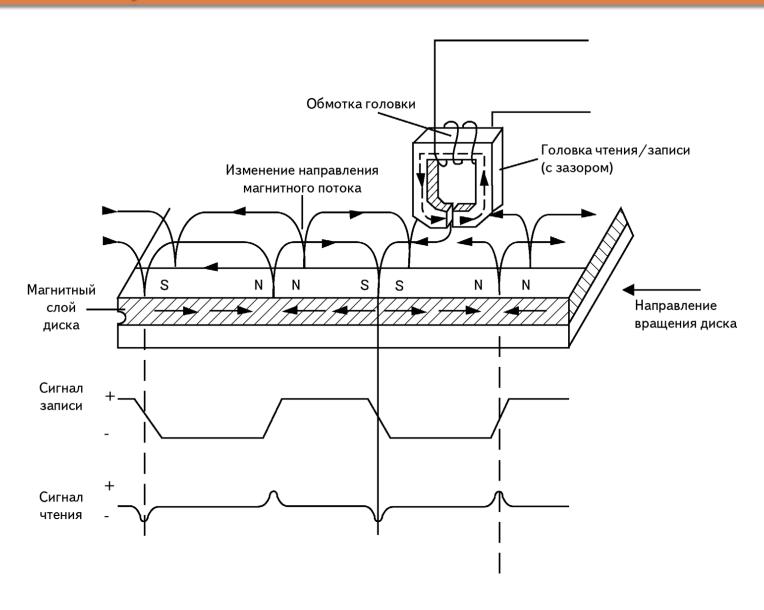
Здесь и — дифференциальные операторы ротор (rot) и дивергенция (div), действующие на векторы H, E, B и D

Принцип магнитной записи

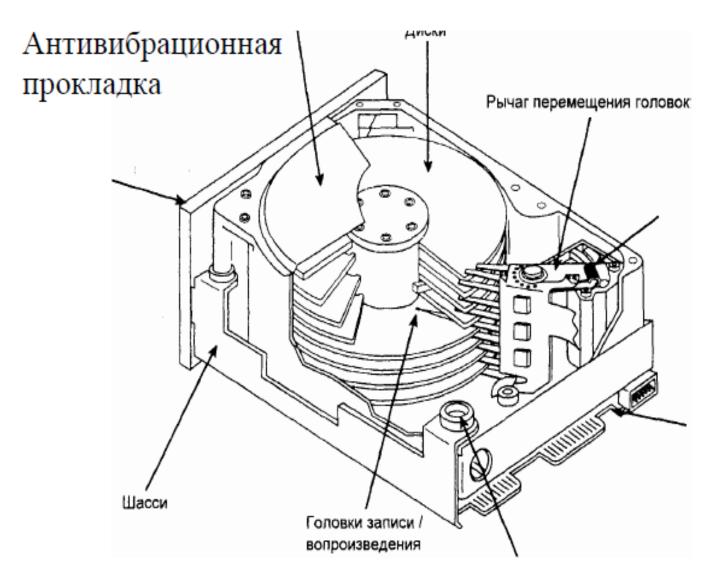


Направление перемещения диска

Принцип магнитной записи



Элементы конструкции жесткого диска



Привод головок

Печатная плата со схемами

Элементы конструкции

Магнитные пластины:

- Подложка (substrate) из алюминия или стекла.
- Несущий слой сложный ферромагнитный сплав (напр. CoPtCrB).
- Защитный углеродный слой (от коррозии).
- Слой вязкой смазки.

Шпиндельный двигатель:

- Жидкостные (гидродинамические) подшипники.
- Контроллер, расположенный внутри гермоблока.
- Питание от +12/+5В.

Подвес головок чтения/записи:

- Головка (Head Gimbal Assembly) состоит из подвеса (suspension) и воздушного подшипника (ползуна).
- Головка закреплена на держателе (Arm) поворотной конструкции.
- Ползун содержит два элемента индуктивный (для записи) и магниторезистивный (для чтения).

- с шаговым двигателем и
- с подвижной катушкой (voice coil буквально: звуковая катушка).

Мотор катушки линейного электропривода (Voice Coil Motor)

- Поворотный механизм с применением управления током и постоянного магнита, состоящего из двух половин.
- Подача тока в катушки актуатора создает ЭДС, которая поворачивает держатель с подвесом головки.

Схемы предусиления чтения и формирования тока записи, коммутатор головок, закрепленные на сборке головок.

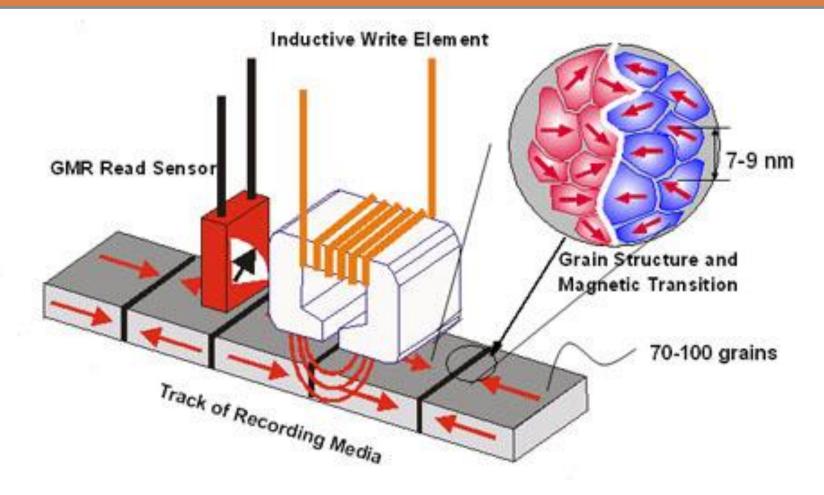
Плата электроники, содержащая:

- Цифровой сигнальный процессор (ЦСП, Digital signal processor, DSP, DSPпроцессор), обрабатывающий сигналы чтения/записи.
- Микросхема буферной памяти, хранящая кэш и (иногда) микрокод.
- Микроконтроллер, выполняющий роль управляющего контроллера, интерфейсного контроллера и контроллера жесткого диска.
- Разъемы интерфейсный и питания.
- Конфигурационные перемычки (не обязательно).
- Служебный разъем (не обязательно, вместо него чаще применяют резервные контакты в группе перемычек).

Носитель данных

- В жестком диске типа «винчестер» для хранения данных применяют вращающиеся пластины круглой формы. Вращение необходимо для выполнения последовательной линейной адресации секторов, так как позиционер осуществляет лишь радиальную адресацию.
- Используя различные методы напыления (гальваническое, ионное, плазменное и т.д.), на отполированный (гладкий) диск из стекла или металла наносится несколько слоев, включая ферромагнитный «бутерброд».
- Физического разбиения на ячейки не имеется: границы «бит» (магнитных доменов), поле которых ориентировано в том или ином направлении, формируются в процессе записи данных, закодированных особым образом. Отсюда возникает проблема синхронизации. Она решается путем форматирования поверхности нанесения меток (границ групп секторов и дорожек) специального вида.

Головки чтения-записи



Giant Magnetoresistive — GMR

Конструкция головок чтения-записи

Рабочий элемент головки чтения/записи представляет собой комбинацию индуктивного элемента записи и магниторезистивного элемента чтения.

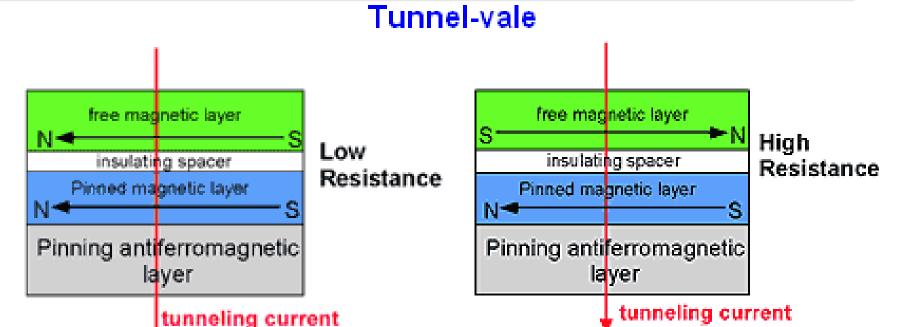
Элемент записи – катушка индуктивности, которая создает магнитное поле заданной полярности.

Применявшийся ранее *индуктивный элемент чтения* реагирует на магнитное поле изменением ЭДС в катушке.

Магниторезистивный элемент чтения измеряет изменение падения напряжения в полупроводнике, возникающее при прохождении последнего в магнитном поле.

Принцип работы элемента TMR: туннельный ток через изоляционный слой между двумя ферромагнетиками зависит от взаимной ориентации направлений их намагниченности.

Сенсор ТМR

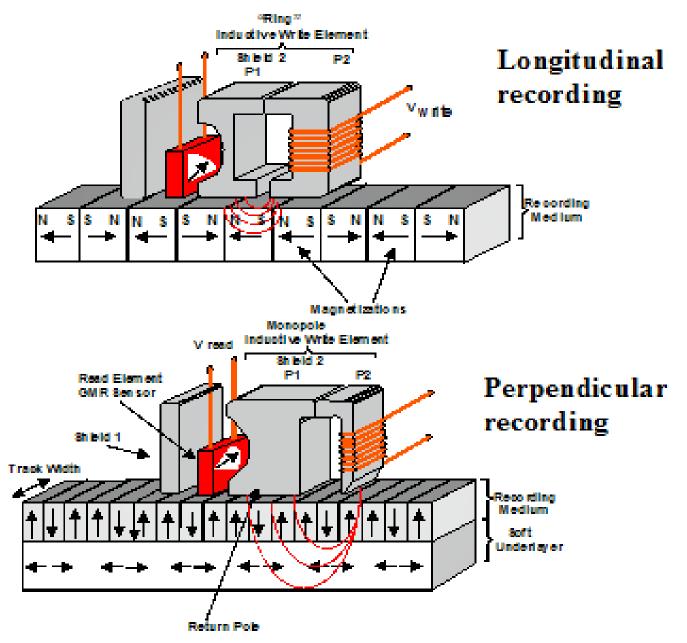


>50% tunnel magnetoresistance is possible at room temperature

 The response of a free ferromagnetic layer to the magnetic field of the storage media results in a change of electrical resistance in the tunnel-valve sensor.

Два типа магнитной записи

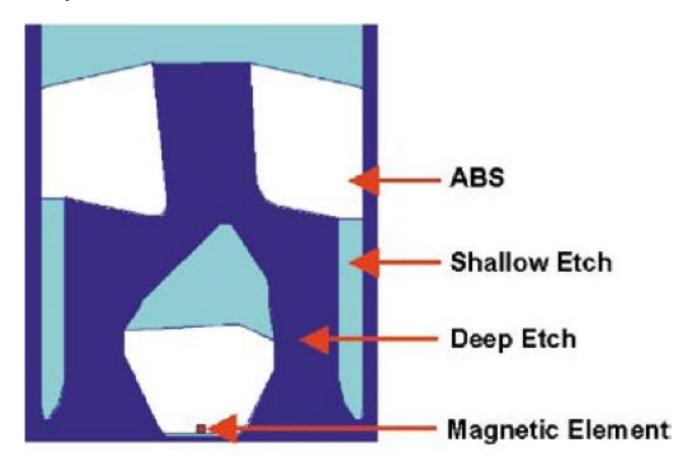
- Принцип продольной (Longitudinal) записи предусматривает ориентацию полюсов магнитных ячеек параллельно плоскости носителя. Он проще в реализации, но не позволяет (вследствие суперпарамагнетического барьера) достигать высокой плотности.
- Принцип перпендикулярной (Perpendicular) записи сложнее, но он дает ряд преимуществ, самое важное из которых менее выраженное влияние соседних ячеек друг на друга, что выливается в более широкие возможности по уплотнению данных на носителе.
- Для перпендикулярной записи применяется катушка с разорванным несимметричным сердечником (SPT single pole trimmed), чтобы ослабить обратное влияние магнитного поля, и так называемый «мягкий» нижний слой.



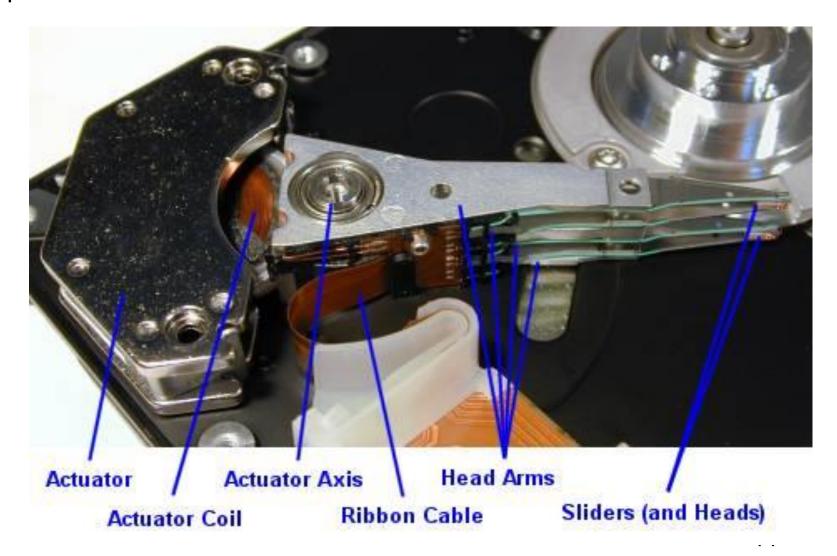
© 2005, Hitachi Global Storage Technologies

Конструкция держателя головки

Рабочий элемент помещен в аэродинамический ползун (Air bearing slider), который создает подъемную силу и удерживает головку на воздушной подушке на заданной высоте.



Подшипник закреплен на гибком подвесе, а тот, в свою очередь – на одном плече держателя (Arm), выполненного в виде поворотного рычага.



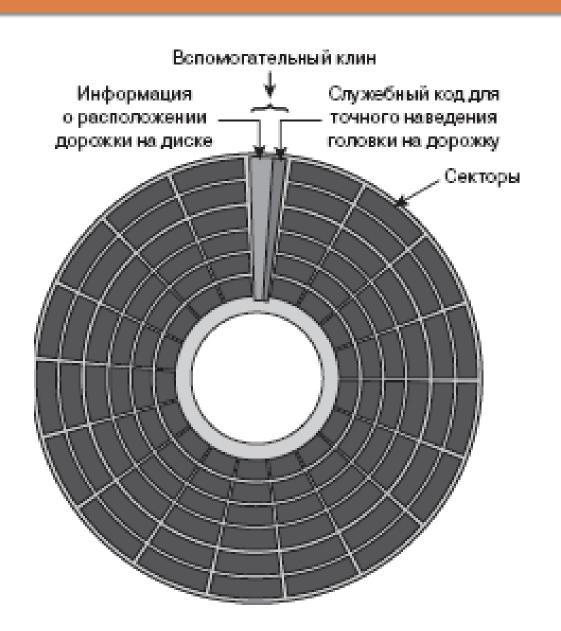
Актуатор (привод головок чтения/записи) представляет собой мощный постоянный магнит, в поле которого помещена катушка индуктивности, намотанная на другом плече держателя.



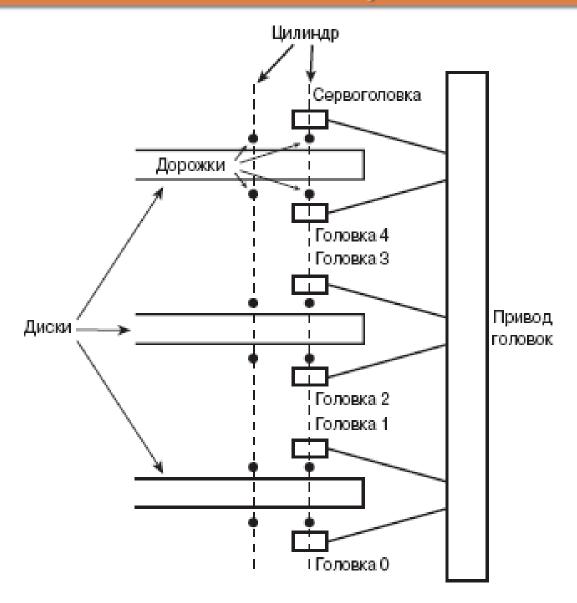
Принцип работы актуатора

- Подача напряжения на катушку вызывает поворот держателя и перемещение рабочего элемента головки относительно радиуса магнитной пластины.
- Поиск и удержание головки над заданной дорожкой осуществляется по сервометкам внедренным между секторами ячейкам с сигналом особой формы.
- Сигнал сервометок выделяется из общего сигнала чтения, по принципу обратной связи формируется сигнал отклонения актуатора при ослаблении или усилении сигнала сервометок заданной дорожки и соседних дорожек.
- Сервометки записываются на заводе в условиях стерильности специальными устройствами – Servowriters. Запись и модификация сервометок в процессе работы винчестера невозможна.





Система со специализированным диском



Структ. схема упр. с выдел. сервоповерхн.

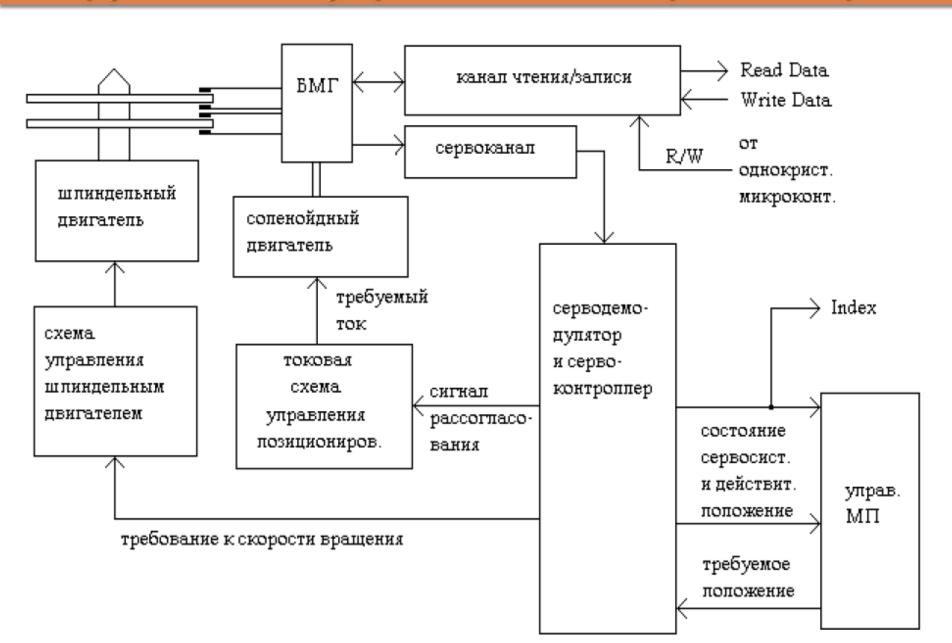
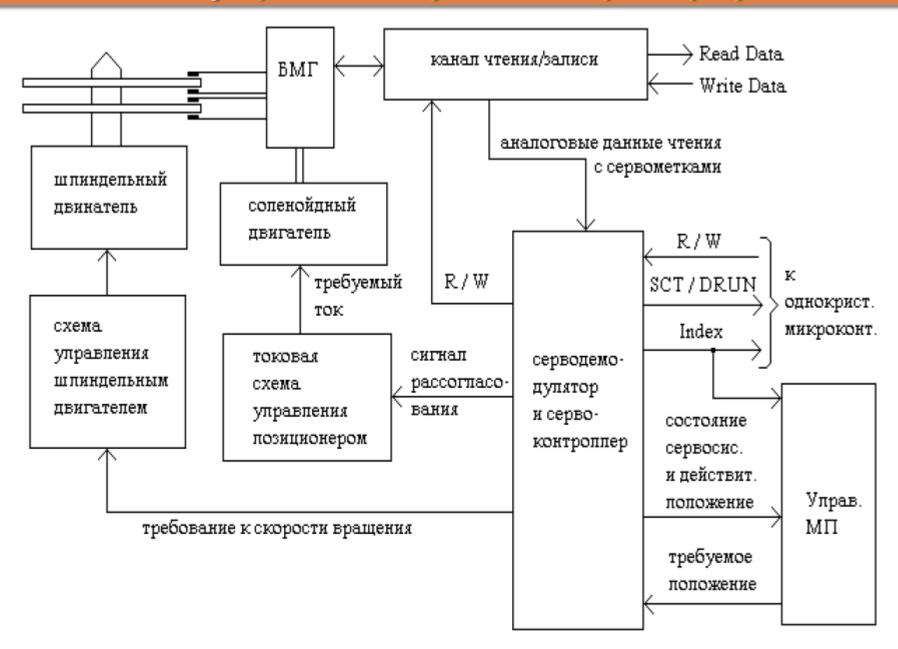
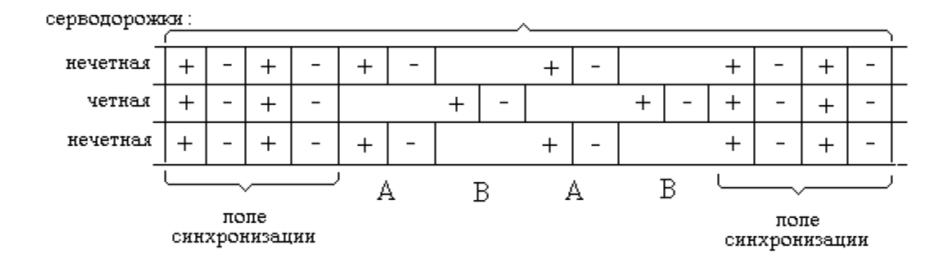


Схема упр. со встроен. сервоформат.



Сервоячейка

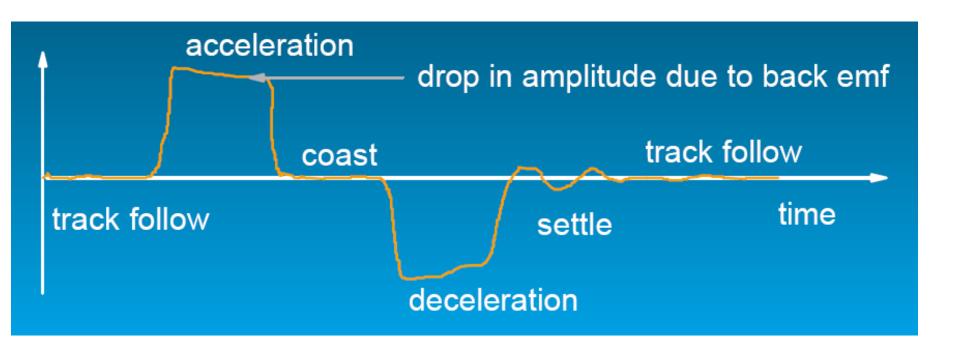


Управление перемещением головок

При управлении головками используется принцип сервосистемы с закрытым контуром (Closed Loop Servo), который позволяет за счет обратной связи поддерживать стабильность положения головок и обеспечивать низкий уровень ошибок.

Процесс позиционирования при чтения и записи состоит из трех основных этапов:

- 1) Перемещение актуатора: разгон, пауза, торможение.
- 2) Нахождение нужной дорожки и переход к слежению (Settle); данный этап требует повышенного внимания при операциях записи, так как нахождение неверной дорожки приведет к порче данных.
- 3) Ожидание появления нужного сектора (Rotational Latency).



Парковка головок

В нерабочем состоянии головки чтения/записи должны быть запаркованы во избежание их порчи при ударе или встряске при транспортировке.

Существует два вида парковки:

- В выделенной зоне диска (Dedicated landing zone).
- На площадке (Ramp).

Первый способ сегодня не применяется ввиду серьезных недостатков.

Перемещение головок в место парковки осуществляется либо механически (пружина или магнит), либо по сигналу об остановке шпинделя. В последнем случае необходимая энергия берется от шпинделя, который исполняет роль генератора.

Битовая ячейка

При записи каждого бита (или группы из нескольких бит) на диске формируется последовательность участков с различной намагниченностью (полярностью), и, соответственно, определенным расположением зон смены знака.

Участок дорожки записи, на котором может быть записана одна зона смены знака называется ячейкой переходов (transition cell) или просто битовой ячейкой.

Геометрические размеры такой ячейки зависят от:

- тактовой частоты сигнала записи
- скорости, с которой перемещаются друг относительно друга головка и поверхность диска.

Кодирование двоичной информации

При записи в ячейках формируется последовательность зон смены знака, зависящая от способа кодирования информации.

Это связано с тем, что в процессе переноса данных на магнитный носитель каждый бит (или группа битов) с помощью специального кодирующего устройства преобразуется в серию электрических сигналов, не являющихся точной копией исходной последовательности импульсов.

От эффективности метода кодирования зависит эффективность использования магнитного носителя.

Проблема синхронизации

Важно определить момент смены знака Синхронизация устройств чтения\записи Два пути решения:

- Специальный сигнал синхронизации
- Объединить синхросигнал с сигналом данных

Чтобы решить проблему синхронизации и отделения битов друг от друга, применяется специальное кодирование информации при записи на магнитный носитель. При кодировании один бит или группа битов заменяется несколькими колебаниями напряженности магнитного поля.

Ячейка должна начинаться с зоны смены знака, которая выполняет роль заголовка.

Затем следует (или не следует) переход , в зависимости от значения бита данных

Базовые методы кодирования

• Частотная модуляция (FM - Frequency Modulation).

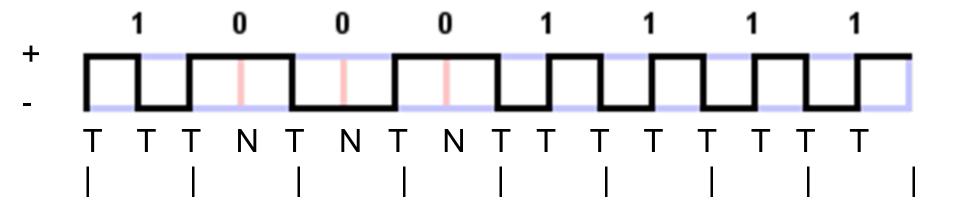
 Модифицированная частотная модуляция (MFM - Modified Frequency Modulation).

• Модуляция с ограниченной длиной последовательности (RLL- Run Length Limited), с различными вариантами.

Модуляция FM

- N отсутствие изменения направления напряженности магнитного поля.
- Т присутствие этого изменения.

Между битами магнитное поле обязательно изменяется, иначе будет потеряна синхронизация. Фактически при таком способе кодирования изменяется частота следования перепадов уровня (отсюда и название).

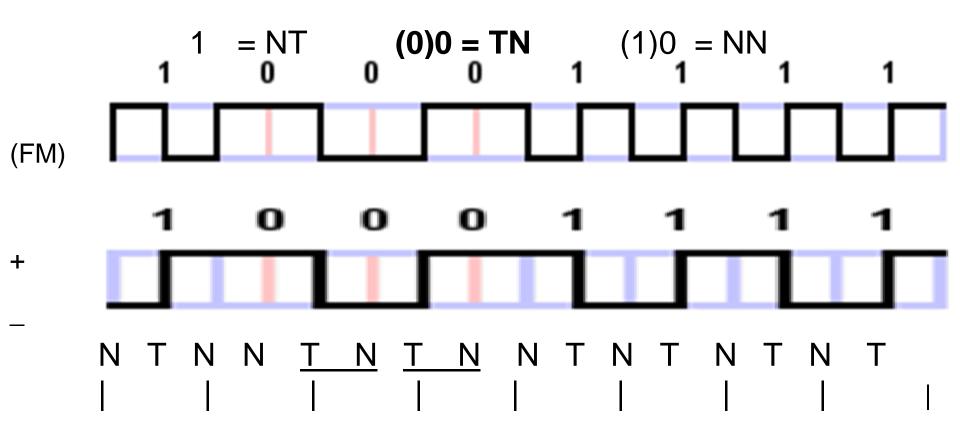


Модуляция МҒМ

Т – присутствие изменения магнитного поля.

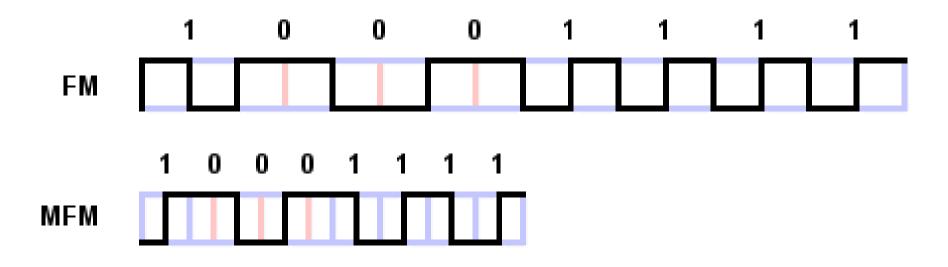
N – отсутствие изменения магнитного поля.

Изменение происходит только в случае, когда несколько 0 идут подряд



Модуляция МҒМ

При этом способе записи количество зон смены знака, используемых только для синхронизации, уменьшается (синхронизирующие переходы записываются только в начало ячеек с (0)0). Благодаря этому при той же допустимой плотности их размещения на диске их размещения на диске информационная емкость по сравнению с записью по методу FM удваивается.



Модуляция MFM

Вот почему диски, записанные по методу MFM, часто называют дисками двойной плотности (double density).

Поскольку при рассматриваемом способе записи на одно и то же количество зон смены знака приходится **вдвое** больше "полезных" данных, чем при FM-кодировании,

скорость считывания и записи информации на носитель также удваивается.

Метод кодирования с ограничением длины поля записи.

- Кодируется последовательность нескольких бит, в результате чего создаются определенные последовательности зон смены знака.
- Термин Run Length Limited (с ограничением длины пробега) составлен из названий двух основных параметров:
- минимальное (длина пробега)
- максимальное (предел пробега)

Алгоритмы RLL обеспечивают такую закодированную последовательность, что длина поля записи (количество бит между переходами от "0" к "1" или от "1" к "0") ограничена определенным диапазоном [d+1; k+1].

Параметры d и k задаются модификацией алгоритма (обозначается RLL d,k).

число ячеек перехода, которые можно расположить между двумя зонами смены знака. Изменяя эти параметры, можно получать различные методы кодирования:

- RLL 2,7 8 бит данных перекодируются в 16 так, чтобы в последовательности встречалось не менее двух и не более семи нулей.
- RLL 1,7
- RLL 3,9 9 (Advanced RLL)

Длина пробега

Методы FM и MFM, в сущности, являются частными вариантами RLL.

• FM-кодирование можно было бы назвать *RLL 0,1*, поскольку между двумя зонами смены знака может располагаться

```
максимум одна ( TNT=0)
```

минимум нуль (TT=1) ячеек перехода.

• Соответственно метод MFM в этой терминологии можно было бы обозначить *RLL 1,3*, так как в этом случае между двумя зонами смены знака может располагаться от

```
одной (TNT=0 или 1)
```

до трех ячеек перехода (TNNNT=101).

Модуляция RLL 2.7

Таблица перекодировки различных последовательностей битов в серии зон смены знака (IBM). Кодирование происходит так, чтобы расстояние между зонами смены знаков было не слишком маленьким, но и не слишком большим (учет разрешения головки и синхронизации.

Т—смена знака есть; N—смены знака нет.

10 NTNN

11 TNNN

000 NNNTNN

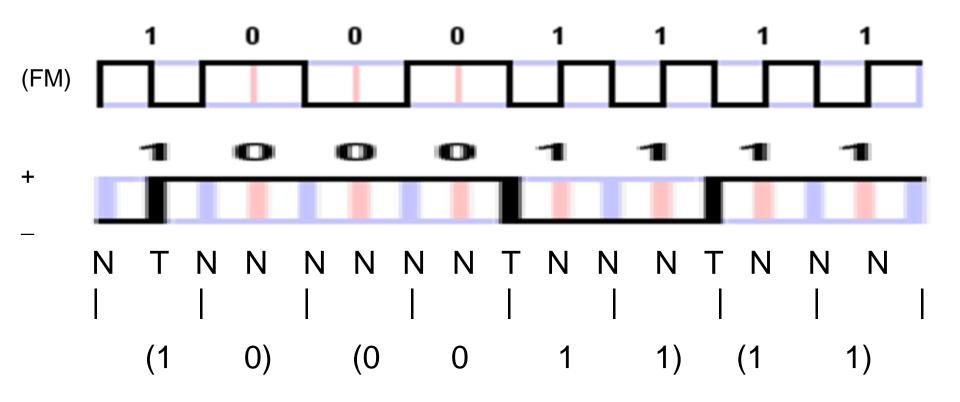
010 TNNTNN

011 NNTNNN

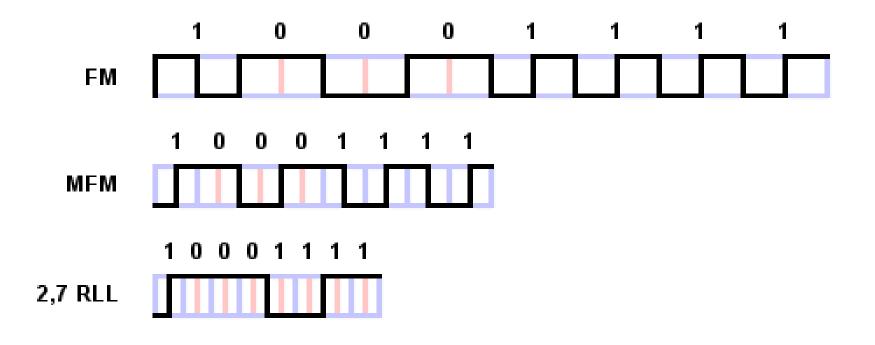
0010 NNTNNTNN

0011 NNNNTNNN

Кодируется последовательность нескольких бит. Минимальное расстояние между соседними изменениями направления поля (требуется для синхронизации) зависит от параметров конкретного алгоритма.



Поскольку записывается еще меньше зон смены знака, чем при MFM-кодировании, частоту сигнала синхронизации можно увеличить в 3 раза по сравнению с методом FM и в 1,5 раза по сравнению с методом MFM. Это позволяет на таком же пространстве диска записать больше данных.



Модуляция FM, MFM, RLL

- •FM (RLL0,1) однократная тактовая частота передачи данных
- •MFM (RLL1,3) удвоенная тактовая частота передачи данных
- •RLL2,7) –утроеная тактовая частота передачи данных

Необходимо отметить, что минимальное и максимальное физическое расстояние на поверхности диска между любыми двумя зонами смены знака одинаково для всех трех упомянутых методов кодирования.

Кодирование PRML

Технология PRML (Partial-Response, Maximum-Likelihood -групповым откликом, максимальной достоверностью / частичное определение, максимальное правдоподобие).

Контроллер анализирует поток данных с головки посредством фильтрации, обработки и алгоритма определения (элемент частичного определения), а затем предсказывает последовательность битов, которые этот поток данных наилучшим образом представляет (элемент максимального правдоподобия).

Позволяет повысить плотность расположения зон смены знака на диске в среднем на 40% и на столько же увеличить емкость носителя.

Увеличение плотности записи приводит к тому, что пиковые значения напряжения при считывании данных могут накладываться друг на друга.

Вопросы

• Кодирование двоичной информации (FM, MFM, RLL 2,7)

10001111 10000101 00111011.