

Класифікація носіїв електронної інформації

Зовнішня пам'ять комп'ютера або ЗЗП - важлива складова частина електронно-обчислювальної машини, що забезпечує довгочасне зберігання програм і даних на різних носіях інформації. ЗЗП можна класифікувати із цілого ряду ознак: за видом носія, за типом конструкції, за принципом запису й зчитування інформації, за методом доступу і т.д. При цьому під **носієм** розуміється матеріальний об'єкт, здатний зберігати інформацію.

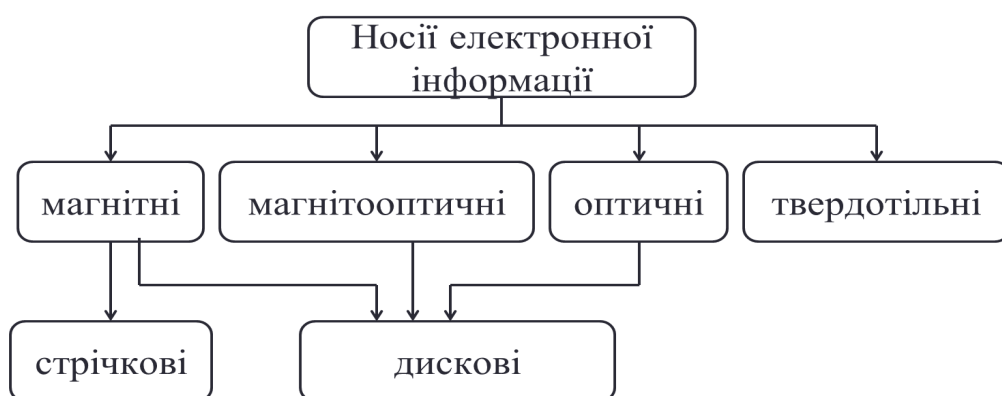
Накопичувачі — це запам'ятовуючі пристрої, призначені для тривалого (що не залежить від електроживлення) зберігання великих обсягів інформації, коли ємність накопичувача в десятки, сотні разів перевищує ємність ОЗП або взагалі необмежена (якщо йдеться про накопичувач зі змінними носіями).

Накопичувач можна розглядати як сукупність носія та відповідного приводу. Розрізняють накопичувачі зі змінними і незмінними носіями.

Привід — це поєднання механізму читання-запису з відповідними електронними схемами керування. Його конструкція визначається принципом дії та виглядом носія.

Носій інформації – це матеріал для запису, зберігання і відтворення даних. Носій, що є середовищем зберігання інформації, на зовнішній вигляд може бути дисковим або стрічковим; за принципом запам'ятовування — магнітним, магнітооптичним, оптичним. Стрічкові носії застосовують тільки в магнітних накопичувачах; у дискових використовують магнітні, магнітооптичні й оптичні методи запису-зчитування. Дискові носії (дисководи) розрізняються залежно від типу носія.

Інформація на дискових носіях зберігається в секторах (як правило, по 512 байт). На магнітних носіях сектори розташовуються вздовж концентричних кіл — доріжок. Якщо запис ведеться на кількох поверхнях носія (для дискети це два боки магнітного диска), то сукупність доріжок з однаковими номерами називається циліндром. Сектори і доріжки утворюються під час форматування носія. Форматування виконує користувач за допомогою спеціальних програм-утиліт. Ніяка інформація користувача не може бути записана на не форматований носій.



Класифікація ЗЗП за типом носія інформації

Властивості зовнішньої пам'яті :

- ❖ Зовнішня пам'ять енергонезалежна, цілісність її вмісту не залежить від того, включений або виключений комп'ютер.
- ❖ На відміну від оперативної пам'яті, зовнішня пам'ять не має прямого зв'язку із процесором.
- ❖ До складу зовнішньої пам'яті входять:
 - HDD— накопичувачі на твердих магнітних дисках.

- НГМД – накопичувачі на гнучких магнітних дисках.
- НОД – накопичувачі на оптичних дисках (компакт-дисках CD-R, CD-RW, DVD).
- НМС – накопичувачі на магнітній стрічці (стрімери).
- Твердотільні карти пам'яті.
- Накопичувачі – це запам'ятовуючі пристрої, призначені для тривалого (тобто не залежного від електроживлення) зберігання великих обсягів інформації

Накопичувачі складаються із двох конструктивних елементів. Перший – носій, який є, так званою, «базою зберігання». Другий – привод, який служить «зв'язковим елементом», завдяки чому ми можемо зчитувати або записувати інформацію на ВЗУ.

До того ж можна привести ще одну класифікацію, згідно з якою ВЗУ діляться на два класи, залежно від доступу до даних:

- **Послідовний доступ** - доступ до групи елементів (наприклад, дані в пам'яті, на диску або на магнітній стрічці) здійснюється в заздалегідь заданому порядку;
- **Прямий доступ** - режим обміну даними між пристроями або ж між пристроєм і основною пам'яттю (RAM) без участі Центрального Процесора - DMA.

Зовнішня пам'ять, яка виготовляється на магнітних носіях, коштує дешево, зберігає великий об'єм інформації і працює досить повільно.

До зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв належать:

- дисковод для дискет (накопичувач на гнучких магнітних дисках - НГМД);
- накопичувач на жорстких магнітних дисках - HDD. Вони працюють набагато повільніше, ніж електронні елементи ОЗП, але на них можна зберігати дуже великі об'єми різної інформації (терабайти).

На магнітних носіях організовують архіви програм, даних і результатів їх обробки на ЕОМ.

Одним із видів зовнішньої пам'яті, є пам'ять для читання оптичних дисків - CD-ROM, DVD-ROM. На подібних дисках, можна записувати дані з програми для комп'ютера. Максимальний об'єм від 640 МБ до 8 ГБ. Для дисків BluRay від 25 до 50 Гб.

Одержали також поширення магнітно-оптичні диски об'ємом 120 МБ і вище. Такі диски дозволяють перезаписувати інформацію на них, як на звичайній дискеті.

НАКОПИЧУВАЧІ НА ЖОРСТКИХ МАГНІТНИХ ДИСКАХ. КОНСТРУКЦІЯ, ПРИНЦИП ДІЇ, ХАРАКТЕРИСТИКИ

Накопичувач на жорстких магнітних дисках або НЖМД (англ. Hard (magnetic) disk drive, HDD, HMDD), жорсткий диск, в комп'ютерному сленгу «вінчестер», «гвинт», «хард», «хард диск» - пристрій зберігання інформації, заснований на принципі магнітного запису. Є основним накопичувачем даних у більшості комп'ютерів. Інформація в НЖМД записується на жорсткі (алюміній або не магнітний матеріал) пластини, покриті шаром феромагнітного матеріалу, найчастіше двоокису хрому. У НЖМД використовується одна або кілька пластин на одній осі. Зчитувальні голівки в робочому режимі не торкаються поверхні пластин завдяки потоку повітря, що набігає, і утворює у поверхні прошарок при швидкому обертанні. Відстань між голівкою та диском становить кілька нанометрів (у сучасних дисках близько 10 нм), а відсутність

механічного контакту забезпечує тривалий термін служби пристрою. При відсутності обертів дисків головки знаходяться біля шпинделя або поза диском у безпечній зоні, де виключено їхній нештатний контакт з поверхнею дисків.

Характеристики

Інтерфейс. Серійно випускаються внутрішні жорсткі диски можуть використовувати інтерфейси ATA (він же IDE і PATA), SATA, eSATA, SCSI, SAS, FireWire, SDIO і Fibre Channel.

Ємність - кількість даних, які можуть зберігатися накопичувачем. З моменту створення перших жорстких дисків в результаті безперервного вдосконалення технології запису даних їх можлива ємність безперервно збільшується. Ємність сучасних жорстких дисків (з форм-фактором 3,5 дюйма) досягає 8000 ГБ (8 Терабайт). На відміну від прийнятої в інформатиці системи приставок, що позначають кратну величину 1024, виробниками при позначенні ємності жорстких дисків використовуються величини, кратні 1000. Так, ємність жорсткого диска, маркованого як «200 ГБ», становить 186,2 ГБ.

Фізичний розмір (форм-фактор). Всі сучасні накопичувачі для персональних комп'ютерів і серверів мають ширину або 3,5 або 2,5 дюйми - під розмір стандартних кріплень для них відповідно в настільних комп'ютерах і ноутбуках.

Час довільного доступу – час, за який HDD гарантовано виконає операцію читання або запису на будь-якій ділянці магнітного диска. Діапазон цього параметра невеликий – від 2,5 до 16мс. Як правило, мінімальний час мають серверні диски, найбільший з актуальних - диски для портативних пристроїв.

Швидкість обертання шпинделя – кількість обертів шпинделя за хвилину. Від цього параметра значною мірою залежить час доступу і середня швидкість передачі. В даний час випускаються HDD з наступними стандартними швидкостями обертання: 4200, 5400 та 7200 (ноутбуки), 5400, 7200 та 10000 (персональні комп'ютери), 10000 та 15000 об/хв (сервери та високопродуктивні робочі станції). Збільшенню швидкості обертання шпинделя у вінчестерах для ноутбуків перешкоджає гіроскопічний ефект, вплив якого дуже малий в нерухомих комп'ютерах.

Надійність визначається як середній час напрацювання на відмову (MTBF). Також переважна більшість сучасних дисків підтримують технологію S.M.A.R.T.

Кількість операцій введення-виводу в секунду - у сучасних дисків це близько 50 оп./с при довільному доступі до накопичувача, та близько 100 оп./сек при послідовному доступі.

Споживання енергії є важливим фактором для мобільних пристроїв і сягає від 0,7 до 1 амперу. Живиться від 5 вольт (мобільні), та 12 вольт і 5 вольт стаціонарні.

Рівень шуму - шум, який здійснює механіка накопичувача при його роботі. Вказується в децибелах. Тихими накопичувачами є пристрої з рівнем шуму близько 26

дБ і нижче. Шум складається з шуму обертання шпинделя (у тому числі аеродинамічного) та шуму позиціонування.

Опірність ударам - опір накопичувача різким стрибкам тиску або ударам, вимірюється в одиницях допустимого навантаження у включеному та вимкненому стані.

Швидкість передачі при послідовному доступі:

- внутрішня зона диска: від 44,2 до 74,5 Мб/с;
- Зовнішня зона диска: від 60,0 до 111,4 Мб/с.

Обсяг буфера - буфером називається проміжна пам'ять, призначена для згладжування відмінностей швидкості читання/запису та передачі за інтерфейсом. У сучасних дисках він зазвичай варіюється від 8 до 256 Мб.

Пристрій

Жорсткий диск складається з гермозони і блоку електроніки.

Гермозона включає корпус з міцного сплаву, власне диски (пластини) з магнітним покриттям, блок головок з пристроєм позиціонування, електропривод шпинделя.

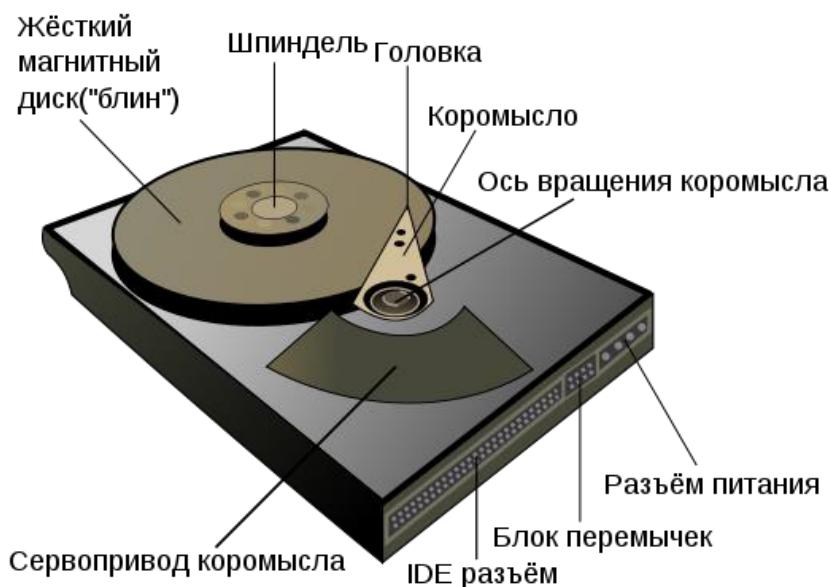


Рис 2 – Схема пристрою накопичувача на жорстких магнітних дисках.

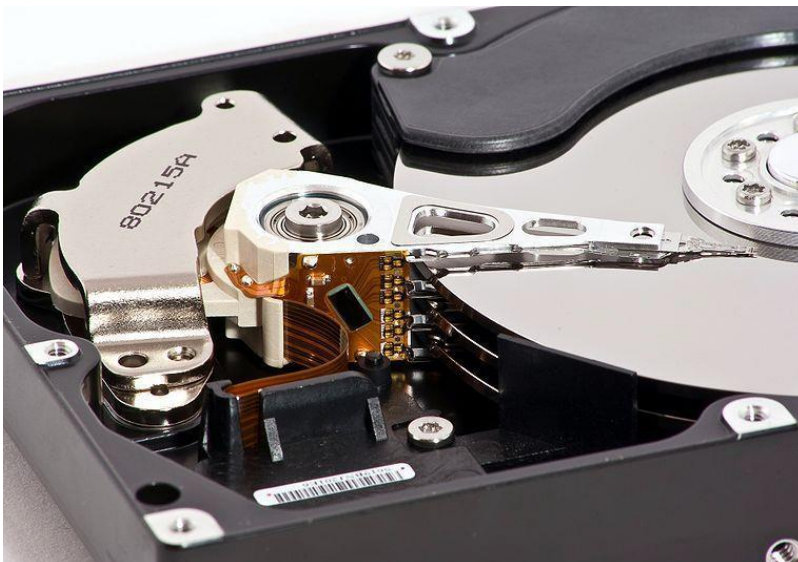


Рис 3 – Фотографія гермозони жорсткого диска Samsung HD753LJ

Блок головок - пакет важелів із пружної сталі (по парі на кожен диск). Одним кінцем вони закріплені на осі поруч із краєм диска. На інших кінцях (над дисками) закріплені голівки.

Диски (пластини), як правило, виготовлені із металевого сплаву. Хоча були спроби робити їх із

пластику і навіть скла, але такі пластини виявилися крихкими та недовговічними. Обидві площини пластин, подібно до магнітофонної стрічки, вкриті найтоншим пилом феромагнетика — оксидів заліза, марганцю та інших металів. Точний склад та технологія нанесення становлять комерційну таємницю. Більшість бюджетних пристроїв містять 1 або 2 пластини, але існують моделі з більшим числом пластин.

Шпиндельний двигун жорсткого диска трифазний, що забезпечує стабільність обертання магнітних дисків змонтованих на осі (шпинделі) двигуна. Статор двигуна містить три обмотки, включених "зіркою" з відведенням посередині, а ротор - постійний секційний магніт.

Пристрій позиціонування головок складається з нерухомої пари сильних неодимових постійних магнітів, а також котушки на рухомому блоці головок. У переважній більшості пристроїв всередині гермозони немає вакууму. Одні виробники роблять її герметичною (звідси і назва) і заповнюють очищеним та осушеним повітрям або нейтральними газами, зокрема азотом, а для вирівнювання тиску встановлюють тонку металеву або пластикову мембрану. Інші виробники вирівнюють тиск через невеликий отвір з фільтром, здатним затримувати дуже дрібні (кілька мікрометрів) частинки. Однак у цьому випадку вирівнюється вологість, а також можуть проникнути шкідливі гази. Вирівнювання тиску необхідно, щоб запобігти деформації корпусу гермозони при перепадах атмосферного тиску (наприклад, у літаку) та температурі, а також при прогріванні пристрою під час роботи.

Блок електроніки. В сучасних жорстких дисках блок електроніки зазвичай містить:

- керуючий блок
- постійно запам'ятовуючий пристрій (ПЗУ)
- буферну пам'ять
- інтерфейсний блок
- блок цифрової обробки сигналу

Інтерфейсний блок забезпечує зв'язок електроніки жорсткого диска з контролером на системній (материнській) платі.

Блок управління являє собою систему управління, що приймає електричні сигнали позиціонування головок, і виробляє керуючі сигнали для приводу, комутації інформаційних потоків з різних головок, управління роботою всіх інших вузлів (наприклад, управління швидкістю обертання шпинделя), прийому та обробки сигналів з датчиків пристрою (система датчиків може включати одноосний акселерометр, використовуваний як датчик удару, триосний акселерометр, використовуваний як датчик вільного падіння, датчик тиску, датчик кутових прискорень, датчик температури).

Блок ПЗУ зберігає керуючі програми для блоків керування та цифрової обробки сигналу, а також службову інформацію HDD.

Буферна пам'ять згладжує різницю швидкостей інтерфейсної частини та накопичувача (використовується швидкодіюча статична пам'ять SRAM). Збільшення розміру буферної пам'яті в деяких випадках дозволяє значно збільшити швидкість роботи накопичувача та особливо строк його служби, так як зменшується кількість переміщень системи позиціонування головок над поверхнею диску.

Блок цифрової обробки сигналу здійснює очищення зчитаного аналогового сигналу та його декодування (витяг цифрової інформації). Для цифрової обробки застосовуються різні методи, наприклад метод PRML (Partial Response Maximum Likelihood — максимальна правдоподібність при неповному відгуку). Здійснюється порівняння прийнятого сигналу із зразками. При цьому вибирається зразок, найбільш схожий за формою та часовими характеристиками з сигналом, що декодується.



Рис 4 - макрофото магнітної головки



Рис 5 - запаркована магнітна головка



Рис 6 - Плата SATA контролера на 3,5 "диску

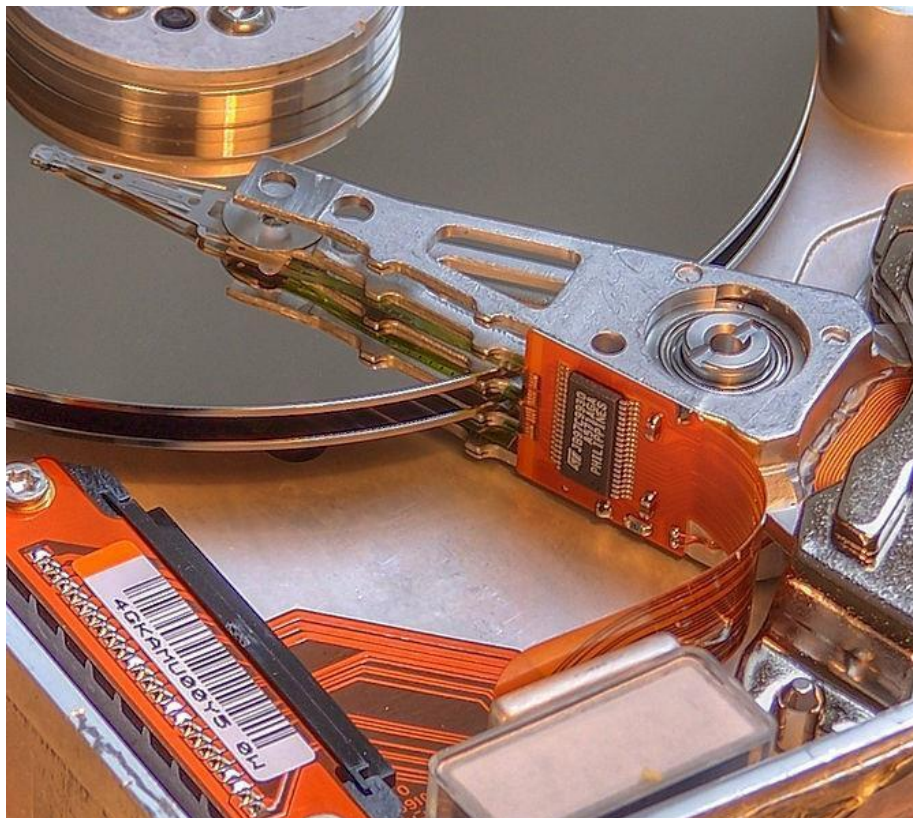


Рис 7 - Механічна і електрична складові приводу магнітних головок



Рис 8 - Наслідок торкання магнітної голівкою поверхні диска

Низькорівневе форматування

На заключному етапі складання пристрою поверхні пластин форматируються - на них формуються доріжки і сектори. Конкретний спосіб визначається виробником та / або стандартом, але, як мінімум, на кожну доріжку наноситься магнітна мітка, що позначає її початок.

Існують утиліти, здатні тестувати фізичні сектори диска, і обмежено переглядати і правити його службові дані. Конкретні можливості подібних утиліт сильно залежать від моделі диска і технічних відомостей, відомих автору за відповідним сімейства моделей.

Геометрія магнітного диска

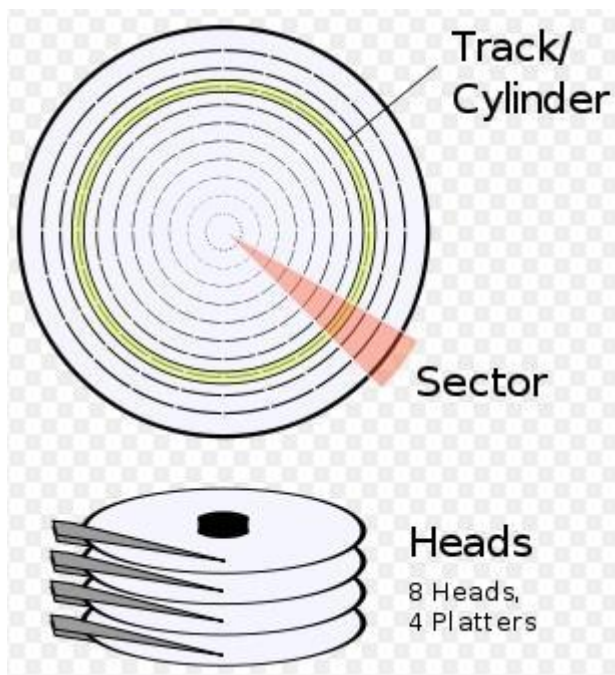


Рис 9 - Геометрія магнітного диска

З метою адресації простору, поверхні пластин диска діляться на *доріжки* - концентричні кільцеві області. Кожна доріжка поділяється на рівні відрізки –

сектори. Адресація CHS (англ. cylinder-head-sector, CHS) передбачає, що всі доріжки у заданій зоні диска мають однакову кількість секторів.

Циліндр - сукупність доріжок, рівновіддалених від центру, на всіх робочих поверхнях пластин жорсткого диска. *Номер голівки* задає робочу поверхню (тобто конкретну доріжку з циліндра), а *номер сектора* — конкретний сектор на доріжці.

Щоб використовувати адресацію CHS, необхідно знати геометрію диска, що використовується: загальна кількість циліндрів, головок і секторів в ньому. Спочатку цю інформацію потрібно задавати вручну; у стандарті ATA-1 було введено функцію автовизначення геометрії (команда Identify Drive).

Особливості геометрії жорстких дисків із вбудованими контролерами

Зонування. На пластинах сучасних «вінчестерів» доріжки згруповані у кілька зон (англ. Zoned Recording). Усі доріжки однієї зони мають однакову кількість секторів. Проте на доріжках зовнішніх зон секторів більше, ніж на доріжках внутрішніх. Це дозволяє, використовуючи більшу довжину зовнішніх доріжок, досягти більш рівномірної щільності запису, збільшуючи ємність пластини за тієї ж технології виробництва.

Резервні сектори. Для збільшення терміну служби диска на кожній доріжці можуть бути додаткові резервні сектори. Якщо контролеру не вдається прочитати записані дані в сектор, то цей сектор повинен бути виключений з подальшого використання і застосований резервний сектор. Резервні сектори зазвичай перебувають у кінці кожного фізичного треку. Дані, що зберігалися в ньому, можуть бути втрачені або відновлені за допомогою ЕСС, а ємність диска залишиться колишньою. При великій кількості дефектних блоків на треку відбувається перепризначення всього треку на резервну область, що знаходиться на внутрішніх циліндрах. Існує дві таблиці перепризначення: одна заповнюється на заводі, інша - у процесі експлуатації. Межі зон, кількість секторів на доріжку для кожної зони та таблиці перепризначення секторів зберігаються у ЗУ блоку електроніки.

Адресація даних

Мінімальною адресованою областю даних на жорсткому диску є *сектор*. Обсяг сектора зазвичай дорівнює 512 байт. 2006 року IDEMA оголосила про перехід на розмір сектора 4096 байт.

Існує 2 основних способи адресації секторів на диску: *циліндр-головка-сектор* (англ. cylinder-head-sector, CHS) та *лінійна адресація блоків* (англ. linear block addressing, LBA).

CHS. При цьому способі сектор адресується за його фізичним положенням на диску 3 координатами номером циліндра, номером головки і номером сектора.

LBA. У цьому способі адреса блоків даних носії задається з допомогою логічного лінійного адресу. LBA-адресація почала впроваджуватися та використовуватися у 1994 році спільно зі стандартом EIDE (Extended IDE). Стандарти ATA вимагають однозначної відповідності між режимами CHS та LBA. Метод LBA відповідає Sector Mapping для SCSI. BIOS SCSI-контролера виконує ці завдання автоматично, тобто для SCSI-інтерфейсу метод логічної адресації був характерний спочатку.

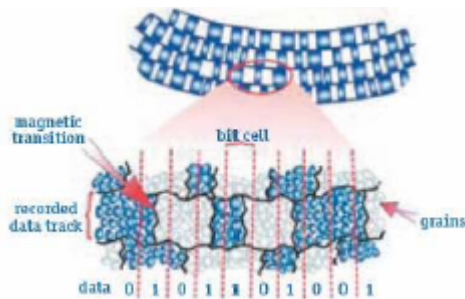
Технології запису даних

Принцип роботи жорстких дисків подібний до роботи магнітофонів. Робоча

поверхня диска рухається щодо зчитуючої головки (наприклад, у вигляді котушки індуктивності із зазором у магнітопроводі). При подачі змінного електричного струму (при записі) на котушку головки змінне магнітне поле, що виникає, із зазору головки впливає на феромагнетик поверхні диска і змінює напрямок вектора намагніченості доменів (магнітних частинок) в залежності від

величини сигналу. При зчитуванні переміщення доменів біля зазору головки призводить до зміни магнітного потоку в магнітопровод головки, що призводить до виникнення змінного електричного сигналу в котушці через ефект електромагнітної індукції.

Останнім часом для зчитування застосовують магніторезистивний ефект та використовують у дисках магніторезистивні головки. В них зміна магнітного поля призводить до зміни опору, залежно від зміни напруженості магнітного поля. Подібні голівки дозволяють збільшити можливість достовірності зчитування інформації (особливо при великих щільності запису інформації).

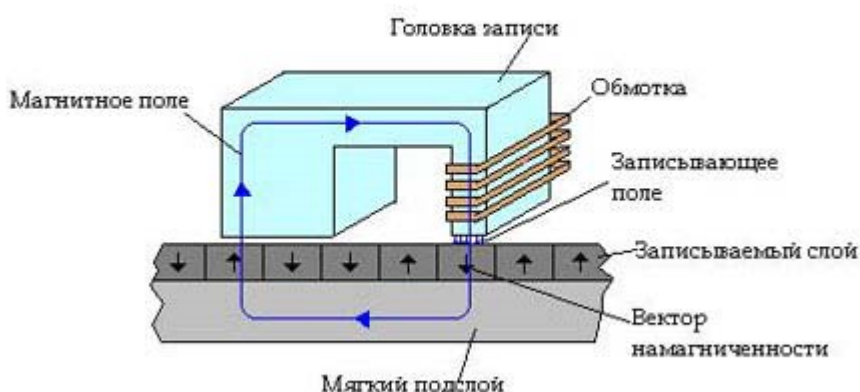


Метод поздовжнього запису. Біти інформації записуються за допомогою маленької головки, яка, проходячи над поверхнею диска, що обертається, намагнічує мільярди горизонтальних дискретних областей — доменів. При цьому вектор намагніченості домену розташований поздовжньо, тобто паралельно поверхні диска. Кожна з цих областей є логічним нулем або одиницею залежно від

намагніченості.

Максимально досяжна під час використання даного методу щільність запису становить близько 23 Гбіт/см². Нині відбувається поступове витіснення цього методу методом перпендикулярного запису.

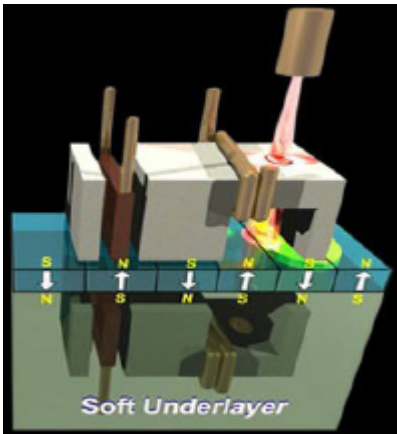
Метод перпендикулярного запису. Метод перпендикулярного запису - це



технологія, за якої біти інформації зберігаються у вертикальних доменах. Це дозволяє використовувати сильніші магнітні поля і знизити площу матеріалу, необхідну для запису 1 біта. Щільність запису у сучасних зразків – 400 Гбіт на кв/дюйм.

Метод теплового магнітного запису (Heat-assisted magnetic recording, HAMR).

На даний момент найперспективніший із існуючих, зараз він активно розробляється. При використанні цього методу використовується точковий підігрів диска, який дозволяє голівці намагнічувати дрібні області його поверхні. Після того, як диск охолоджується, намагніченість закріплюється. Експериментальні зразки показують щільність запису до 150 Гбіт/см². Розробка HAMR-технологій ведеться вже досить давно, проте експерти досі розходяться в оцінках максимальної густини запису. Так, компанія Hitachi називає межу 2,3-3,1 Тбіт/см², а представники Seagate Technology припускають, що вони зможуть довести щільність запису HAMR-носіїв до 7,75 Тбіт/см².



RAID масив

RAID-масиви (Redundant Array of Inexpensive Disks, надлишковий набір недорогих дисків). RAID – спосіб організації великих сховищ інформації, збільшення швидкості обміну та надійності зберігання даних.

Фізично RAID-масив є від двох до n-го кількості жорстких дисків підключених до мат.плати, що підтримує можливість створення RAID або до відповідного контролера, контролери зазвичай використовуються на серверах через підвищену надійність і продуктивність.

- **RAID 0** - дисковий масив для збільшення швидкості читання\запису.
- **RAID 1** - дзеркальний дисковий масив.

RAID 0 («Striping») — використовується від двох до чотирьох (більше - рідше) жорстких дисків, які спільно обробляють інформацію, що підвищує продуктивність. Программно інформація на рейді такого типу, розбивається на блоки даних і записується на обидва/кілька дисків по черзі

Один блок даних на один диск, інший блок даних на інший і т.д. Таким чином істотно підвищується продуктивність (від кількості дисків залежить кратність збільшення продуктивності, тобто 4 диски будуть швидше ніж два), але страждає безпека даних на всьому масиві. При виході з ладу будь-якого з жорстких дисків, що входять в такий RAID, практично повністю і безповоротно пропадає вся інформація.

RAID 1 (Mirroring - "дзеркало"). На відміну від RAID 0 тут втрачається обсяг другого жорсткого диска (він використовується для запису на нього повної (байт в байт) копії першого жорсткого диска).

RAID 2 зарезервований для масивів, які застосовують коригуючий помилки код Хеммінгу. Принцип роботи такий: дані записуються на відповідні пристрої так само, як і RAID 0, тобто вони розбиваються на невеликі блоки по всіх дисках, які беруть

участь у зберіганні інформації.

Диски, що залишилися, зберігають коди корекції помилок, за якими у разі виходу будь-якого вінчестера з ладу можливе відновлення інформації. Тобто в

Количество дисков с данными	Количество дисков с кодами коррекции	Избыточность, %
1	2	66,67
4	3	42,86
11	4	26,67
26	5	16,13
57	6	9,52
120	7	5,51
247	8	3,14
502	9	1,76
1013	10	0,98

масивах такого типу диски поділяються на дві групи — для даних та для кодів корекції помилок.

При побудові цих масивів використовується алгоритм відновлення інформації за допомогою кодів Хеммінгу. Для забезпечення цього RAID

контролером створюються дві групи дисків — одна для зберігання даних, друга група для зберігання кодів корекції помилок.

Подібний тип RAID набув малого поширення в домашніх системах через надмірно велику кількість жорстких дисків - так, в масиві з семи жорстких дисків під дані будуть відведені лише чотири. При зростанні кількості дисків надмірність знижується, що відображено у наведеній таблиці.

Основною перевагою RAID 2 є можливість корекції помилок, що виникають «на льоту» без зниження швидкості обміну даними між дисковим масивом і центральним процесором.

RAID 3 і RAID 4

Ці два типи дискових масивів дуже схожі за схемою побудови. В обох для зберігання інформації використовується кілька жорстких дисків, один із яких використовується виключно для розміщення контрольних сум. Для створення RAID 3 та RAID 4 достатньо трьох вінчестерів. На відміну від RAID 2 відновлення даних "на льоту" неможливе - інформація відновлюється після заміни жорсткого диска, що вийшов з ладу, протягом деякого часу.

Різниця між RAID 3 та RAID 4 полягає в рівні розбиття даних. У RAID 3 інформація розбивається на окремі байти, що призводить до серйозного уповільнення під час запису/читання великої кількості дрібних файлів. У RAID 4 відбувається розбиття даних на окремі блоки, розмір яких не перевищує розмір одного сектора на диску. В результаті підвищується швидкість обробки невеликих файлів, що є критичним для персональних комп'ютерів. З цієї причини RAID 4 набув більшого поширення.

Істотним недоліком масивів, що розглядаються, є підвищене навантаження на жорсткий диск, призначений для зберігання контрольних сум, що істотно знижує його ресурс.

Найбільш поширений масив **RAID 5**, для роботи якого потрібно три та більше дисків. Він використовує всі диски крім одного, наприклад, якщо є 4 диски, то використовуються за обсягом 3. Даний вид масиву вважається найекономнішим. На відміну від RAID 3, має великий обсяг логічних блоків для зберігання даних, а також дозволяє проводити паралельні операції запису. Якщо з ладу виходить один із дисків, дані не губляться, але його слід замінити. Цей рейд використовують для великої кількості завдань, підвищують продуктивність з додаванням додаткових дисків

RAID-5. Так званий стійкий до відмови масив незалежних дисків з розподіленим зберіганням контрольних сум. Це означає, що на масиві з n дисків, $n-1$ диск буде відведено під безпосереднє зберігання даних, а останній зберігатиме контрольну суму ітерації $n-1$ страйпу. Наприклад якщо потрібно записати певний файл, він поділиться на порції однакової довжини та почергово почне циклічно записуватися на всі $n-1$ дисків. На останній диск записуватиметься контрольна сума байтів порцій даних кожної ітерації, де контрольна сума буде реалізована порозрядною операцією XOR.

Варто відразу попередити, що при виході з ладу будь-якого з дисків, він перейде в аварійний режим, що істотно знизить швидкодію, так як для складання файлу будуть проводитися зайві маніпуляції для відновлення його «зниклих» елементів. При виході з експлуатації одночасно двох і більше дисків, інформацію, що зберігається на них, неможливо буде відновити. В цілому, реалізація рейд-масиву п'ятого рівня забезпечує досить високу швидкість доступу, паралельний доступ до різних файлів та хорошу відмовостійкість.

RAID 6

Значною мірою зазначену вище проблему вирішує побудова масивів за схемою RAID 6. У цих структурах під зберігання контрольних сум, які також циклічно і рівномірно розносяться на різні диски, виділяється обсяг пам'яті, що дорівнює обсягу двох жорстких дисків. Замість однієї обчислюються дві контрольні суми, що гарантує цілісність даних при одночасному виході з експлуатації відразу двох вінчестерів у масиві.

- Переваги RAID 6 — висока ступінь захищеності інформації та менше, ніж RAID 5, падіння продуктивності у процесі відновлення даних під час заміни пошкодженого диска.
- Недолік RAID 6 — зниження загальної швидкості обміну даними приблизно на 10% через збільшення обсягу необхідних обчислень контрольних сум, а також через зростання обсягу інформації, що записується/зчитується.

Детальний аналіз технології

Технологія RAID базується на трьох основних методах:

Почергове розміщення даних по дисках з певною циклічною черговістю. Почергове розміщення передбачає запис першого сегмента даних на перший диск, другого - на другий і т. д. У цьому випадку продуктивність масиву підвищується, оскільки комп'ютер починає записувати черговий сегмент даних (на наступний диск), перш ніж закінчив запис попереднього сегмента. Подальше підвищення продуктивності дискових систем забезпечується з допомогою підключення різних груп дисків до окремих контролерів;

Дзеркальне відображення дисків. Резервне копіювання даних (щодня або кілька разів на тиждень) не забезпечує швидке відновлення інформації та оперативний захист нових даних, створених після останнього сеансу копіювання. Ці завдання вирішуються з допомогою дзеркального відображення дисків, у якому все, що записується перший диск, дублюється на другий. У разі поломки першого диска (або запису даних у зіпсований сектор його дискового простору), вони будуть зчитані з другого ("дзеркального") диска.

Обчислення контрольних сум. Контроль парності працює так: всі інформаційні біти в байті складаються за модулем 2 (XOR) і якщо число одиниць у ньому парне - контрольний біт встановлюється в нуль, а якщо непарне - в одиницю. При зчитуванні даних інформаційні розряди знову сумуються та отриманий результат порівнюється зі значенням контрольного біта. Якщо вони збігаються – дані вірні, а якщо ні – значення одного або кількох розрядів помилкові.

Мсце народження RAID-технології – Каліфорнійський університет, м. Берклі, USA. У 1987р. його фахівці (Петтерсон, Гібсон та Катц) опублікували статтю з описом принципів об'єднання численних дискових накопичувачів.

Спочатку було визначено шість рівнів RAID 0-5, але в міру розвитку технологій з'явилися додаткові рівні (ще п'ять).

RAID 0: розподіл даних (data striping). Інформація розбивається на шматки (фіксовані обсяги даних, зазвичай іменовані блоками) і ці шматки записуються на диски і зчитуються з них паралельно. Два дискові блоки по 512 байт утворюють сегмент.

Контролер масиву				
Диск 1	Диск 2	Диск 3	Диск 4	Диск 5
Сегмент 1	Сегмент 2	Сегмент 3	Сегмент 4	Сегмент 5
Сегмент 6	Сегмент 7	Сегмент 8	Сегмент 9	Сегмент 10

RAID 0 не є відмовостійким, але цей рівень RAID використовується набагато частіше, ніж інші рівні RAID. Переваги RAID 0 (з точки зору продуктивності):

- підвищується пропускна здатність послідовного введення/виводу за рахунок одночасного завантаження декількох інтерфейсів;
- знижується латентність випадкового доступу - кілька запитів до різних невеликих сегментів інформації можуть виконуватись одночасно;

RAID 1: Дзеркальні диски (disk mirroring). Копія кожного блоку інформації зберігається окремо. Зазвичай кожен використовуваний диск має "двійника", який зберігає точну копію цього диска. Якщо відбувається збій одного з основних дисків, він замінюється своїм "двійником". Продуктивність покращують, налаштовуючи систему так, щоб для читання інформації використовувався той "двійник", головка якого розташована ближче до необхідного блоку.

Диск 1	Диск 2	Диск 3	Диск 4	Диск 5
Сегмент 1	Сегмент 1	Сегмент 2	Сегмент 2	---
Сегмент 3	Сегмент 3	Сегмент 4	Сегмент 4	---
дані X	копія диска 1	дані Y	копія диска 3	вільний

Один з найбільш дорогих рівнів, так як всі диски дублюються і за кожного запису інформація записується ще й на перевірочний диск. Часто для нормальної роботи RAID 1-го рівня потрібні HDD однакової ємності, випущені одним і тим самим виробником. До недоліків Raid 1 відноситься найвища надмірність, а при програмній реалізації - проблеми з "гарячою" заміною HDD, що вийшов з ладу.

RAID 2: матриця з порозрядним розшаруванням. У цій технології передбачено захист даних за допомогою помилки коду Хемінга, що коригує. Дані, що записуються, розподіляються по кількох дисках, а потім контрольні суми ECC (Error-Correction Code) записуються на окремий диск або на кілька окремих дисків. Комерційні продажі RAID 2-го рівня фактично відсутні.

RAID 3: апаратне виявлення помилок та парність. Дані розподіляються по інформаційним дискам і для кожної "смуги" даних (сукупності сегментів даних, розміщених у тих самих секторах різних фізичних дисках) визначається контрольна сума (чи код парності), яка записується на окремий диск.

Диск 1	Диск 2	Диск 3	Диск 4	Диск 5
Байт 1	Байт 2	Байт 3	Байт 4	Байт Парність
Байт 5	Байт 6	Байт 7	Байт 8	Байт Парність
даних	Дані	Дані	Дані	Інформація парності

RAID 3 Рівень досить складний і реалізується лише в апаратному забезпеченні. Для нього потрібні як мінімум три диски.

RAID 4: внутрішньогруповий паралелізм. На відміну від RAID 3 відбувається послідовний розподіл не коротких сегментів даних, а інформаційних блоків значного розміру. Це дозволяє виконувати кілька різних запитів на читання одночасно. Так як, вся контрольна інформація зосереджена в одному (останньому) диску. Даний масив неспроможний здійснювати кілька операцій запису одночасно. Як мінімум потрібні три диски. RAID 4 зустрічаються дуже рідко.

RAID 5: парність обертання для розпаралелювання записів. На дисках системи RAID 5 рівня по черзі розміщуються великі блоки даних, але на відміну від Raid 4 контрольна інформація розподіляється по всіх дисках масиву. Для першої "смуги" сегментів даних код парності може бути записаний на останньому диску масиву, для другого - на передостанньому і т. д. Це дозволяє виконувати кілька операцій запису одночасно.

Диск 1	Диск 2	Диск 3	Диск 4	Диск 5
Сегмент четности	Сегмент 1	Сегмент 2	Сегмент 3	Сегмент 4
Сегмент 5	Сегмент четности	Сегмент 6	Сегмент 7	Сегмент 8
Сегмент 9	Сегмент 10	Сегмент четности	Сегмент 11	Сегмент 12

Один з найбільш часто застосовуваних на практиці і найскладніший із перших шести рівнів. Як мінімум потрібні три диски.

RAID 6: Двовимірна парність. це розширений варіант RAID-рівня 5, в якому передбачено подвійний контроль парності інформації, що зберігається для забезпечення більшої надійності. Тільки для зберігання контрольної інформації потрібно два HDD. RAID 6-го рівня розроблений для критично важливих програм і має дуже низьку продуктивність запису у зв'язку з необхідністю розрахунку додаткових контрольних сум.

RAID 7. Унікальна технологія компанії Storage Computer Corporation. Передбачає асинхронність роботи своїх компонентів (включаючи канал зв'язку з хост-машиною) та незалежність керування ними. У масивах використовується вбудована операційна система реального часу для кешування даних та розрахунку контрольної інформації. Причому ця інформація передається по спеціальній X-шині. Дані розподіляються на звичайних дисках, а контрольна інформація зберігається на окремому диску. З метою підвищення продуктивності операції читання та запису централізовано кешуються. Дуже висока продуктивність і надійність зберігання даних, проте висока ціна системи, обладнаної таким масивом. RAID 7 є товарним знаком.

RAID 10/1+0. Масиви цього рівня є поєднання принципів, що застосовуються в масивах нульового і першого рівня. Тобто, "стрипінг" у поєднанні із дзеркалюванням. Тобто. спочатку створюються два масиви RAID 0 і потім

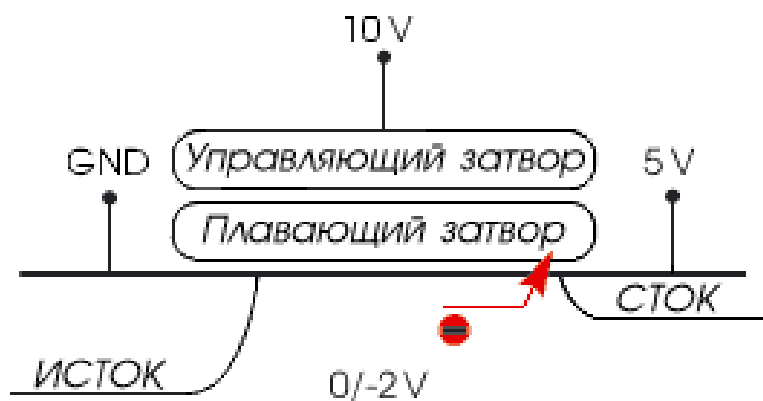
дзеркуються, що потребує, як мінімум, чотирьох дисків у мінімальній конфігурації - дуже дорого. Ціна такого масиву починає швидко зростати, коли починається розширення.

RAID 50. Масив, що поєднує принципи масивів нульового і п'ятого рівня. Тобто. якщо, наприклад, контролер отримує команду записати на HDD 256Кб даних, то ці дані за принципами RAID 0 розбиваються на два шматки по 128Кб і потім кожен з них за принципами масивів вже п'ятого рівня розбивається на шматочки по 32Кб і записуються фізично одночасно на всі диски масиву. Мета застосування - підвищення швидкості роботи дискової підсистеми за збереження високої надійності зберігання даних.

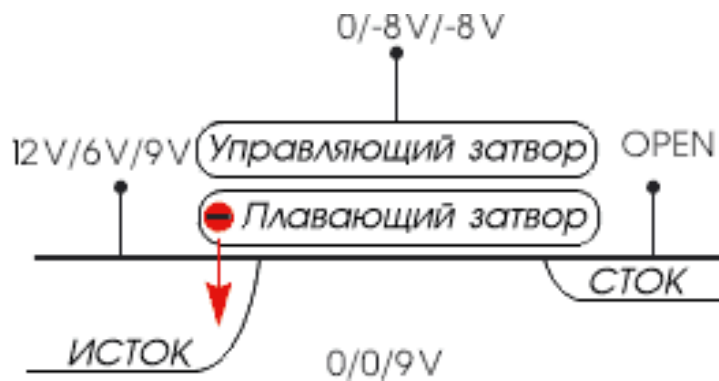
RAID 53. Правильніше назвати RAID-рівнем 03, тому що в ньому комбінуються архітектури RAID рівнів 0 та 3. Для реалізації такого дискового масиву потрібно щонайменше п'ять HDD. У цій конфігурації система RAID рівня 53 послідовно записує невеликі сегменти даних на перші два HDD, а інформацію про парність - на третій HDD. Останні два диски (четвертий і п'ятий) містять ті самі дані, послідовно записані великими блоками без контролю парності, як це робиться в системі RAID рівня 0.

Твердотільні накопичувачі. Принцип дії флеш-пам'яті

Флеш-пам'ять зберігає інформацію в масиві транзисторів з плаваючим затвором, так званих комірках (cell). У традиційних пристроях з однорівневими комітками (single-level cell, SLC) кожна з них може зберігати тільки один біт. Деякі нові пристрої з багаторівневими комітками (multi-level cell, MLC; triple-level cell, TLC) можуть зберігати більше одного біта, використовуючи різний рівень електричного заряду на затворі транзистора.



Мал. 18 – Програмування флеш-пам'яті



Мал. 19 – Стирання флеш-пам'яті

NOR. В основі цього типу флеш-пам'яті лежить елемент АБО (англ. NOR), тому що в транзисторі з плаваючим затвором низька напруга на затворі позначає одиницю.

Транзистор має два затвори: керуючий та плаваючий. Останній повністю ізолюваний та здатний утримувати електрони до 10 років. У транзисторній комірці є також стік та виток. При програмуванні напругою на затворі, що ними управляє, створюється електричне поле і виникає тунельний ефект. Частина електронів тунелює крізь шар ізолятора та потрапляє на плаваючий затвор. Заряд на плаваючому затворі змінює «ширину» каналу сток-виток та його провідність, що використовується під час читання.

Програмування та читання транзисторних комірок дуже різняться в енергоспоживанні: пристрої флеш-пам'яті споживають досить великий струм при записі, тоді як при читанні витрати енергії малі.

Для стирання інформації на затвор, що управляє, подається висока негативна напруга, і електрони з плаваючого затвора переходять (тунелюють) на джерело.

У NOR-архітектурі до кожного транзистора необхідно підвести індивідуальний контакт, що збільшує розміри схеми. Ця проблема вирішується за допомогою архітектури NAND.

NAND. В основі NAND-типу лежить І-НЕ елемент (англ. NAND). Принцип роботи такий самий, від NOR-типу відрізняється тільки розміщенням осередків та їх контактами. В результаті вже не потрібно підводити індивідуальний контакт до кожного осередку, так що розмір та вартість NAND-чіпа може бути істотно меншим. Також запис та стирання відбувається швидше. Однак ця архітектура не дозволяє звертатися до довільного комірки. NAND та NOR-архітектури зараз існують паралельно і не конкурують один з одним, оскільки знаходять застосування у різних галузях зберігання даних.

Файлові системи

Основне слабе місце флеш-пам'яті – кількість циклів перезапису. Ситуація погіршується також у зв'язку з тим, що операційні системи часто записують дані в те саме місце. Часто оновлюється таблиця файлової системи, тому перші сектори пам'яті витратять свій запас значно раніше. Розподіл

навантаження дозволяє суттєво продовжити термін роботи пам'яті.

Для вирішення цієї проблеми були створені спеціальні файлові системи: exFAT для Microsoft Windows та JFFS2 та YAFFS для GNU/Linux.

USB флеш-носії та карти пам'яті, такі, як Secure Digital та CompactFlash, мають вбудований контролер, який виконує виявлення та виправлення помилок і намагається рівномірно використовувати ресурс перезапису флеш-пам'яті. На таких пристроях немає сенсу використовувати спеціальну файлову систему - для кращої сумісності та продуктивності (з урахуванням *специфіки роботи контролера*) застосовується широко поширена FAT32.

Застосування

Флеш-пам'ять найбільш відома застосуванням USB флеш-накопичувачах (англ. USB flash drive). В основному застосовується NAND-тип пам'яті, що підключається через USB за інтерфейсом USB mass storage device (USB MSD). Цей інтерфейс підтримується всіма сучасними операційними системами.

Завдяки великій швидкості, об'єму та компактним розмірам USB флеш-накопичувачі повністю витіснили з ринку дискети. Технологія ReadyBoost у Windows здатна використовувати USB флеш-накопичувач або спеціальну флеш-пам'ять, вбудовану в комп'ютер для збільшення швидкодії.