

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Никола С Вељковић

Секундарна меморија – SSD уређај

завршни рад

Крагујевац, 2013.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Информатика у инжењерству

Предмет: Архитектура рачунарских система

Број индекса: 706/2012

Никола С Вељковић

Секундарна меморија – SSD уређај

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Јасна Радуловић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

Истакне улогу меморије у архитектури рачунарских система, да прикаже које се меморијске компоненте користе у рачунарском систему и које су њихове карактеристике.

У другом делу, кандидат треба да се осврне на секундарну меморију савремених рачунарских система. Да се прикаже које врсте секундарне меморије постоје и да се укратко прикаже принцип рада хард диска.

Трећи део је предвиђен за Solid State Drive, где ће кандидат детаљно да опише ову секундарну меморију, њену историју развоја, поделу, принцип рада, предности и мане и да на крају упореди две данас најчешће коришћене уређаје за складиштење (меморисање) података великих садржина, хард диск и Solid State Drive.

Препоручена литература:

- [1] **Радловић Ј.:** *Архитектура рачунарских система*, предавања, Факултет инжењерских наука Крагујевац, 2013.
- [2] **М. К. Стојчев, Б. Д. Петровић.:** *Архитектуре и програмирање микрорачунарских система заснованих на фамилији процесора 80x80*, Универзитет у Нишу, Електронски факултет, 1999.
- [3] **R. Michelsoni, A. Marelli, K. Eshghi:** *Inside Solid State Drives (SSDs)*, Springer Science+Business Media Dordrecht 2013

Крагујевац, датум

ментор:

Др Јасна Радловић

Резиме: У раду се описује секундарна меморија као важан део рачунарског система и разматрају се поступци који омогућавају складиштење података на уређај секундарне меморије SSD драјв. Поред основних података о SSD уређају, описује се његова кратка историја развоја, његова подела према технологији коју користи, интерфејсу за повезивање и величине у коме долази. Описује се његов преглед унутрашњости и принцип рада, као и његове предности и мане.

Кључне речи: Рачунарски систем, секундарна меморија, хард диск, SSD, flash меморија, NAND flash, бит, бајт и гејт

Abstract: In my study I have described secondary memory as an important part of computer sistem, considering acts that can allow to storage informations on a device of SSD secondary memory. Beside basic information about SSD device, there is a description of its short development history, its division toward technology, interface for connection and size. It is also describing its interior review and how it works, advantages and flows.

Key words: Computer system, a secondary memory, hard drive, SSD, flash memory, NAND flash, bit, byte, and gate

Садржај

1. Увод	1
2. Меморија	2
2.1. Упис и читање података из меморије.....	3
2.2. Капацитет меморије	4
2.3. Перформансе и цена меморије.....	4
2.4. Начин приступа меморији	5
2.5. Измена садржаја меморије	6
2.6. Смештање садржаја и претраживање меморије	6
2.7. Организација меморије	7
2.8. Латенца.....	9
2.9. Пропусност меморије.....	9
3. Секундарна меморија	10
3.1. Магнетни дискови	11
3.2. Оптички дискови	14
3.3. Магнетне траке	15
3.4. USB flash меморија	15
3.5. SDD уређај	16
4. Хард диск.....	17
4.1. Принцип рада.....	18
5. SSD уређај	21
5.1. Кратка историја SSD уређаја	22
5.2. Подела SSD уређаја	24
5.3. Преглед унутрашњости SSD уређаја	29
5.4. Принцип рада SSD уређаја	30
5.5. Читање, упис, брисање, over-provisioning, wear leveling , write amplification....	34
5.6. Предности и мане	35
5.6.1. Предности.....	35
5.6.2. Мане	36
6. Разлике између SSD-а и хард диска.....	38
7. Закључак.....	41
Литература.....	42

1. Увод

У ери рачунарских система, све је већа количина података које треба обрадити и пре и после обраде те податке ускладиштити (меморисати) а такође им и брзо приступити. Како се из године у годину, напретком технологије захтеви за перформансама рачунарског хардвера повећавају долази до тога да традиционални магнетни хард диск не може да одговара захтевима нових потреба. Зато је направљен нови електронски медијум за складиштење података звани Solid State Driver, или скраћено SSD.

SSD (Solid State Drive) је уређај за складиштење података, исто као и хард диск. Само, за разлику од хард диска, *SSD* не користи магнетни диск за складиштење података већ чипове *flash* меморије. Због тога што се користи електронска, а не магнетна технологија *SSD-ови* су доста бржи од хард дискова. Први разлог због ког су бржи је тај што није потребно конвертовати податке из магнетних у електронске, а други је што су подаци увек спремни за читање, тј. *SSD* нема покретних делова па не долази до губљења времена док се глава помери до сектора где се податак налази.

У другом поглављу говори се о меморији као део рачунарског система, њеним јединицама (компонентама) као и о карактеристикама као што су упис и читање података, капацитет, начин приступа меморији, организација, перформансе итд.

У трећем делу се говори о секундарној меморији рачунарског система. Описани су медији који се најчешће користе за складиштење података као што су магнетни дискови, оптички дискови, магнетне траке, USB модули итд.

Четврто поглавље говори о хард диску као секундарној меморији. У овом поглављу је описан принцип рада хард диска, који су његови основни делови као и која је његова улога у читавању и записивању података.

Пето поглавље је главни део овог Завршног рада. У њему је описан *Solid State Drive* као један од најмодернијих секундарних меморија за складиштење података. У овом делу је приказана кратка историја *SSD* уређаја, његова подела, преглед унутрашњости, принцип рада као и његове предности и мане.

У шестом поглављу извршена је упоредна анализа разлика између *SSD* уређаја и хард диска по свим могућим карактеристикама које су битне за обраду, ускладиштење и приступ подацима.

Седмо поглавље је закључак овог рада.

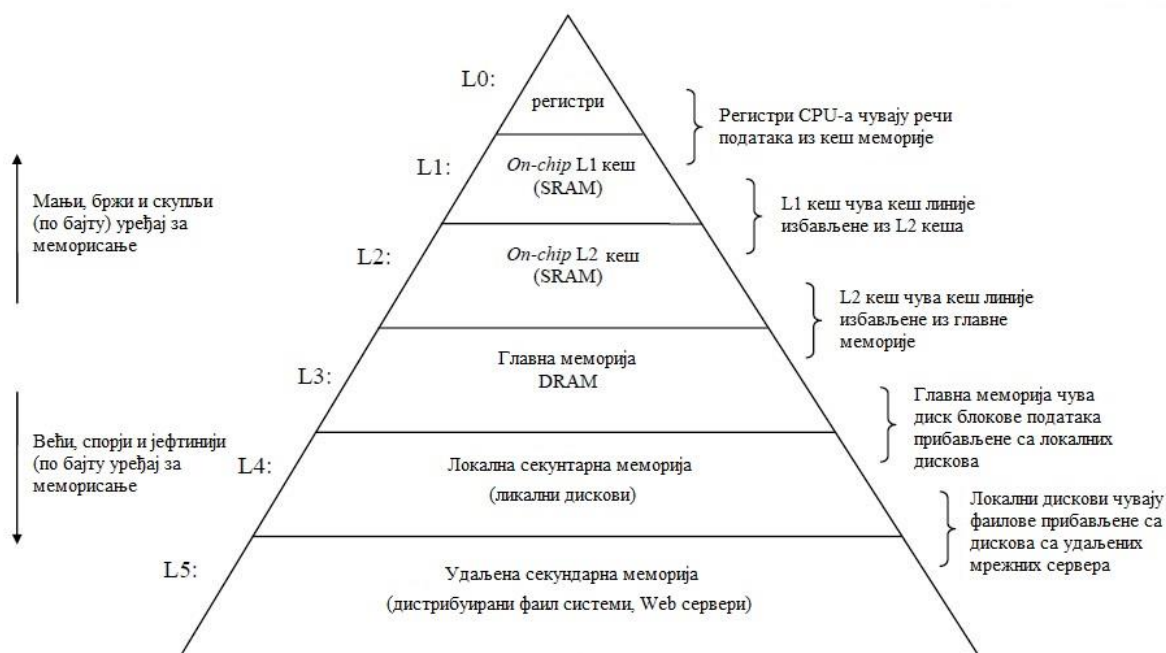
2. Меморија

Меморија је један од главних делова рачунарског система. Она служи за прихватање, чување (меморисање) и предају података и програма. На информацију односно податак који се чува у меморији не врши се никаква промена или трансформација већ он остаје у меморији исто како је и унет. Сваки рачунарски систем поседује већи број јединица које се користе за чување информација и података. Јединице за памћење информација и алгоритми чине меморијски систем рачунара и служе за управљање меморисаном информацијом. У току рада процесор може у сваком тренутку непосредно приступити меморији али такође мора омогућити да тај приступ не може бити прекинут.

Пренос информација између процесора и меморије врши се оном брзином којом процесор ради. Усклађење брзине процесора и меморије није једноставно. Меморија чија је брзина једнака брзини процесора је веома скупа. Самим тим, практично није могуће реализовати систем са једном меморијом која припада истом типу технологије. Дистрибуирање информација у систему се врши уз помоћ различитих меморијских јединица које немају идентичне физичке карактеристике. У те меморијске јединице (компоненте) рачунарског система спадају:

1. *Интерна меморија процесора* – коју чине мали скуп веома брзих регистара који се користе за привремено чување података и инструкција.
2. *Кеш меморија* – представља *buffer* у коме се чува одабрана информација из веће и обично спорије главне меморије, и омогућава процесору да може брже да приступа тим подацима.
3. *Главна меморија (примарна)* – служи за чување програма и података који се тренутно користе. Свакој локацији главне меморије процесор приступа директно. По свом капацитету је знатно већа од кеша, али је спорија. Углавном се реализује у полупроводничкој технологији и то коришћењем динамичке RAM меморије (DRAM—Dynamic RAM).
4. *Секундарна меморија (помоћна)* о којој ћемо више говорити у трећем поглављу користи се за чување програма и података који нису стално потребни процесору. Карактерише је највећи капацитет од свих наведених јединица, али и најдужи приступ. Данас се за реализацију ове меморије највише користе магнетни дискови (хард диск), CD и DVD ROM а у последње време и *flash* меморије.

У протеклом периоду развоја рачунара у експлоатацији је био широк дијапазон различитих врста медијума за памћење података, а велики број се још и данас користи. Код првих рачунара логички битови су се углавном памтили на механичким уређајима као што су биле папирне траке и картице. Нешто касније је почело коришћење фероелектричних материјала у облику језгра и преносивих магнетних медијума (магнетне траке, крути и флексибилни дискови). Напредком технологије почиње масовно коришћење медијума који чува податке користећи *flash* меморију. Један од њих је и SSD уређај о коме ћемо више говорити у петом поглављу.[1]



Слика 2.1 - Хијерархија меморије [11]

У наставку ћемо говорити нешто више о карактеристикама меморије тј. мемориских јединица као што су унос и читање података, капацитет, начин приступа меморији, организација, перформансе итд.[3]

2.1. Упис и читање података из меморије

У сврху памћења информација користе се различити физички принципи. Елемент физичке средине који служи за памћење елементарне информације, назива се *меморијски елемент* и служи за памћење *бинарног слова*. Меморијски елементи се удружују у *меморијске ћелије (локације)*, које су намењене за чување *бинарне речи* (често назване и машинска реч). Уписани податак у дату ћелију назива се *њеним садржајем*. Скуп меморијских ћелија назива се *меморијски модул (блок)*. У датом временском тренутку приступ је могућ само једној меморијској ћелији.

Меморијски модул је најчешће адресибилан. У том случају свакој ћелији меморијског модула се додељује један број из скупа природних бројева. Овај број се назива *адреса меморијске локације*. Да би се остварио приступ меморијској локацији неопходно је постојање електронских кола која преко адресе указују на дату меморијску локацију. Ова електронска кола, уз електронска кола која одређују да ли се ради о упису или читању садржаја меморијске локације, представљају управљачку јединицу меморијског подсистема. Меморијски модул се може налазити у једном од следећа три стања:

- Уписивање информација у неку ћелију
- Читање садржаја неке ћелије
- Чување (памћење) неке информације

Чување информације се састоји у томе да се параметри средине не мењају, док се уписивање информација састоји у измени параметара елемената меморијске ћелије. У

процесу уписивања садржаја у дату меморијску локацију њен претходни садржај се брише. При читању садржаја ћелије мора се у ћелији и даље задржати исто стање да би се исти садржај могао и касније користити. Код извесних типова меморије приликом читања садржаја ћелије врши се и процес читања и процес уписивања јер се садржај локације у току читања уништава. Овакве меморије се називају меморије са *деструктивним читањем*.

Најкраћи временски период који мора протећи између два узастопна обраћања меморијском модулу назива се *време приступа*. Код меморија са деструктивним читањем ово време се назива и *време меморијског циклуса* с обзиром да је неопходно извршити и читање и уписивање садржаја ћелије.[3]

2.2. Капацитет меморије

Капацитет меморијског модула представља број меморијских локација, односно број машинских речи које се могу истовремено сместити у модул. Капацитет се може изразити у *битима*, *бајтима* (дужина 8 бита) или *меморијским речима* (дужина n бита, ако је n различито од 8 кажемо да је меморија организована по бајтима у супротном меморија је организована по речима). У случају да је меморија организована по бајтовима 4 меморијске локације чине једну меморијску реч.

Капацитет и брзина различитих механизма за чување података, који се налазе у највећем броју рачунара данас крећу се од веома брзих, али са малим капацитетом, до L1 кеш меморија која је много спорија али са пуно већим капацитетом. У идеалном случају, рачунар би користио најбрже механизме за чување података – у овом случају кеш меморија за све податке. Било како било, закони физике (који налажу да механизми са већим капацитетом буду спорији) и узимање цене у обзир спречавају ово. Уместо тога, рачунари користе тзв. виртуелну меморију, која користи и L1 и L2 кеш меморију, главну меморију и хард диск. Механизам виртуелне меморије дозвољава програмеру да користи више меморије него што је то могуће у систему, као и да најчешће и најскорије коришћене документе сачува тако да је приступ њима најлакши.[3]

2.3. Перформансе и цена меморије

Перформансе описују време приступа меморији. Код меморија са случајним приступом мери се време које протекне од тренутка обраћања меморији преко адресе локације до тренутка када подаци бивају уписани или прочитани. Оно је изражено у наносекундама. За остале типове меморија мери се време које је потребно за позиционирање уписно-читајућег механизма на жељену локацију и оно је изражено у милисекундама.

Кроз историју су се користиле различите технологије за производњу меморије, али је остајала стална веза између три карактеристике меморије (цене, капацитета, времена приступа) која се одликује следећим својствима:

- Што је краће време приступа меморији, цена меморије је већа
- Меморије већег капацитета имају дуже време приступа од меморија краћег капацитета
- Што је капацитет меморије већи, цена по биту је нижа
- Свака нова технологија доноси снижење цена по биту меморије уз очување претходна три својства.[3]

Меморијски медијум	Типично просечно време приступа	Пропусна моћ	Капацитет медијума	Обим блока пребаченог са вишег на нижи ниво	Ко управља преносом података	Технологија израде
Регистри CPU-а	200ps-1ns	0.5-60GB/s	256B-1kB	Реч обима 2B или 4B	Управљачка јединица CPU-а	CMOS SRAM
L1 кеш меморија	5-10ns	0.8-1GB/s	16-64kB	Линија 4-32B	Примарни кеш контролер	CMOS SRAM
L2 кеш меморија	15-40ns	0.1-0.3GB/s	128kB-1GB	Линије 4-128B	Секундарни кеш контролер	CMOS SRAM
Главна меморија	50-100ns	20-80MB/s	256MB-1GB	Странице 4kB	MMU (јединица за управљање кодом меморије)	CMOS DRAM
Слотови проширења главне меморије	75-500ns	800kB-30MB/s	1-10GB	Странице 4kB	MMU	CMOS DRAM
Диск кеш	60-500ns	900kB-30MB/s	1-10MB	Блокови 4kB	Контролер уређаја	CMOS DRAM
Крути диск	5-50ms	1200-6000kB/s	100-500GB	Фајлови обима MB	Контролер уређаја	Магнетни медијум
Флопи диск	95ms	100-200kB/s	1.44MB	Фајлови обима MB	Контролер уређаја	Магнетни медијум
CD-ROM	100-500ms	500-4000kB/s	600MB-20GB	Фајлови обима MB	Контролер уређаја	Оптички запис
Траке (cartridge)	0.5s па навише	2000kB/s	1-10TB	Фајлови обима MB	Контролер уређаја	Магнетни медијум

Таб. 2.1. Перформансе меморије и капацитет меморисања [11]

2.4. Начин приступа меморији

Са аспекта приступа меморијској ћелији разликују се меморијски модули са :

- секвенцијалним (серијским) приступом
- цикличним (периодичним) приступом
- случајним (произвољним) приступом
- асоцијативним приступом

Код меморија са *секвенцијалним приступом* када се приступи ћелији са адресом 'i' у наредном приступу је могућно обратити се само ћелији са адресом 'i+1' или 'i-1'. У ову класу спадају меморијске јединице које за медијуме користе траке (бушена папирна трака, магнетска трака...).

Циклични приступ представља модификацију секвенцијалног приступа и огледа се у томе да се свака ћелија, независно од потребе приступа, периодички налази у стању да јој се може приступити. Меморијске јединице овог типа су јединице са ротирајућим медијумом (магнетни дискови), као и меморије реализоване на бази линија за кашњење.

Код меморија са *случајним приступом* могуће је у било ком тренутку приступити било којој ћелији чија адреса припада скупу адреса датог меморијског модула.

Код меморија са *асоцијативним* приступом омогућено је поређење између посебне маске и вредности одређених позиција бита у речи, те се из такве меморије реч чита на основу садржаја (кеш меморија).[3]

2.5. Измена садржаја меморије

Са аспекта могућности измене садржаја меморијске локације могућно је меморије класификовати као:

- *променљиве меморије* (нема ограничења у погледу измене садржаја локација);
- *полупроменљиве меморије* (садржај се не може мењати нормалним поступком, већ само посебним поступцима у лабораторијама);
- *сталне меморије* (садржај се формира у току процеса производње и ни под којим условима се не може мењати).[3]

2.6. Смештање садржаја и претраживање меморије

Према начину смештања садржаја и претраживања меморије делимо на:

- адресне (тј. адресибилне, ако се помоћу адресе може приступити једном бајту или једној речи)
- полуадресне (ако се помоћу адресе може приступити групи бајтова већој од речи, нпр. дискови)
- безадресне (ако се помоћу адресе не може прићи садржају меморије, нпр. спољне меморије).

Већина меморија савремених рачунара су адресибилне меморије. Безадресне меморије су асоцијативне меморије и стек (магацинске) меморије. Код асоцијативних меморија приступ информацијама садржаној у меморијској локацији врши се преко садржаја локације, односно преко дела садржаја локације названог *кључ*.

Стек меморије се састоје од скупа регистара ($R_1, R_2, \dots, R_n$). Приступ меморији се увек остварује преко регистра R_1 названог глава стека. Упис података се увек врши у регистар R_1 с тим што се претходно садржај регистара у стеку секвенцијално помере из једног у други регистар за један корак (податак који је био у R_1 преписаће се у регистар R_2 , док ће се податак који је био у R_2 преписати у регистар R_3). Читање је могуће само из регистра R_1 , при чему се, након читања, изврши премештање садржаја осталих регистара супротно у односу на процес уписивања (садржај регистра R_3 се преписује у R_2 , а садржај регистра R_2 се преписује у регистар R_1). Овакве меморије се често називају

и LIFO меморије (Last In First Out - последњи уписан први прочитан). Постоје и FIFO меморије (First In First Out - први уписан први прочитан) код којих се садржај уписује у први слободни регистар, а читање се увек врши из регистра R1 након чега се извршава померање садржаја као код LIFO меморија.[3]

2.7. Организација меморије

Са логичке тачке гледишта, меморија је организована као матрица ћелија, при чему се у једну ћелију може уписати једна бинарна цифра, тј. један бит. Ћелије су груписане по редовима матрице.

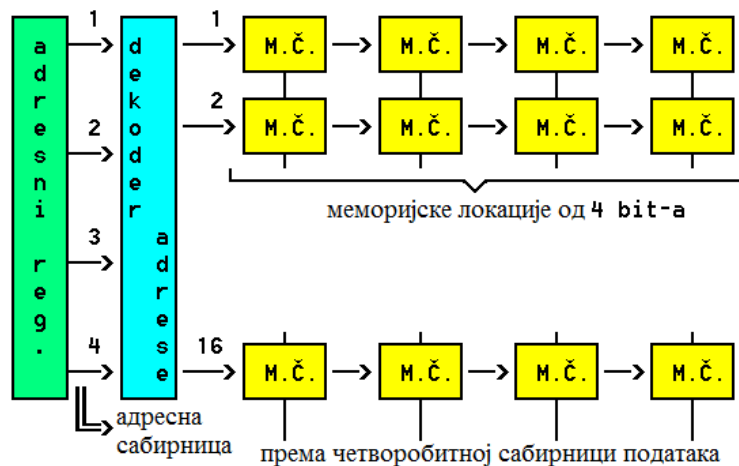


Слика 2.1 - Организација матрице [3]

Сваки ред у матричном меморијском пољу има своју адресу помоћу које се та локација може адресирати, ради уписа или читања информације. Сваки ред матрице на слици има по 16 бита.

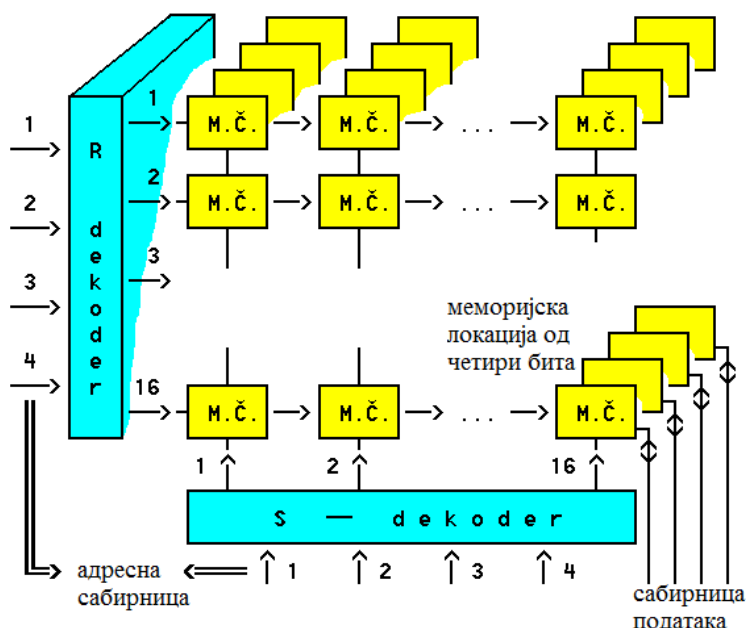
Постоје два типа организације меморије: *дводимензионална* и *тродимензионална* организација.

У дводимензионалној меморији елементи су поређани један до другог, тако да низ тако поређаних елемената (један ред) чини једну реч. Меморијски елементи сврстани у вертикалне колоне чине бите исте тежине у различитим речима. Једну димензију чине адресе локација, а другу дужина речи. Недостатак је што је потребан велики број водова за селекцију речи, односно онолико водова за селекцију колико има речи.[3]



Слика 2.2 - Дводимензионална организација меморије[3]

Тродимензионална организација меморије је она код које се селекција поједине меморијске ћелије не изврши до краја у посебном спољашњем декодеру, него се део селекције изводи и у самој меморијској ћелији. Најједноставнији начин таквог адресирања појединих ћелија је кад се адресни регистар и декодер поделе на две половине – једна за хоризонтално, а друга за вертикално адресирање. Свака половина одабере по једну адресну линију у складу с податком који је записан на одговарајућој хоризонталној, тј. вертикалној половини адресног регистра. Адресира се само она меморијска ћелија која је на средини одабране хоризонталне и вертикалне линије. Недостатак је што се адресира само једна меморијска ћелија у једној равни тродимензионалне меморије. Та ћелија представља један бит адресиране речи. Да би добили више битова у свим речима, треба употребљавати онолико равни меморије колико су дуге речи које треба запамтити. Дужина речи представља трећу димензију, а бити једне меморијске речи налазе се један испод другог у разним равнима меморије.



Слика 2.3 - Тродимензионална организација[3]

Предности дводимензионалне и тродимензионалне меморије су да оне омогућавају случајан приступ сваком податку. Оне се стога, називају меморијама са случајним приступом.[3]

2.8. Латенца

Латенца је мера одлагања од тренутка задавања задатка до тренутка када се податак пребаци. То је функција највећег опсега, времена почињања (lead off time) и мешања између више уређаја. У основи, процесори су осетљивији на латенцу од ширине опсега зато што раде са мањим целинама података, и зато што могу да узалуд потроше пуно времена чекајући критичне податке. Насупрот овоме, У/И трансфери података су релативно дуги, и пропусност је важнија од кашњења.

Подаци који се генеришу ка, и из меморије морају проћи кроз hab меморије, и у великом броју случајева и кроз У/И hab. Ове компоненте су заправо chip set или core logic, и дају највећи допринос кашњењу од уређаја до меморије. Они могу да ограниче или искористе способност системске меморије, и морају да буду дизајнирани тако да направе баланс ширине опсега, преноса и распоређивања преноса података за оптимални рад меморије.[3]

2.9. Пропусност меморије

Пропусност меморије је мера стопе по којој податак може да се преноси са, и на меморију, и обично се изражава у мегабајтима по секунди (MB/sec). Највећи опсег је теоретски максимум преноса између било ког уређаја и меморије. У пракси долази до смањење највећег опсега укључивањем разних уређаја, а такође и због „lead-off“ времена које је потребно да уређај преузме први бит податка након задавања инструкције.

Требало би да постоји адекватни опсег меморије, који би могао да подржи и уређаје са највећом брзином, а и да спречи мешање између уређаја. У многим системима, меморија или У/И hab је дизајниран тако да испуњава највеће захтеве раздвајањем преноса и сређивањем захтева меморије.[3]

3. Секундарна меморија

Као што је у претходном поглављу речено, *секундарна (помоћна) меморија* се користи се за чување програма и података који нису стално потребни процесору. Код највећег броја савремених рачунарских система, физички капацитет инсталиране главне меморије није тако велики као адресни простор који се може остварити декодирањем свих адреса процесора. Када програм не може у потпуности да се смести у главну меморију, део који се у том тренутку не извршава (користи) се смешта у секундарну меморију као што је диск. Наравно, сви делови програма који се извршавају морају бити смештени у главној меморији. Када неки нови сегмент програма треба да се копира у комплетно попуњену главну меморију, он мора да се замени другим сегментом који се већ налази у главној меморији.

Секундарне меморије се користе за чување скупова података знатно већег обима у односу на оне који се могу чувати у главној меморији. Обично се за реализацију ове меморије користе магнетне траке и дискови итд. Да би се дошло до садржаја секундарне меморије он прво мора да се (привремено) пребаци у примарну (радну) меморију, а по завршетку обраде (уколико је то потребно) „врати“, односно адекватно ажурира одговарајући садржај секундарне меморије. За разлику од радне меморије, садржај секундарних меморија не губи се након искључивања напајања. У секундарним меморијама смештени су оперативни систем, програми и подаци који се обрађују.

За приступ секундарној меморији потребни су додатни системи и често мноштво процесорских инструкција ради контроле тих додатних система. Због тога је приступ секундарној меморији и далеко компликованији и спорији него примарној меморији. Три стандардна медија која се користе за меморисање садржаја секундарне меморије, односно фајлова су: *магнетни дискови, оптички дискови и магнетне траке*. У новије време, све се више користе *USB flash модули и SD дискови (Solid State Drive)*. [2]



Слика 3.1 - Магнетни диск (хард диск)



Слика 3.2 – Оптички диск



Слика 3.3 - USB flash модулу



Слика 3.4 – SSD уређај

3.1. Магнетни дискови

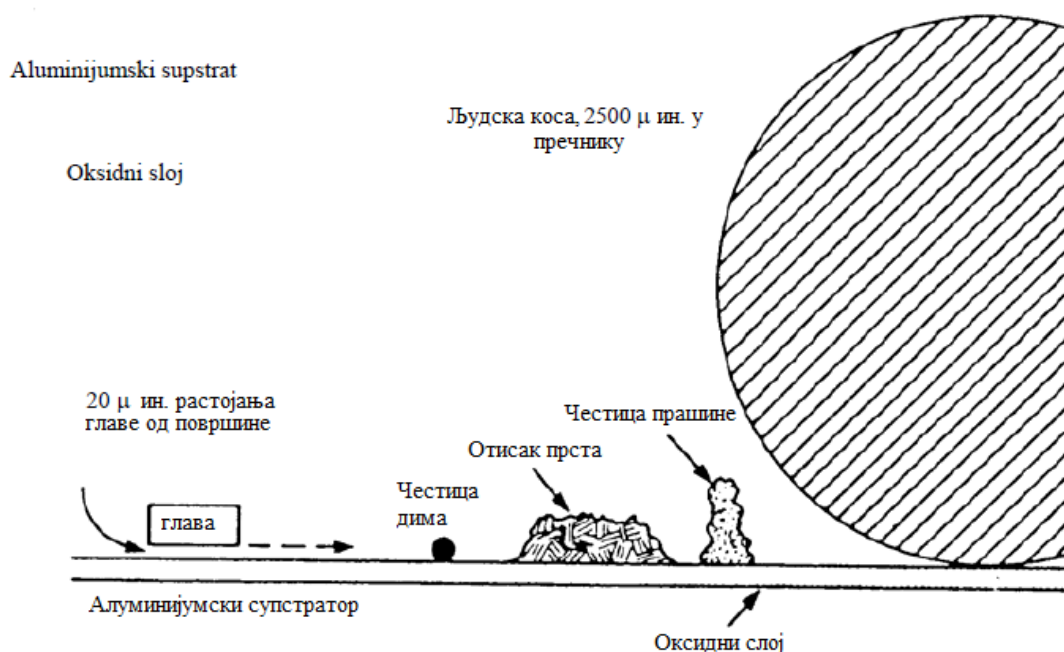
Магнетни дискови су уређаји за меморисање фајлова чији се рад заснива на ротацији диска чије су површине пресвучене материјалом који се може намагнетисати и на њима се смешта дигитална информација. Главама за упис/читање, који су саставни делови јединице магнетног диска, читају и уписују подаци на диску. Јединице магнетног диска (disk drives) у суштини представљају уређаји са *производним приступом* (random access devices), јер им се глава за читање/упис може независно позиционирати на било коју тачку на диску.

Разликујемо два типа јединица магнетног диска:

- *Флопи дискови* (Floppy disks), или *дискете*, су они типови дискова који се могу премештати са једне јединице на другу.
- *Крути дискови* (Hard disks) су фиксни и не могу се преместити, тј. селити.

Флопи дискови направљени су од истог материјала као и магнетне траке (Fe_2O_3 на Mylar бази). Као и код трака, глава за читање/упис је у директном контакту са медијумом.

Хард диск је плоча метала (или субстрата) од 5 до 10 инча у пречнику, на коју је нанесен магнетни материјал, обично са обе стране диска. С обзиром да су дискови крути, глави за упис/читање се не дозвољава контакт са диском у току нормалног рада, јер може доћи до катастрофалних оштећења (познатих као пад главе). Глава у суштини лебди изнад површине диска. Ово захтева да околина, у којој диск ради, буде врло чиста. На слици 3.5 приказан је однос величина честице у ваздуху и разних прљавштина и растојања главе од диска.

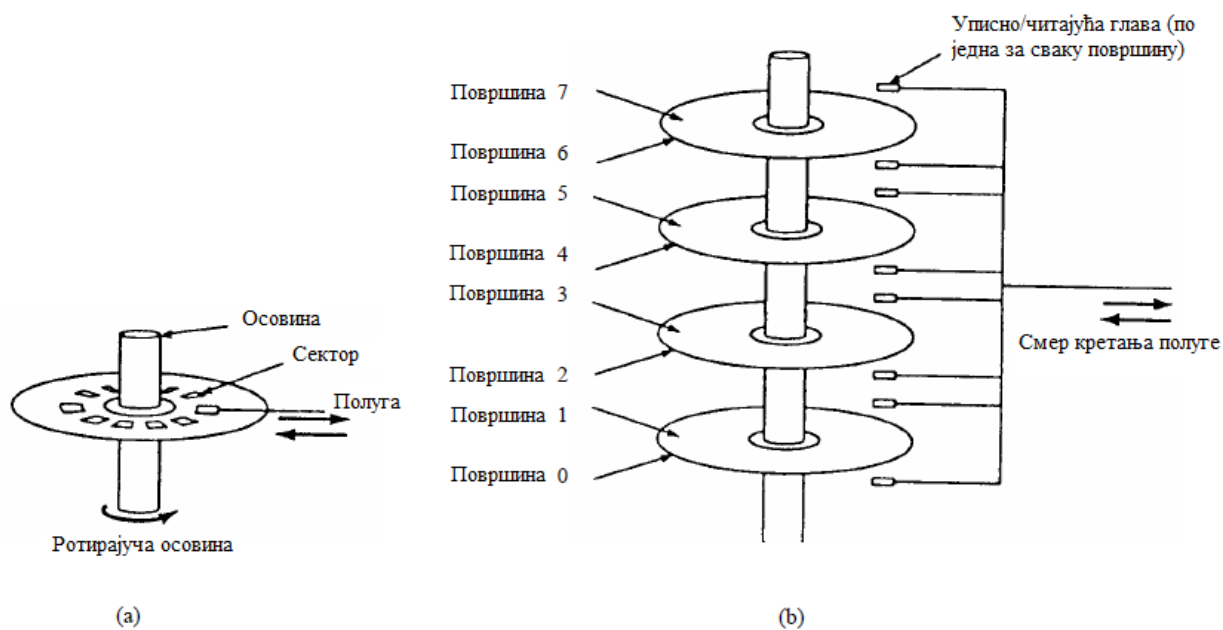


Слика 3.5 - Поређење величине размака главе од подлоге са различитим честицама и нечистоћама.[11]

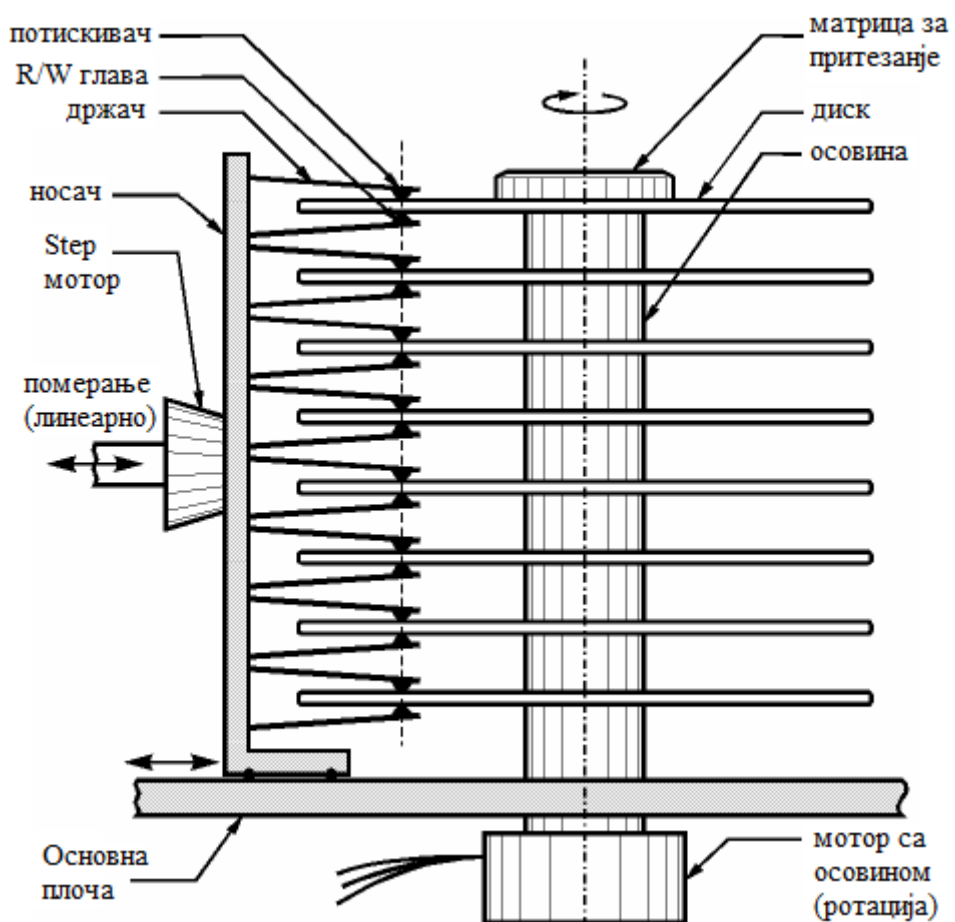
Предност хард дискова је у томе што су они механички стабилнији од флопи дискова. Ово обезбеђује да размак између писти на хард диску буде мањи, а сходно томе и количина информације која се може меморисати да буде већа. Такође и брзина окретања хард дискова је већа што обезбеђује да брзина преноса података буде већа. Са друге стране, предност флопи дискета (са изузетком и неких хард дискова) је што су преносиви, што указује да можемо располагати са неограниченим износом "off-line" меморије.

Флопи дискете и хард дискови се израђују у различитим димензијама. Флопи дискете су најчешће димензија 8 и 5,25" (*minifloppy*) и 3,5" (*microfloppy*). Први Флопи диск драјвови су користили само једну страну дискете (*single-sided*). "*Double-sided*" драјвови користе обе стране дискете, па се на тај начин дуплира капацитет. "*Double-sided*" драјвови имају две уписно/читајуће главе, по једну са сваке стране. Флопи дискови се данас више не производе јер је њихова употреба, појавом новијих USB flesh медијума, смањена на минимум.

Медијум код хард диска се зове тањир (*platter*). Свака страна тањира има своју сопствену главу за читање/упис. Највећи број хард дискова има већи број тањира инсталираних на једној осовини (слике 3.6 и 3.7). У четвртом делу овог рада биће датаљније описан принцип рада хард диска као и који су његови основни делови као и која је његова улога при читању и писању.[2]



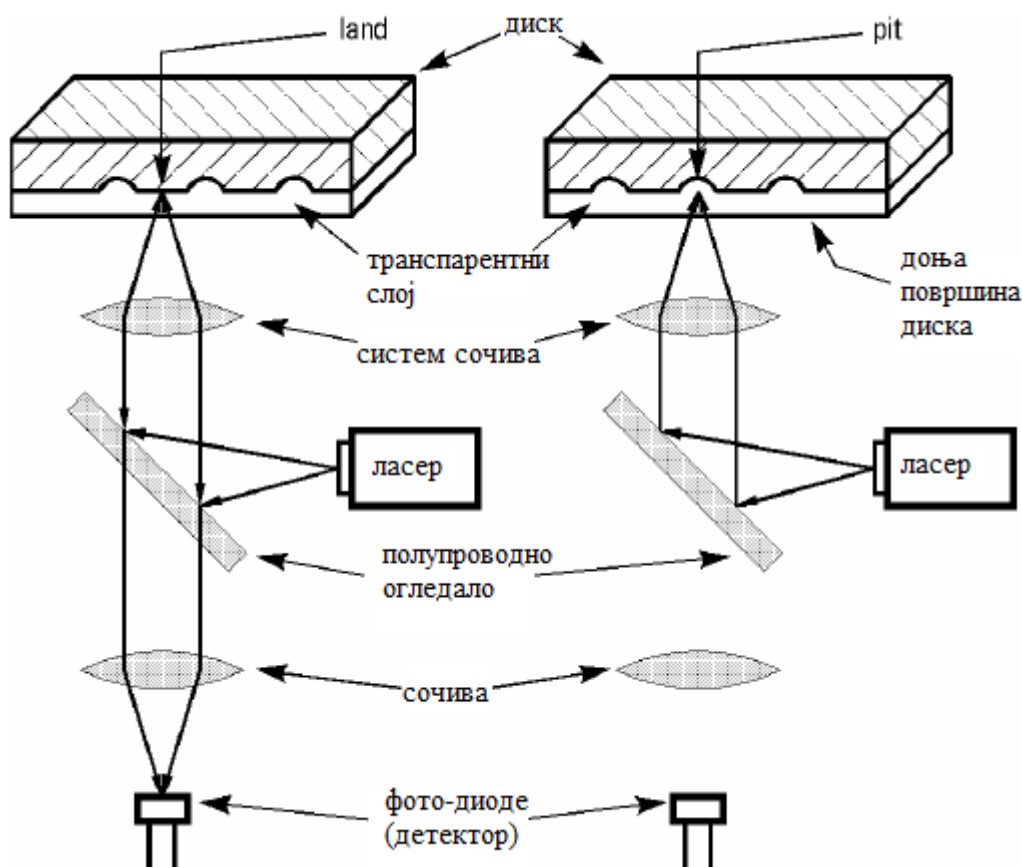
Слика 3.6 - (а) Диск са једним тањиром. (б) Диск са четири тањира [2]



Слика 3.7 - Крути диск са већим бројем плоча[2]

3.2. Оптички дискови

Оптички дискови су познати под именом CD ROM (*Compact Disk Read Only Memory*) и DVD ROM (*Digital Versatile Disk Read Only Memory*), представљају веома јевтин медијум великог капацитета. За израду CD ROM и DVD ROM користи се снажни ласер који сагорева једно-микронске рупе на мастер диску. Од мастер диска се прави матрица. Матрица се након тога користи за штампање копија на пластичним дисковима, пресвученим танком алуминијумском фолијом, слично изради грамофонских плоча. Алуминијумска фолија се након тога прекрива заштитним транспарентним слојем. CD ROM-ови се читају уређајима који су слични CD аудио плејерима. Светлосни сноп који потиче од ласерског извора мале снаге пројектује се на површину диска, а детектор прихвата рефлектовану енергију. Рупе (*pits*) и равне површине (*lands*) имају различите рефлективне особине што омогућава детектору да прави разлику у рефлектованој енергији рупа и равних површина. На слици 3.8 приказан је основни принцип рада CD ROM-а.



Слика 3.8 - Принцип рада CD ROM-а; (а) рефлексија са равне површине (*land*);
(б) рефлексија са рупе (*pit*).[2]

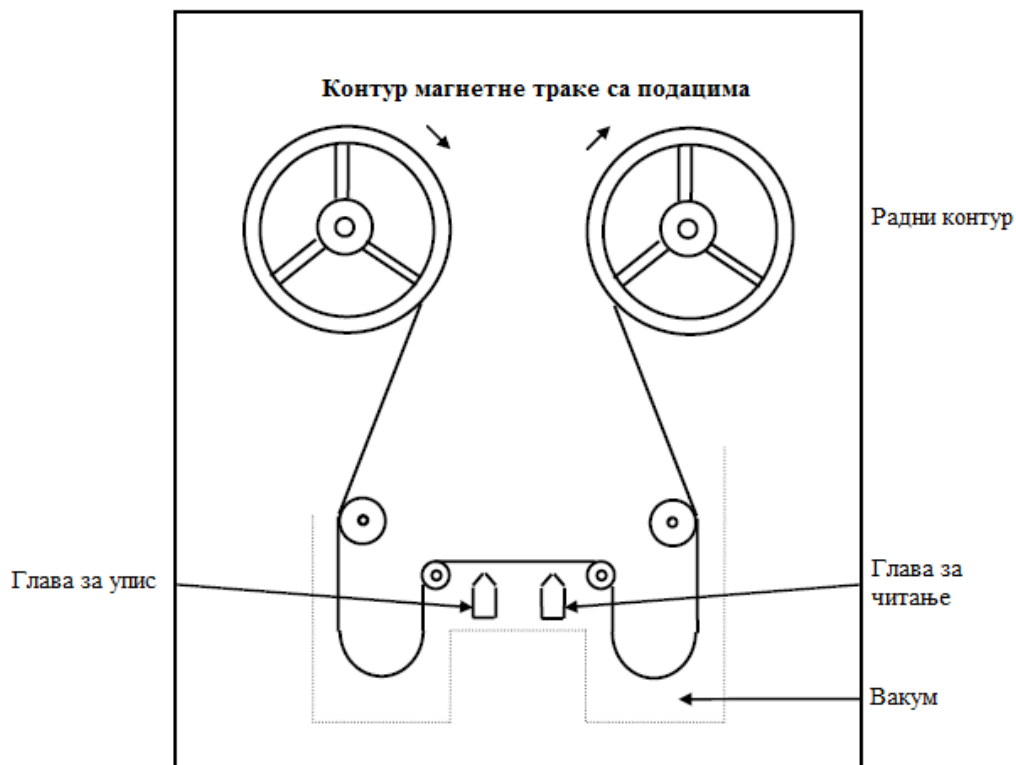
Данас све већу популарност граби *Digital Versatile Disk* односно DVD. DVD је донео знатно повећање капацитета у односу на CD (од 1,46 GB до 17,08 GB, а највише се користе величине од 4,7 GB) и није се ограничавао на посебну врсту записа. У стварности је запис на DVD диску често DVD Video који има своје посебности и служи за побољшање квалитетних покретних слика, уз могућност неколико истовремених записа звука, слике, текста на слици („титлова“) итд. [2]

3.3. Магнетне траке

Магнетне траке су биле први тип секундарне меморије. Данас се готово више и не користе. Постоје различити типови уређаја за покретање трака (*tape drive*) почев од "reel-to-reel" дигиталних уређаја за покретање трака, до класичних кућних магнетофона.

Траке се у највећем броју случајева користе као медијуми за архивирање. Запису информације на магнетној траци се приступа секвенцијално. Ако је трака позиционирана на почетак, да би се прочитао физички запис n потребно је прочитати један за другим све физичке записе од 1 до $n-1$. Ако се приступа жељеној информацији која се налази на крају траке, програм треба да прочита скоро целу траку, а то захтева доста дуг временски период (200s). Траке су погодне за рад када су подаци записани на траци секвенцијално. Уређаји за покретање траке (драјв) могу да раде у једном од следећа два начина рада:

- *start-stop* (инкрементални); драјв траке се може стартовати и зауставити на сваком блоку података.
- *strimer*; предвиђени су за читање дугих непрекидних низова података. [2]



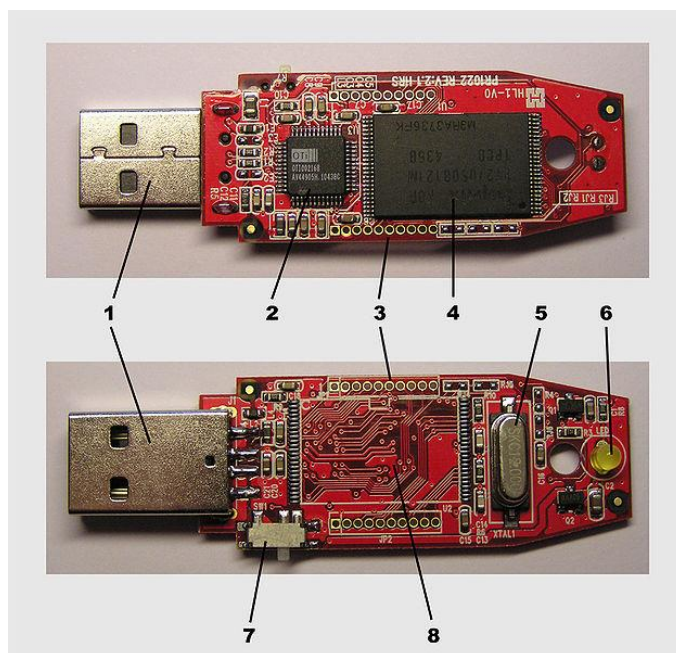
Слика 3.9 - Јединица магнетне траке[2]

3.4. USB flash меморија

USB меморија је медијум за складиштење дигиталних података, базиран на *Flash меморији* NAND типа, и опремљен USB прикључком којим може да комуницира са рачунаром или неким другим уређајем. Развијен је 2000. од стране корпорације IBM. Једноставнија је за употребу од Флопи дискета, CD i DVD дискова, и самим тим се у последње време највише користи за пренос података.

USB меморије подржавају разне брзине преноса података, а данас се могу наћи у слободној продаји у величинама од 128MB до 1TB по врло приступачним ценама. Раније су постојале и USB меморије капацитета од 32 MB и 64MB. Као извор енергије за рад уређаја служи напајање које се добија преко USB конектора.

Flash меморија је врста електроничке EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) меморије која чува податке када је искључен напон, и где се писање, мењање и брисање врши електронским путем. За разлику од "уобичајене" EEPROM меморије, у Flash-EEPROM меморији се бајтови не могу појединачно брисати. Flash меморија се користи тамо где је битно да су подаци смештени на физичко што мањем медију (mp3 плејери, USB стикови итд.) Спада у групу спољних меморија, и не захтева додатне драјвере за рад од Windows-а 98 па на даље. У њој се Flash меморију налази на малој штампаној плочи затвореној пластичним или металним кућиштем.[12a]



Слика 3.10 - Унутрашњи изглед типичне USB меморије:

- 1 - USB прикључак; 2 - Управљачки уређај; 3 - Тачке за тест;
- 4 - Меморијски чип; 5 - Кварцни осцилатор; 6 - LED лампица;
- 7 - Сигурносни прекидач за заштиту од преснимавања;
- 8 - Простор за још један меморијски чип.

3.5. SSD уређај

Друга врста flash диск технологије је SSD, тј. *Solid State Disc*, која због још увек превисоке цене (али која полако пада) јако полако улази у масовну употребу јест уређај који се понаша као класични (непреносиви) механички диск, а исто као и USB flash диск заснива се на *flash меморијским* чиповима. Разлика је у томе што се овај уређај спаја на интерфејс складиштеног подсистема а не на УСБ, и са њега је могуће подићи систем као и са механичког диска, уз пуно већу брзину рада. Овакви дискови се такође користе за потребе тестирања квалитета матичних плоча и дисковних контролера у фабрикама у којима се ови уређаји производе. Нешто више о овим уређајима биће касније описано у петом одељку. [12]

4. Хард диск

Први хард дискови, настали као резултат многих експеримената направио је IBM 1955. године а изумео га је Ренојлд Џонсон (Reynold Johnson). Први комерцијално доступан диск, IBM 305 RAMAC (Rondom Access Method of Accounting and Control), направљен крајем 1956. године, имао је капацитет од 5 милиона карактера (отприлике 5MB). Састојао се од 50 дискова (плоча) пречника 61cm. Имао је једну главу (уместо једну по површини) па је време приступа било јако дуго.

Први хард дискови су имали капацитет од 5 до 10MB и време приступа од 35ms али се развојем технологије капацитет дискова повећавао а време приступа смањивало. Данас се капацитет хард дискова креће обично у распону од 320GB до 2TB а просечно време приступа је 8 до 10 ms.



Слика 4.1 - Хард диск пре и данас

Поред капацитета, важне карактеристике хард диска су и брзина и величина. Брзина хард диска се рачуна по обртају диска у минути. Данас постоје хард дискови чије су брзине окретања диска 5400 и 7200 обртаја у минути.

Данас постоје дискови величине 3,5” за десктоп рачунаре и 2,5” за лаптопове. Пре ових постојали су дискови од 5,25” којих данас нема нигде у употреби, евентуално изложени као експонати у неким музејима.

Сваки хард диска поседује *ATA* или *SATA* интерфејс за повезивање са матичном плочом.

За многе кориснике рачунара хард диск је нека врста црне кутије – мали уређај који „некако“ складишти и чува податке. У овом делу ћемо разјаснити како у ствари ради хард диск, који су његови основни делови и која је његова улога при читању и писању.

На почетку да се упознамо са неким од основних делова (компонената) хард диска. На слици 4.2 , може се видети унутрашњост хард диска. Означене су пет главних компонента: *магнетна плоча*, *глава за читање/писање*, *побуђивач* (актуатор), *погуђивачка казаљка* (актуаторска рука) и *осовина*. [5][6]

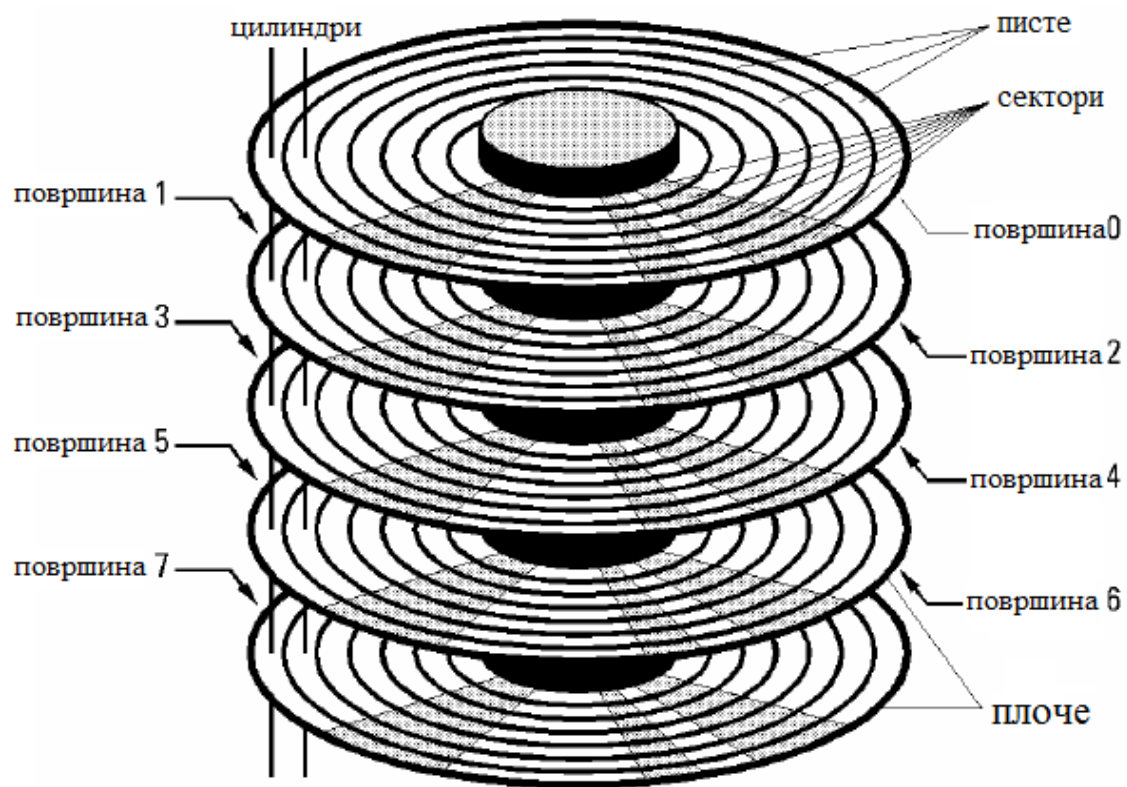


Слика 4.2 - Главни делови хард диска

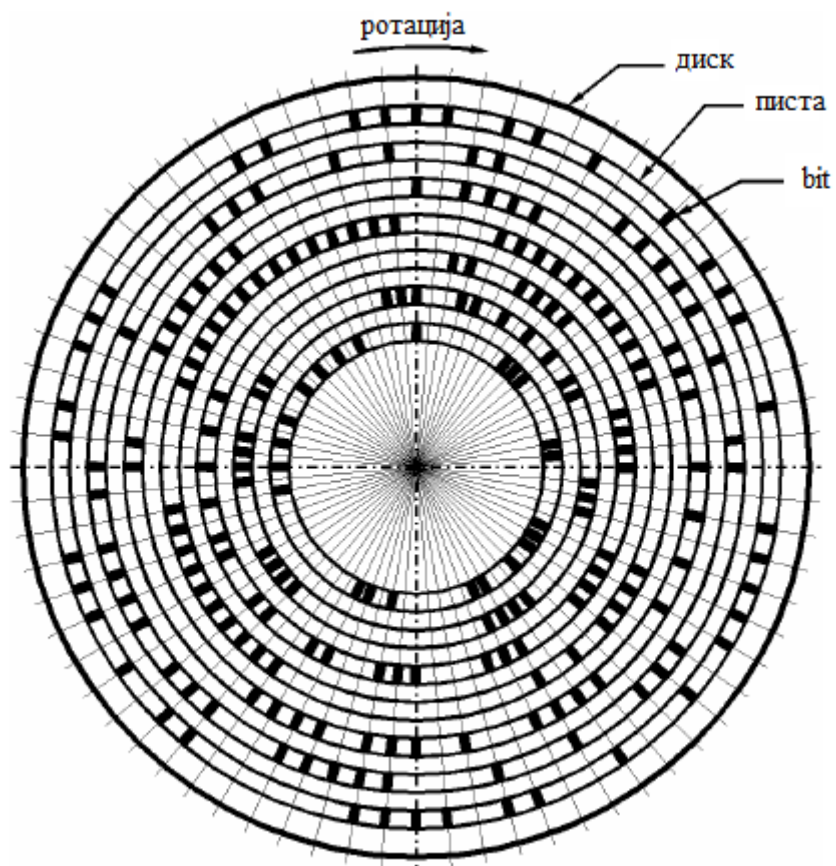
4.1. Принцип рада

Хард диск користи кружне равне дискове зване *плоче* који су са обе стране пресвучене специјалним материјалом дизајнираним да складишти информације у магнетској форми. Плоче имају отвор у центру и причвршћене су на *осовини* (слика 4.2). Плоче се окрећу великом брзином уз помоћ специјалног мотора који служи да okreће осовину а самим тим и плочу. Специјални елекромагнетски уређаји за читање/упис које се зову *главе* постављене су на *слајдере* и служе за уписивање на диск или читање са њега. Сви *слајдери* су монтирани на *актуаторске казаљке* које су механички спојене (заједно се померају) и позиционирани изнад површине диска помоћу уређаја који се зове *актулатор* (побуђивач). Контролерска логика на штампаној плочи контролише активности свих компонената диска и комуницира са остатком рачунара. Цео хард диск мора бити израђен са великом прецизношћу због огромне минитуризације компонената и унутрашњост мора бити изолована од спољашњег света да не би дошло до оштећења главе или саме површине диска и тиме довело до губитка података.

Подаци се на диск уписују у концентричним круговима који се зову *писте* (*tracks*). Што је ближа центру диска дужина писте је краћа а што је даље од центра постаје све дужа и дужа. Диск се обрће око своје осовине константном брзином и самим тим је и брзина преноса података константна. На свакој писти се смештају исти број битова а густина записа је највећа на пистама ближе центру. Скуп свих писта које се налазе на истом растојању од осовине назива се *цилиндар* (слика 4.3). Свака трака је угаоно подељена на секторе који садрже по 512 бајтова и представљају најмањи блок ком може да се приступи. Број сектора може бити једнак на свим цилиндрима, а може бити и мањи на унутрашњим а већи на спољним, да би се омогућила равномерна густина записа и оптималнија употреба већег обима спољних цилиндра. Подаци се брже преносе са спољних него са унутрашњих цилиндра.



Слика 4.3 - Логичке компоненте крутог диска[2]



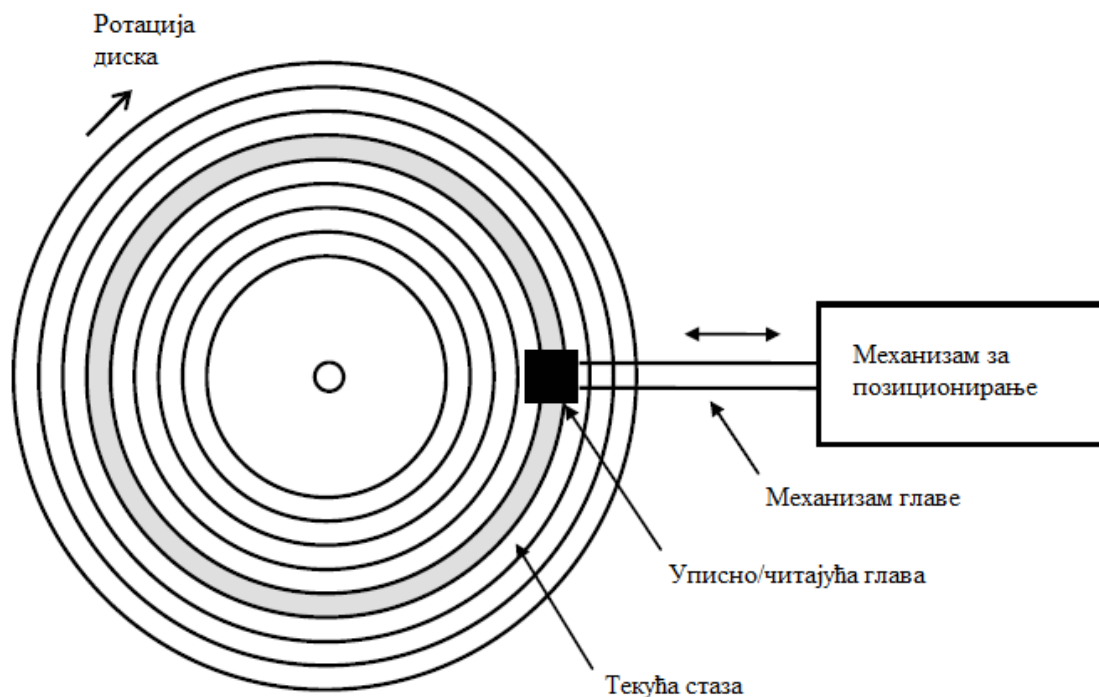
Слика 4.4 - Уређеност писта на диску у виду концентричних кругова[2]

Сваки туп када са хард диска треба да се прочита нека информација на самом почетку, пре самог приступа диску треба да се одреди на којој позицији на диску се налази тражена информација. То је задатак саме апликације која тражи податак, оперативног система, системског BIOS-а и специјалних драјвера за диск. Та позиција се кроз више корака превођења преводи у геометријску позицију на диску израженим редним бојем цилиндра, главе и сектора или апсолутног редног броја сектора од почетка диска који систем или апликација жели да прочита. Захтев се шаље диску кроз интерфејс хард диска тако што се диску пошаље овако створена адреса и захтев за читање.

Контролерска логика хард диска прво проверава да ли је тражена информација можда већ у интерном буфер-у хард диска или у његовом кешу. Уколико јесте, контролерска логика одмах прослеђује информацију преко интерфејса до одредишта, без потребе да се чита са површине диска. У већини случајева плоче са диска се већ окрећу, ако то није случај онда ће контролер диска активирати специјални мотор да бих довео диск до операционе брзине.

Контролерска логика даје инструкције актуатору да помери главе за читање/писање на одговарајући цилиндар (стазу). Када главе дођу до тачно тражене позиције контролерска логика активира одговарајућу главу, која почиње да читава бројеве сектора са тражене стазе. Глава чека док се испод ње не нађе одговарајући сектор и када се то догоди она прочита садржај тог сектора. Након тога преусмерава ток информација из хард диска у привремени буфер или кеш меморију. Када се све то заврши она шаље информације преко хард диск интерфејса до системске меморије чиме је операција читања завршена.

Процес уписа информација на хард диск је обрнутог редоследа од читања. [2][11]



Слика 4.5 - Принцип читања (писања) на хард диску[11]

5.SSD уређај

Solid State Drive је уређај који чува податке користећи *flash* меморију уместо магнетног или оптичког ротирајућег диска. *SSD* нема покретних делова и представља будућност чувања података на рачунару.



Слика 5.1 - Solid State Drive

"Революција" *SSD-ova* "прети" да замени хард дискове у већини рачунара, па многи произвођачи већ данас нуде *SSD* уместо класичног хард диска. *SSD-ovi* су доста бржи, екстремно робуснији и користе доста мање енергије. Треба навести и то су мањих димензија, праве се у 2.5" стандарду. Повезују се матичном плочом преко *SATA* интерфејса. Нека истраживања говоре да ће у потпуности заменити хард дискове за мање од деценије.

Solid state је електронски израз који се односи на електронско коло које је изграђено у потпуности од полупроводника. Израз је оригинално коришћен да дефинише електронику као што су радио транзистори који користе полупроводнике уместо вакуумских цеви. Већина електронских справа које се данас користе су конструисане од полупроводника и чипова. У случају *SSD-a*, назив се односи на то да се као примарни медијум за складиштење користе полупроводници уместо магнетних плоча као код хард дискова.

Сад кад је разјашњено шта је *SSD* може се рећи да овакав тип уређаја за складиштење података већ постоји као *flash drive* који се са рачунаром повезује преко *USB* порта. Ово је делимично тачно јер и *flash drive* користи исту врсту *flash* меморије, која задржава информације и када није напојена електричном енергијом. Међутим разлика је у облику и капацитету. Док је *flash drive* предвиђен да буде екстерни уређај, улога *SSD-a* је да обитава у рачунару као традиционални хард диск. Да би постигао своју сврху, *SSD* мора да буде стандардне величине као и хард диск, дакле 2.5" или 3.5". Такође мора да поседује *ATA* или *SATA* интерфејс за повезивање с матичном плочом. [7][12][13][14]

5.1. Кратка историја SSD уређаја

SSD уређаји у буквалном смислу су присутни од 1950-их, али тек је 1983 представљен први "модеран" SSD. Лаптоп *Sharpos PC-5000* је имао интерну меморију од 128 *kilobytes* и користио је технологију сличну данашњим хард дисковима. Тада би један гигабајт коштао око милион долара. 1986 компанија Санта Клара Системи (*Santa Clara Systems*) је представила "*BatRam*", који је користио модуле од 4MB који су се понашали слично као данашња RAM меморија. Захтевала је батерије како би задржала податке после нестанка електричне енергије.

Тек су се 1995 појавили SSD уређаји базирани на *flash* технологији. Они су радили на истом принципу као и данашњи уређаји и задржавали су информације и после прекида са електричном енергијом. Таква технологија је испрва коришћена у војне сврхе. Прошло је скоро 15 година док се није почела примењивати и на рачунаре из цивилног сектора.

Flash меморија је свој деби на великој сцени електронских уређаја и софтвера имала у форми меморијске картице за дигиталне камере, као *Compact Flash (CF)* картица 1996. Тада је 2MB коштало 149 долара, што је 74 500 долара по гигабајту.



Слика 5.2 - Compact Flash Card

USB Flash drive је јавности приказан први пут пред крај 2000. године. *IBM* је представио "*DiskOnKey*" капацитета 8MB по цени од 49 долара. Што је и даље 6 125 долара по гигабајту. То је била превисока цена, али пошто је алтернатива била дискета 1.44MB, итекако је имала смисла, јер је "*DiskOnKey*" имао пет пута већи капацитет, није био осетљив на огреботине, магнетизам и прашину. И наравно, био је значајно бржи.



Слика 5.3 - "DiskOnKey"

Usb flash уређаји су тада кренули значајно да напредују. И до 2003 су били доступни широм целог света са 32, 64 и 128MB капацитета. Тада је 64MB коштало око 70 долара, што је било 1095 долара по гигабајту. И од тада су цене кренуле само на доле. Данас се *flash drive* од 4GB може наћи за 3 долара што је око 0,75 долара по гигабајту. Уз то, њихов капацитет је знатно порастао и данас их можемо наћи до 256GB и то по цени од око 100 долара, што је 0,40 долара по гигабајту. Уређаји који складиште податке помоћу *flash* меморије први пут су се појавили у електронским уређајима масовне производње 2005, али не у рачунарима. *iPod Shuffle* и *iPod Nano* су први који су донели *flash* меморију милионима потрошача широм света. Појавили су се са капацитетом од 512MB, 1GB, 2GB и 4GB.



Слика 5.4 - *iPod Shuffle* и *iPod Nano*

Компанија *Alienware* која је специјализована за производњу играчких лаптопова и рачунара 2007 нуди SSD капацитета 32GB као опцију уз своје рачунаре. Овај уређај је коштао 500 долара, што је око 15 долара по гигабајту. Тада је то била превелика доплата у односу на хард диск са доста већим капацитетом.

2008 компанија *Apple* представља јавности *MacBook Air*. Овај изузетно танак лаптоп је долазио са *SSD-om* од 64GB или са обичним хард диском од 80GB који су били у 1.8" формату. Ово је био први мејнстрим *SSD* величине 1.8". Али и даље је корисник морао да доплати 1300 долара за опцију са *SSD-om*. Цену су оправдавали тиме да је поступак израде мањег *SSD* од 1.8" доста скупљи. И тада је он због цене био недоступан ширем кругу корисника.

Apple је крајем 2010 избацио нов модел *MacBook Air-a*. То је био велики корак напред за *SSD* уређаје, јер није постојала опција да се нови модел лаптопа купи са класичним хард диском. Обичан хард диск није могао да се угради јер је развијена технологија која повезује *SSD* са матичном плочом преко *mini-PCIe* интерфејса. То је био такозвани *Blade SSD*. [12][13][14][15]



Слика 5.5 - MacBook Air

5.2. Подела SSD уређаја

Подела SSD уређаја је извршена на три врсте, технологији коју користе, интерфејсу за повезивање и величини у коме долази.

Прва подела је према технологији. Прва врста по тој подели су *DRAM SSD-ovi* јер они су један од најстаријих SSD уређаја, мада постоје ситуације када се и данас користе. Овакав тип уређаја није практичан за већину корисника. Капацитет им је обично мали, најчешће до 8GB. Овај вид SSD уређаја користи исте RAM модуле који се убацују директно у матичну плочу. Цена у односу на капацитет је поприлично висока и овај вид захтева константно напајање чак и када је рачунар искључен, иначе су подаци које складишти потпуно изгубљени. Али ипак је ово један од најбржих SSD-ova и савршен је за послове који захтевају екстремно брз приступ привременим подацима као што је случај у видео едитовању.



Слика 5.6 DRAM SSD

Следећа врста је такозвани *Flash (NAND)*. Ово је најраспрострањенији вид SSD уређаја на данашњем тржишту. Иако није тако брз као *DRAM* ипак је знатно бржи од класичног хард диска. И што је веома важно не захтева константан извор напајања, што значи да подаци остају сачувани и када је рачунар искључен.



Слика 5.7 - Flash (NAND) SSD

Овакав тип *SSD-a* може бити *MLC* или *SLC*. *MLC* је скраћеница за *multi-level cell*, што би у преводу било вишестепена ћелија, а *SLC* је скраћеница од *single-level cell*, у преводу једностепена ћелија. Ово значи да сваки транзистор (или ћелија) у *MLC* драјву држи два бита, док *SLC* држи само један.

Када проверава податке, *SLC* драјв проверава да ли је бит 1 или 0. С друге стране, свака ћелија код *MLC* уређаја има четири стања: 11, 10, 01 и 00. Самим тим *MLC* уређај исти процес као *SLC* завршава три пута дуже.

Крајњи резултат је тај да је *SLC* бржи приликом трансфера података. Потребно му је мање струје и има више читај-пиши циклуса, али и упола мање капицитета него *MLC* са истим бројем транзистора. Што би значило да је скупљи за израду. Што га даље удаљава од обичног корисника, али га чини идеалним за ентерпрајз сервере који захтевају боље перформансе и стабилност.

Последњи уређај из поделе према технологији је такозвани хибридни *SSD* уређај. Пре неколико година они су представљали будућност уређаја за складиштење података код рачунара, али су одједном “потонули” без икаквог трага.

Шта је хибридни *SSD* уређај можемо претпоставити из самог имена. То је хибрид између класичног хард диска и *solid state drive-a*. У суштини то је хард диск са магнетним плочама и малим бројем чипова *SLC flash* меморије. *Flash* меморија је ту да би помогла убрзање подизања система код рачунара, као и брже стартовање апликација. Фајлови који су потребни за подизање система и покретање апликација би се налазили у *flash* меморији, док би магнетне плоче служиле само за складиштење већих фајлова.



Слика 5.8 - Хибридни SSD

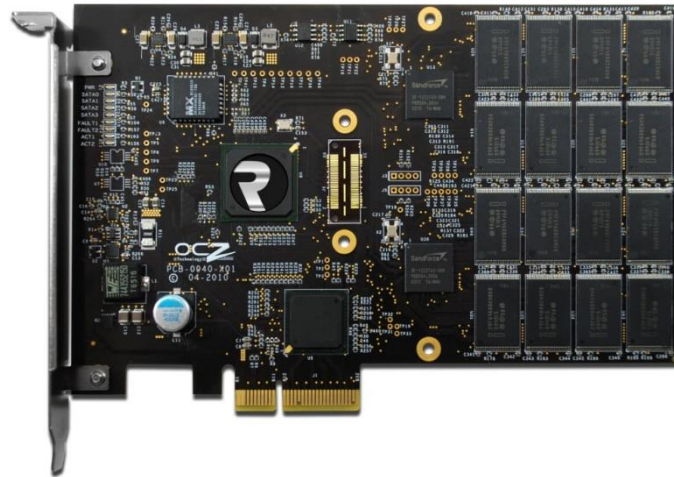
Друга подела SSD уређаја је према интерфејсу који користе за повезивање са матичном плочом.

Први у низу су *ATA/SATA SSD* уређаји. Велика већина SSD уређаја који се налазе на данашњем тржишту је ту како би заменила класичне хард дискове. С тога они морају да се уклопе на место хард дискова и да се повезују на матичну плочу као и они. Што би значило преко *SATA* порта или *IDE* порта за старије уређаје.



Слика 5.9 - SSD са *ATA* интерфејсом (лево) и са *SATA* интерфејсом (десно)

Следећа врста према подели по интерфејсу је *PCIe solid state drive*. Ту спадају SSD уређаји који имају мање конвенционалан приступ користећи доста бржи *PCIe* слот. Они су углавном скупљи. Мана им је то што се са њиховом уградњом губи један *PCIe x16* слот што перформансе самог уређаја надокнађују, а тако ће се ослободити и један *SATA* порт за хард диск. Али треба имати на уму да данашње плоче имају више *SATA* него *PCIe x16* слотова.



Слика 5.10 - PCIe Solid State Drive.

И последња врста SSD уређаја према подели по интерфејсу је *Mini-PCI-e*. Ови SSD-ови се најчешће налазе у нетбуковима и лаптоповима, као и на *mini-ITX* и неким *micro-ATX* матичним плочама код PC-ја. Овакви уређаји опет дозвољавају високе брзине и перформансе, а при томе не заузимају *SATA* порт који недостаје на оваквим плочама.



Слика 5.11 - Mini-PCIe Solid State Drive

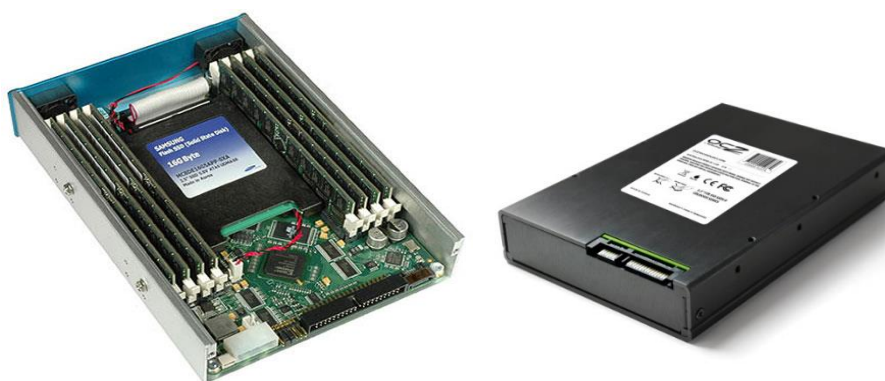
И на крају последња подела према облику и величини. Разматрање креће од највећег, а то је 5.25". Ова величина SSD-а је увек била фаворит за *DRAM SSD* јер с њом има довољно места за *RAM* слотове, конектор напајања, батерију...

Следећи су 3.5". Они нису превише популарни на тржишту. Већ су резервисани за сервере који захтевају високе перформансе које SSD нуди, и то најчешће *SLC SSD*. Мејнстрим SSD-ови најчешће иду до 480GB капацитета и то користећи *MLC* транзисторе, док 3.5" SSD-ови могу да читају и уписују податке и до 750MB/s, што је око три пута брже од неког мејнстрим уређаја. И њихов капацитет досеже и до 1TB. Међутим, цена таквих уређаја је заиста астрономска.

Затим су ту 2.5" што је и најпродаванија величина SSD-а. То је величина која одговара и лаптоповима и персоналним рачунарима. Већина њих долази са 2.5" на 3.5" адаптером како би се уградили на место класичног хард диска у персоналном рачунару.

Потом стижемо до најмање величине, а то је 1.8". Ова величина никада није била популарна као уређај за складиштење података код рачунара. Главни изузетак је прва и друга генерација, *Apple*-овог *MacBook Air*-а. Уместо тога коришћењи су код дигиталних аудио плејера као што је *iPod Classic*.

Ипак иако потреба за 1.8" SSD-овима није велика не може се рећи да исти не постоје. Једна од његових намена је била код старијих система, када би мали SSD са *IDE* конектором, био утакнут директно у матичну плочу. Наравно мана је била што на тај конектор није било могуће прикључити још један уређај, али би перформансе SSD-а то надоместиле.



Слика 5.12 - 5.25" SSD (лево) и 3.5" SSD (десно)



Слика 5.13 - 2.5" SSD (лево) и 1.8" SSD (десно)

Осим у различитим величинама SSD се производи и у различитим облицима. Један од познатијих је "*Blade*" (сечиво). Овај назив се односи на уређај који се састоји од мало више од flash чипа, штампане плоче и конектора помоћу кога се конектује. Назив му је дала компанија *Apple*, када је избацила на тржиште нову верзију *MacBook Air*-а крајем 2010. Овај назив треба да асоцира на дугачки, танки и уски облик, као и недостатак оклопа који би заузео више простора без неког правог доприноса. Али они су у суштини били присутни и пре тога, као доста краћи чипови који су се убацивали у *mini PCIe* интерфејс и били су исте величине као *Wi-Fi PCIe* картице.

Иако се тренутно могу пронаћи само у последњим *MacBook Air-ovima*, ови *SSD-ovi* су намењени и ширем тржишту, с тенденцијом да постану и шире распрострањени.

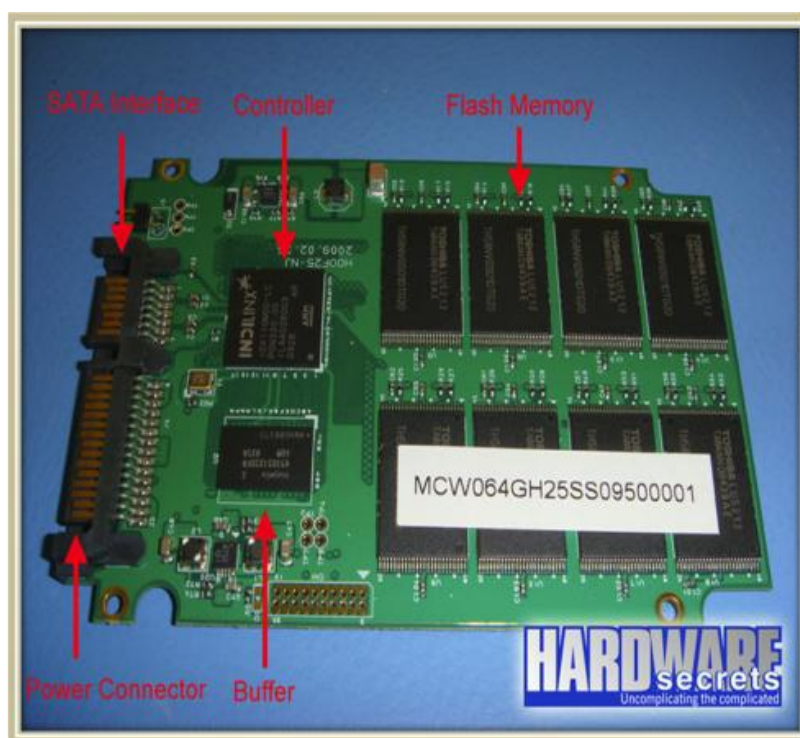


Слика 5.14 - Blade SSD

Постоји још различитих облика *SSD* уређаја који иду од стандардних до тотално авангардних. Саме меморијске картице које постоје у фото апаратима *Compact Flash (CF)* и *Secure Digital (SD)* су *SSD-ovi*. То значи и да је на меморијским картицама могуће инсталирати оперативни систем као на хард диску, није препоручљиво али је могуће. [12][13][14]

5.3. Преглед унутрашњости *SSD* уређаја

На слици 5.15, може се видети унутрашњост *SSD* уређаја. Означене су три главне компоненте: *flash* меморија (*flash memory*), *controller*, *cash* меморија (*buffer*).



Слика 5.15 - Унутрашњост *SSD* уређаја

Flash меморија су чипови у којима се складиште подаци. *Flash* меморија је иста она меморија која се налази у *USB* стиковима и меморијским картицама из дигиталних фото апарата и мобилних телефона. Она свој садржај чува и после губитка напајања, што је разлика између ње и *RAM* меморије која се користи у рачунарима. Главни разлог високе цене *SSD* уређаја је тај што се користи велика количина *flash* меморије.

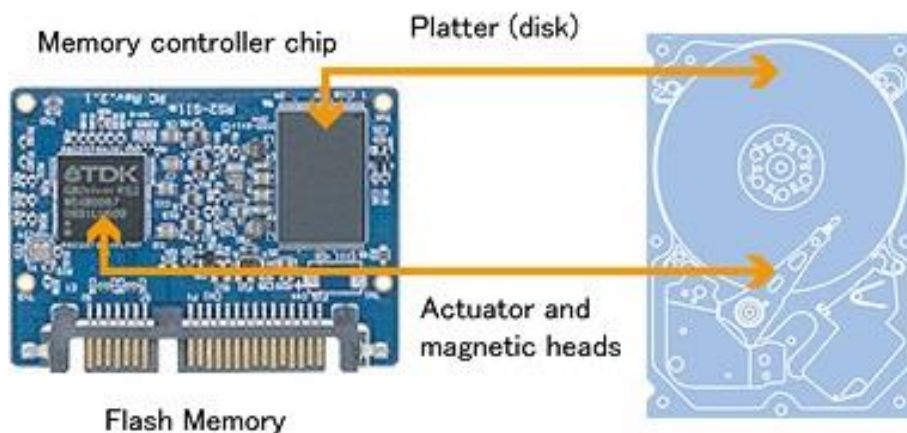
Flash меморија се може производити у два облика то су *NAND* и *NOR*. Тип *flash* меморије која се користи у *SSD* уређајима је *NAND*. Због тога се често може чути да произвођачи *Flash* меморију називају *NAND*. *NOR* технологија дозвољава извршење програмског кода и најчешће се користи у мобилним телефонима.

Један чип *Cash* меморије је опционалан и он је ту да помогне убрзавање комуникације између контролера и *SATA* интерфејса. Нпр, уколико не постоји *cash* меморија или је она малог капацитета, може доћи до периодичног загушења при упису великих количина малих фајлова. Већи чип *cash* меморије веома успешно решава тај проблем.

Контролер је срце *SSD* уређаја и ова компонента одређује колико је сам *SSD* брз. Мали број компанија производи ове чипове, најпознатије су: *Indilinx*, *Intel*, *Samsung* и *JMicron*. Контролер организује низове *Flash* меморије у канале, којима се у теорији може приступити независно. Тако да би контролер са 10 канала вероватно био бржи од онога са 8 канала. Кажемо вероватно због тога што брзина зависи и од других фактора. Контролер се дручачије назива *SOC*, што је скраћеница од *System on a Chip*, преведено на наш језик = систем на чипу.[4][10]

5.4. Принцип рада *SSD* уређаја

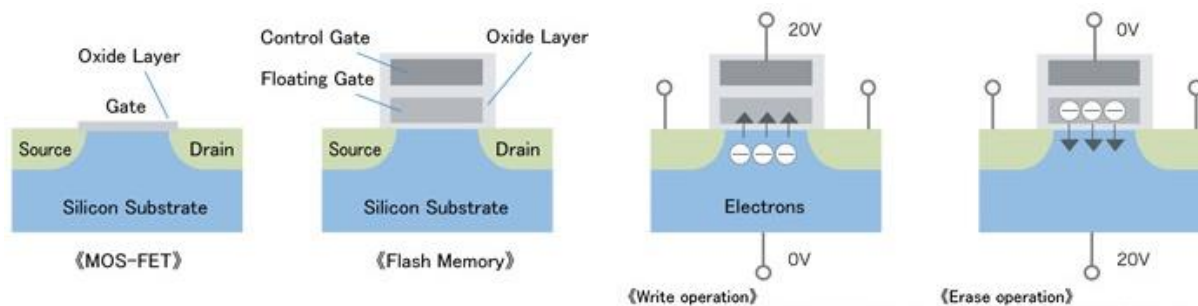
Као и класичан хард диск, *SSD* складишти информације у језику који је разумљив рачунару, тј. бинарном коду - језику нула и јединица. Међутим, уместо да податке складишти оријентишући магнетне полове материјала на ротирајућим дисковима, *SSD* складишти податке "пребацујући" електроне унутар микрочипа .



Слика 5.16 - Поређење *SSD* и *HDD* уређаја

Без икаквих покретних делова (осим наравно електрона), *SSD* користи мање струје и доста је издржљивији од стандардног хард диска. Он чак може да “преживи” и пад са три метра, док хард диск може да обрише све податке уколико његова механичка рука огребе ротирајућу плочу.

У *flash* меморији, свака меморијска ћелија личи на стандардни MOSFET транзистор, само што има два гејта уместо једног. На врху је контролни гејт (CG) као и у осталим *MOS* транзисторима. Испод њега је такозвани "пливајући гејт" (FG) који је потпуно обухваћен и изолован слојем силицијум оксида. Пливајући гејт је истурен између CG и *MOSFET* канала. Пошто је FG изолован слојем оксида, сваки електрон постављен на њега је заробљен ту и под нормалним околностима се неће испразнити годинама. Када FG држи електроне он обухвата и утиче (делимично прекида) електрично поље CG и модификује праг провођења (V_t) MOSFET транзистора. Приликом ишчитавања на CG се доводи напон који је по вредности између могућих прагова провођења, и *MOSFET* канал постаје проводан или остаје изолован у зависности од почетног напона ћелије који је контролисан потенцијалом - количином наелектрисања на FG. Проток струје кроз *MOSFET* се читава и формира се бинарни код - репродукују се сачувани подаци. У вишећелијским системима који "чувају" више од једног бита по ћелији читава се вредност струје (чешће него присуство или одсуство струје) чиме се постиже прецизније читавање нивоа наелектрисања FG.



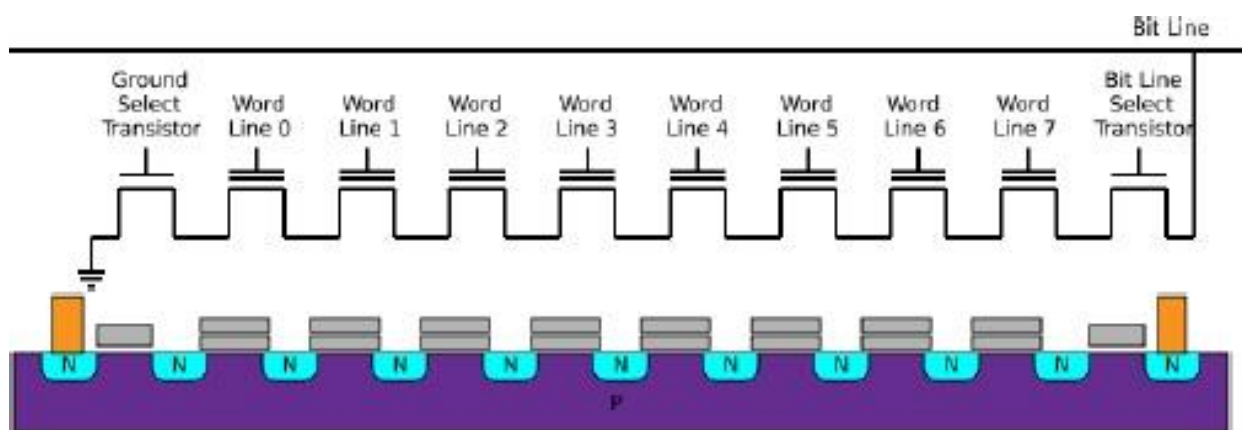
Слика 5.17 - Конструкције MOSFET транзистора

NAND flash такође користи *floating-gate* транзисторе, али су они повезани на начин тако да подсећа на *NAND* коло. Неколико транзистора је серијски повезано и само уколико су све линије на високом логичком нивоу (изнад прага провођења V_t) излазна "бит" линија је на ниском логичком нивоу. Ове групе су онда, са додатним транзисторима, повезане тако да формирају *NOR* логичку структуру.

Приликом ишчитавања већина линија је на високом потенцијалу, изнад напона провођења (V_t) испрограмираног бита, док је једна од њих на потенцијалу мало изнад напона провођења V_t обрисаног бита. Ова серијски повезана група ће се понашати као проводник (потенцијал ишчитаног бита ће бити низак) уколико изабрани бит није програмиран.

Упркос додатним транзисторима, редукција постигнута избацивањем веза ка "маси" и линијама бита дозвољава већи капацитет складиштења података по чипу. *NAND flash* меморија сме да има одређен број грешака (*NOR flash*, уколико се користе као *BIOS ROM* не смеју имати грешака). Произвођачи се труде да повећају количину корисног простора смањујући величину транзистора, испод оне када је њихова производња поуздана, до величине где би даље смањивање повећало број грешака брже него што би помогло повећавање корисног простора за складиштење.

NAND flash користи тунелско "убризгавање" за исписивање и тунелско "ослобађање" за брисање. *NAND flash* меморијске форме чине језгро данашњих *USB* стикова, користе се и у већини меморијских картица и *SSD* уређаја.

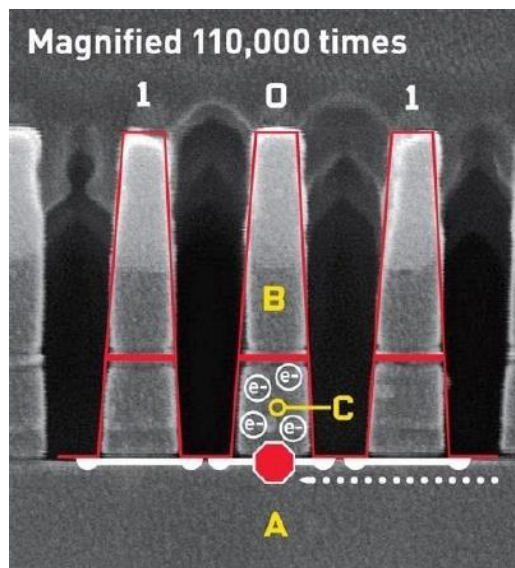


Слика 5.18 - *NAND flash* меморија[12]

Flash меморија складишти нуле и јединице у милионима минијатурних транзистора, од којих је сваки и до хиљаду пута тањи од власи људске косе. Уколико транзистор проводи струју, чип то очитава као јединицу, уколико нема проводности онда то чип очитава као нулу. Напон тече одмах испод транзистора испод основе чипа, тзв. субстрата.

Када је чип празан сви транзистори су подешени на јединице. Али када "притиснемо" сачувај, чип почиње да складишти податке тако што блокира довод напона до неких транзистора и тако их претвара у нуле. Да би то радио чип кратко прикључује 20V на део транзистора названог *control gate* (контролна капија). Ова операција повлачи електроне на други крај силиконског транзистора *floating gate* (плутајућа капија), остављајући позитивно наелектрисано подручје директно испод FG, а притом разбијајући стандардну путању којом тече струја.

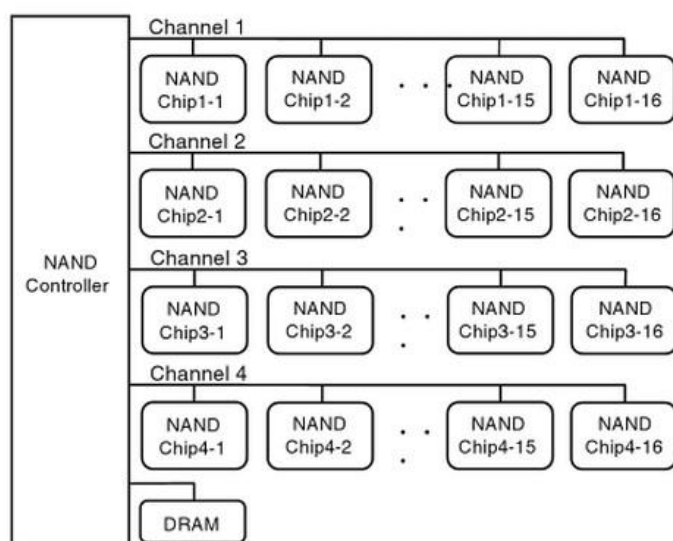
Једини начин померања електрона и промене образаца нула и јединица, а самим и тим и промене података је довођење одговарајућег напона на транзисторе. Дакле никакав механички поремећај неће избрисати фајлове.



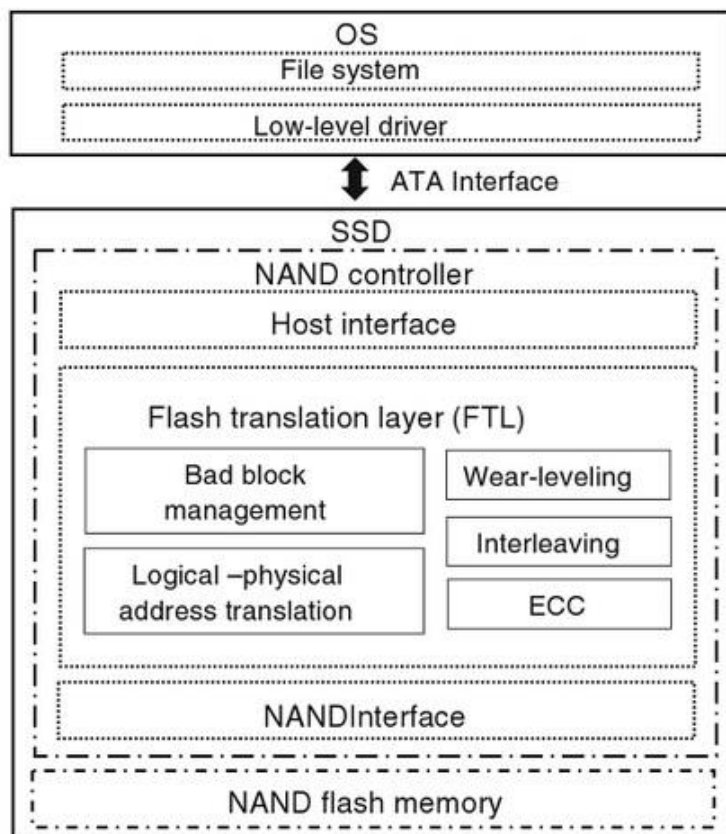
Слика 5.19 - NAND flash увећан 110 000 пута

Код поделе SSD уређаја по технологији се поменуте су врсте NAND flash меморије. Напоменућемо још једном да су то SLC (single level cell) и MLC (multi level cell). Код SLC чипова, у једном циклусу уписа, у чип се уписује само један бит података, док се код MLC чипова, у једном циклусу уписује више битова података. Поред тога, MLC чипови су јефтинији, јер због гушћег меморијског паковања у један свој чип сместе више података него један SLC чип. Дакле, јефтиније SSD јединице користе MLC чипове, док скупље јединице користе SLC чипове. Мана MLC чипова је што они имају краћи животни век у односу на SLC чипове из разлога веће ограничености броја уписних циклуса. Просечан SLC чип дозвољава до 100.000 уписних циклуса пре него што постане неупотребљив, док MLC чипови имају ограничење на око 10.000 циклуса.

Најновији MLC чипови произведени 25-нанометарским производним процесом имају ограничење на само 5.000 циклуса. [8][9][12][13][14][16]



Слика 5.20 – Хардверска архитектура SSD уређаја [8]



Слика 5.21 – Софтверска архитектура SSD уређаја [8]

5.5. Читање, упис, брисање, over-provisioning, wear leveling , write amplification

Процес читања је најпростији, а врши се адресирањем одређене странице унутар неког блока у једној од равни у чипу. Том приликом се чита 4 KB података.

Процес уписа се одвија исто као и процес читања, само што се тада у страницу уписује 4 KB података. Оно што је важно напоменути је да сваким новим уписом у неку од страница, укупан број уписних циклуса те странице смањујемо за један. Када се број уписних циклуса “потроши”, тј. достигне бројку од око 10.000 за MLC или око 100.000 за SLC чип, ту страницу више није могуће брисати и поново у њу уписивати.

Процес брисања је мало сложенији процес и састоји се од четири корака. Први корак захтева операцију читања целог блока (512 KB) у интерну меморију, затим се у другом кораку у меморији модификују неке од страница (4 KB), у трећем кораку следи операција самог брисања целог блока (512 KB) flash-а и у четвртном кораку операција поновног уписа страница (4 KB) чији садржај није мењан + нових страница уместо старих не валидних.

Компликован процес брисања условљен је због чињенице да код SSD-а није могуће просто преписати одређену страницу, као што је то могуће код магнетног хард диска. Разлог за то је проблем физичке микроелектронике који се јавља због веома мале површине и истовремено веома комплексне електричне шеме унутар сваког чипа.

Следеће три функције су уско повезане и највише зависе од самог контролера, а имају за циљ да продуже животни век SSD јединице. То су:

- wear leveling
- over-provisioning
- WA (write amplification)

Обзиром да је број уписних циклуса свих страница ограничен, контролер мора водити рачуна да једнако користи сваку страницу. За то је задужена функција *wear leveling* која има задатак да нове уписе распоређује тако да се подједнако “троше” све странице.

Иако се све тренутне SSD јединице праве у стварним физичким капацитетима од 64 - 512 GB, ниједна од њих не дозвољава кориснику да искористи овај пун капацитет за своје потребе.

Уместо тога, зависно од произвођача, али најчешће 7,5% од укупног капацитета јединице се одваја за функцију *over-provisioning*. Тај простор је скривен од корисника, а јединица балансира нове уписне циклусе делом у слободне странице у корисничком простору, а делом у *over-provisioning* зону. Тиме смањује број циклуса брисања и поновног писања, чиме остварује два бенефита. Прво, штеди број уписних циклуса, а друго, не губи на перформансама приликом датог уписа.

WA (*write amplification*) је функција која директно смањује број уписних циклуса. WA представља однос количине података задате контролеру јединице на упис и количине података стварно уписане у меморијске ћелије. Ова разлика постоји због могућности коју поседују најновији контролери, а то је компресија података.

Sand Force контролер, који је тренутно на врху по свим перформансама, врши компресију података “on-line”. Он се не бави типом садржаја, нити његовом стварном укупном количином, већ он у тренутку када је задат упис података преузима сваки блок за упис и покушава да га компресује. Колико ће у овом послу бити успешан директно зависи од типа садржаја над којим врши компресију. Уколико је податке могуће више компресовати, сачуваће се и меморијски простор јединице, па ће самим тим и број страница на које се физички уписује/преписује бити мањи, чиме се спорије троши ограничен број уписних циклуса, а на крају се добијају и боље write перформансе.

Због свих наведених функција које обавља, јасно је да контролер SSD јединице представља врло компликован физички чип, а оно што је још компликованије је написати што бољи *firmware* под којим контролер ради. Услед сложености и једног и другог проблема, произвођачи издају више модела контролера једне исте серије, а често се раде и ревизије претходног *firmware* кода.[10]

5.6. Предности и мане

5.6.1. Предности

Ово поглавље је резервисано за сумирање предности и мана SSD уређаја на једном месту. Прво се разматрају предности SSD уређаја, а то су: *брзина, издржљивост, ниво буке, потрошња енергије, радна температура.*

Брзина је једна од основних предности SSD уређаја и између осталог главни разлог за набавку истог. Још једном треба поновити да су они доста бржи од хард дискова. Прво због тога што немају покретних делова, па код њих не постоји латенција, тј време које је потребно да хард диск заврти дискове и позиционира главу на тачно место са кога

почиње да ишчитава одређене податке. Због тога што је SSD у стању да моментално ишчитава податке, иако се они налазе на различитим местима он ради неупоредиво брже. Једна од тих операција ишчитавања података који се налазе на различитим местима је подизање оперативног система, а супериорност SSD уређаја је потврђена тестом из претходног поглавља. Осим што је бржи у тој ситуацији, SSD је бољи и приликом одложеног ишчитавања и уписивања података. Односно када се уписују или ишчитавају велики фајлови, на пример видео фајлови. Нов хард диск је у стању да достигне брзину читања од неких 60 до 80 MB/s, док SSD уређај средње класе је у могућности да фајлове ишчитава брзином од 175 до 250 MB/s.

Издржљивост је друга већа предност SSD уређаја у односу на друге. Опет захваљујући његовој технологији у којој нема покретних делова. Јер када нема делова који се померају нема ни шансе да дође до физичких оштећења, или у колико их и има, она су занемарљиво мала. SSD уређаји су отпорни на вибрације, утицај магнета и магнетних сила па чак и на испуштање. Све су то ствари које би веома оштетиле уређај који се заснива на технологији магнетних дискова.

Ниво буке је још једна позитивна особина SSD уређаја која проистиче из недостатка покретних делова. Јер уколико нема шта да се покреће нема ни буке. А уређај који по перформансма убедљиво оставља хард диск иза себе, а при том у потпуности елиминише буку заслужује сво поштовање.

Потрошња енергије је код SSD уређаја такође прилично ниска. Ова особина је поготово важна када се узме пример лаптоп уређаја. Јер што се мање енергије користи то је боље по батерију лаптопа. Већина SSD уређаја користи трећину енергије која је потребна да се напоји хард диск, чак и ако просечан SSD упоредимо са хард диском ниске потрошње.

Температура је последња битна предност SSD уређаја. Уколико сте имали прилике да заварите у унутрашњост рачунара приметили сте да је температура хард диска висока, поготову уколико ради дужи период времена. Плоче које ротирају брзином од 7200 обртаја по минути баш и нису најбољи начин да се мотор одржава хладним, а сва та топлота мора да се негде спроведе и акумулира.

То значи да се хард дискови као и све остале компоненте морају одржавати хладним јер велики периоди излагања високим температурама значајно смањују поузданост и животни век уређаја. То додатно хлађење подразумева додатне вентилаторе, што опет подразумева подизање нивоа буке. С друге стране SSD уређаји производе врло мало топлоте и не захтевају додатно хлађење. [12][13][14]

5.6.2. Мане

Да би објективно представили неки уређај поред његових предности обавезно треба навести и његове мане. У овом случају то су: *цена, поузданост/радни век, дугорочне перформансе и повраћај података.*

Што се тиче *цене*, она је још увек поприлично висока јер SSD уређаји тек сада полако излазе на тржишта уређаја које се још увек развија. Тако да је и даље потребно издвојити већу количину новца како би уживали у његовим предностима. А то га, на жалост, још увек држи даље од просечног корисника. Цена једног SSD уређаја од 128 GB на нашем тржишту је 13 699 динара. У питању је један од уређаја средње класе у једном од већих малопродајних објеката техничке робе. Ова прва и највећа мана SSD уређаја наговештава да ће проћи још неко време док они тотално не замене хард дискове.

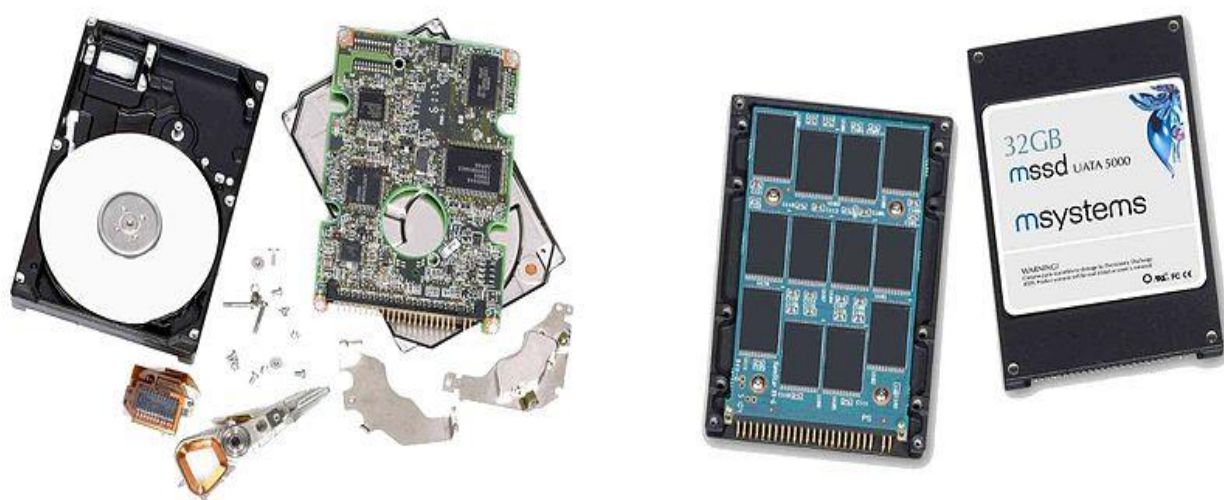
Радни век је такође једна од већих мана SSD уређаја. Ова мана се манифестује због тога што сваки транзистор има одређен број уписа, после тог броја он постаје неупотребљив.

Перформансе на дуже стазе су такође једна од лошијих особина *solid state drive-ova*. Због начина на који се SSD односи према подацима, диск се током времена попуни чак и уколико се пажљиво опходите према подацима и бришете непотребне ствари, чак ће и оперативни систем приказивати да постоји празног места. Иако ово не спречава додавање података на уређај док се не попуни његов капацитет, током времена ће брзина уписа опадати. Просто речено, ово се дешава због тога што се временом странице уређаја попуњавају, он мора да преуређује податке како би ослободио број страница на којима може да пише.

Последња мана SSD уређаја јесте *могућност повраћаја података*. Када хард диск почне да отказује он обично то ради постепено уз доста упозорења остављајући времена и могућности да се подаци прекопирају на други уређај. Када SSD уређај престане са радом он престаје да ради комплетно и моментално. Када се то догоди практично је немогуће да се подаци спасу. Најлакше решење за овај проблем је да се врши редован *backup* података, тј чување података на другим медијима и уређајима. [12][13][14]

6. Разлике између SSD-а и хард диска

Иако имају исту намену, поређење *SSD-а* и хард диска није ни мало једноставно. Традиционални програми за испитивање и поређење хард дискова су фокусирани на слабости хард дискова, латенцију времена ротације, време приступа итд. Како је цела *SSD* технологија без покретних делова она је веома супериорнија у овим поређењу. С друге стране *SSD* се мучи са истовременим уписом и читањем података, а и њихове перформансе се смањују временом. Када се тестира *SSD* мора се тестирати диск који је у употреби и који садржи сачуване податке, јер уколико би тестирали нов (директно из кутије) *SSD* перформансе би биле доста боље, али мање меродавне јер би опадале већ после само седам дана употребе.



Слика 6.1 - Расстављен хард диск (лево) и SSD (лево)

На следећој упоредној табели дата је разлика између хард диска и *SSD* уређаја. Табела се не односи на неке одређене моделе већ је уопштена. [12b]

КАРАКТЕРИСТИКА	SOLID STATE DRIVE	ХАРД ДИСК
Време потребно за покретање	Моменентално	Може трајати неколико секунди. Уколико постоји више дискова време мора бити распоређено како не би повукло превише струје
Просечно време приступа	Око 0,1 ms. Много пута брже него код хард диска јер се подацима приступа директно из <i>flash</i> меморије.	Може бити од 5 до 10 ms, због потребе померања главе хард диска и времена које је потребно да плоча ротира испод главе.
Латенција ишчитавања код	Генерално ниска јер се подацима приступа директно са било које локације. Пошто хард диск троши време да захтева потребне податке, а <i>SSD</i> не, то узрокује доста брже подизање система и стратовање апликација.	Доста висока јер ротирајућим компонентама треба времена да дођу у ред како би се приступило одређеним подацима.

Констатне перформансе код читања података	Време ишчитавања се не мења у зависности где су подаци смештени.	Уколико су подаци смештени користећи издељен начин смештања података (<i>Fragmented</i>), време ишчитавања тих податка може веома да варира.
Дефрегментација	<i>SSD</i> не добија никаква побољшања после дефрегментације. А није је препоручљиво спроводити због тога што <i>NAND flash</i> има ограничен радни век.	Хард диск захтева дефрегментацију после континуалних операција брисања и уписивања података, поготову уколико су брисани и уписивани велики фајлови.
Акустика	Пошто <i>SSD</i> уређаји немају покретних делова, они не производе никакав звук.	Хард диск има покретне делове (главу, мотор) и производи различите нивое звука при раду у зависности од произвођача и модела.
Механичка стабилност	Недостатак покретних делова елиминише механичке кварове.	Хард диск има велики број покретних делова који су сви подложни механичким кваровима после одређеног времена.
Осетљивост на околне факторе	Мањак покретне главе и ротирајћих плоча чине <i>SSD</i> отпорним на ударце, вибрације...	Хард диск поседује покретне главе, ротирајуће дискове који су итекако осетљиви на ударце, вибрације, падове итд.
Осетљивост на магнете	Магнет нема никакав утицај на <i>flash</i> меморију.	Магнетни таласи могу да измене сачуване податке.
Тежина и величина	Тежина <i>flash</i> меморије и електронике су доста мањи у поређењу са хард диском.	И хард дискови могу бити компактни и лагани али они су слабијих перформанси и користе се за лаптопове, али и даље нису лагани као <i>SSD</i> . Док хард дискови са већим перформансама захтевају теже и веће компоненте.
Извршавање паралелних операција	Неки контролери могу да подрже упис и ишчитавање различитих података у исто време.	Хард дискови имају више глава (једну по плочи) али су оне повезане и деле један мотор.
Дуговечност уписивања	<i>SSD-ovi</i> који користе <i>flash</i> меморију имају ограничен број уписа, док <i>DRAM SSD-ovi</i> немају ограничен број уписа.	Медији засновани на магнетној технологији немају ограничен број уписа.
Лимитације софтверске енкрипције	Уколико програм за енкрипцију енкриптује податке који се налазе на <i>SSD-и</i> ти податци су и даље небезбедни јер им се може приступити. Такође подаци не могу бити трајно обрисани поновним уписивањем преко оригиналног фајла. Да би то постигли потребно је користити посебну процедуру сигурног брисања података уграђену у сам уређај.	Хард диск може да поново уписује преко оригиналних података у сваком свом сектору.

Цена по гигабајту	Цена SSD-а базираног на <i>flash NAND</i> технологији је од 1,2 до 2 долара по гигабајту.	Цена хард дискова је око 0,05 долара за хард диск у изведби од 3,5 инча и 0,10 долара у изведби од 2,5 инча по гигабајту.
Капацитет	Капацитет SSD-а се креће до 2TB, али су најпродаванији они од 60-120GB због високе цене.	Најпродаванији хард дискови су капацитета од 500GB до 1TB, а постоје и они од 2 до 3 TB.
Симетрија перформанси уписа и исписа	Јефтинији SSD уређаји имају значајно мање брзине уписа него ишчитавања података. Док је код скупљих уређаја успостављен баланс.	Хард дискови генерално имају мало мање брзине за упис података од оних за ишчитавање.
Потрошња енергије	SSD уређаји високих перформанси генерално требају 1/2 или 1/3 енергије коју захтева хард диск. Док DRAM SSD уређаји генерално захтевају исту количину енергије као и хард дискови, док њима струја треба и када рачунар не ради како не би дошло до губитка података.	Хард дискови генерално троше између 12 до 18 W. Док они који су намењени лаптоп рачунарима троше око 2 W.

Табела 6.1. Упоредни тест карактеристика SSD уређаја и хард диска.

7. Закључак

Као што је на почетку речено *SSD* уређаји спадају у уређаје спољашње меморије за складиштење података. У њих спадају и *USB flash* уређаји и меморијске картице за мобилне телефоне и дигиталне апарате, као и они уређаји који служе као меморија за рачунар на којој се може инсталирати оперативни систем и служи као хард диск, а о којој је овде било највише речи.

Оваква врста меморије још увек није саставни део данашњих рачунара, али ће свакако у будућности бити и вероватно за неку годину заменити хард дискове. Као и свака компонента у рачунару *SSD* уређај има своје предности и мане. Конкретно, у овом случају предности преовлађују над манама. Као главна мана или недостатак свакако се наводи ограничен број уписа у *flash* меморију на којој се заснива *SSD* технологија, али и поред тих ограничења броја уписа *SSD* ће вероватно пре застарити него престати да ради. Док му наспрам тога недостатак покретних делова даје широк дијапазон предности у односу на хард диск. Као највећа, издваја се његова брзина.

Тренутно *SSD* уређај од већине просечних корисника дели мало већа цена у односу на капацитет који се добија. Али и овде се понавља оно што је кроз историју већ установљено, а то је да када су у питању компоненте рачунарске меморије капацитет увек прогресивно расте, а цене опадају. Тако да ће они временом наћи свој пут у већину рачунара, како персоналних тако и лаптоп компјутера.

Што се тиче дањашнице и поред високе цене надоградња рачунара са једним *SSD* уређајем који би радио у комбинацији са класичним хард диском, је свакако исплатива. Поготову када су у питању лаптоп рачунари који сами по себи имају спорије хард дискове у односу на оне у персоналним рачунарима. Сваки добар познавалац технологије и ентузијазиста који прати трендове и надограђује свој рачунар ће рећи да је највеће убрзање свога рачунара осетио после уградње *SSD* уређаја. Иако је пре тога уложио велики новац у новије графичке картице и веће количине *RAM* меморије.

На крају, када се подвуче црта може се рећи да су мане донекле занемарљиве у односу на његове предности и да се дефинитивно исплати прећи на такав вид уређаја за складиштење података. За сада још увек у комбинацији са класичним хард диском, а у будућности ко зна. Нова, бржа времена захтевају и технологију која може ићи упоредо у корак са њима, а *SSD* уређај већ поседује све предуслове за стицање наслова једне од будућих главних ведета рачунарске индустрије.

Литература

- [1] **Радловић Ј.:** *Архитектура рачунарских система*, предавања, Факултет инжењерских наука Крагујевац, Крагујевац 2013.
- [2] **М. К. Стојчев, Б. Д. Петровић:** *Архитектуре и програмирање микрорачунарских система заснованих на фамилији процесора 80x80*, Универзитет у Нишу, Електронски факултет, Ниш 1999.
- [3] **Д. Михајловић, П. Пауновић:** *Семинарски рад: Програмирање и чување flash меморије At26F010 помоћу микроконтролера PIC16F877*, Универзитет у Нишу, Електронски факултет, Ниш 2008.
- [4] **И. Стевановић:** *Семинарски рад : Меморије микрорачунарских система*, Универзитет у Нишу, Електронски факултет, Ниш 2007.
- [5] **М. Ероп:** *Семинарски рад: Секундарне меморије – хард дискови*, Архитектура рачунарских система, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац 2011.
- [6] **А. Радовановић:** *Семинарски рад: Секундарна меморија*, Архитектура рачунарских система, Факултет Инжењерских наука Крагујевац, Крагујевац 2012.
- [7] **N. Ekker, T. Coughlin, J. Handy:** *Solid State Stronge 101*, SNIA, San Francisco, CA 94105, January 2009
- [8] **R. Michelsoni, A. Marelli, K. Eshghi:** *Inside Solid State Drives (SSDs)*, Springer Science+Business Media Dordrecht 2013
- [9] **Xiaodong Zhang:** *Making the Best Use of Solid State Drives in High Performance Storage Systems*, Dept. of Computer Science & Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH 43210, USA
- [10] **S. Obradović, N. Čorni:** *Утицај интерног контролера на перформансе SSD дискова*, Univerzitet u Beogradu, VISER
- [11] Предавања са Природно математичког факултета у Нишу:
 - a. <http://tesla.pmf.ni.ac.rs/Predavanja/racunar%20sist/Knjiga%20-%20Vol2/GLAVA3.pdf> (приступљено литератури дана 07.09.2013. године)
 - b. <http://tesla.pmf.ni.ac.rs/Predavanja/racunar%20sist/Knjiga%20-%20Vol2/GLAVA4.pdf> (приступљено литератури дана 07.09.2013. године)
- [12] Википедија :
 - a. http://sr.wikipedia.org/sr/USB_memorija (приступљено 08.09.2013. г.)
 - b. http://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_drive (приступљено 08.09.2013. г.)
 - c. http://en.wikipedia.org/wiki/Flash_memory (приступљено 08.09.2013. г.)
 - d. http://en.wikipedia.org/wiki/NAND_gate (приступљено 08.09.2013. г.)
- [13] CarNet: <http://sistemac.carnet.hr/node/1211> (приступљено 09.09.2013. г.)
- [14] IT Extream: <http://www.itextreme.org/hardware/197-ssd#.UjGF1MZmiFw> (приступљено 07.09.2013. г.)
- [15] StorageSearch: <http://www.storageSearch.com/chartingtheriseofssds.html> (приступљено 08.09.2013. г.)
- [16] Tehno Jurnal : http://www.tdk.co.jp/techjournal_e/vol01_ssd/ (приступљено 10.09.2013. г.)