

Математичка гимназија Београд

МАТУРСКИ РАД

из предмета Рачунарство и
информатика

Хард дискови-развој

Ментор:

проф. Невенка Спалевић

Ученик:

Бождар Радивојевић IVд

Београд, јун 2011.

Садржај:

1. Увод

- 1.1 Свет пре хард дискова
- 1.2 Први хард дискови
- 1.3 Основни принципи рада модерних хард дискова

2. Развој технологије чувања података

- 2.1 Технологија магнетног записа
- 2.2 Феритне R/W главе
- 2.3 MIG технологија
- 2.4 Thin film heads технологија
- 2.5 Magnetoresistive технологија
- 2.6 Giant MR технологија
- 2.7 Tunnel MagnetoResistive Read Sensor (TMR)

3. Развој технологије преноса података

- 3.1 Пренос података кроз историју
- 3.2 MFM стандард
- 3.3 RLL стандард
- 3.4 ESDI стандард
- 3.5 ATA/IDE стандард
- 3.6 Протоколи трансфера података
- 3.7 ATA S.M.A.R.T. превенција кварова
- 3.8 ATA адаптери
- 3.9 SCSI дискови
- 3.10 RAID системи
- 3.11 SATA

4. Будући правци у развоју хард-дискова

- 4.1 Тежње HDD индустрије
- 4.2 Bit pattern технологија
- 4.3 HAMR технологија

5. Закључак

6. Прилози

- 6.1 Списак компанија произвођача HDD
- 6.2 timeline дешавања у HDD индустрији
- 6.3 Графици промене перформанси хард дискова

7. Литература

1.Увод

1.1 Свет пре хард дискова.

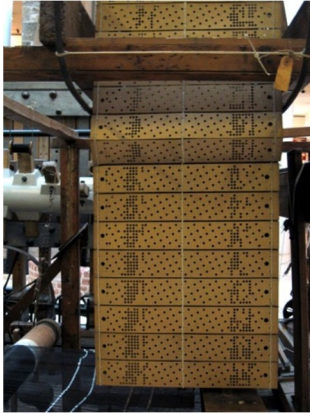
Са појавом људске цивилизације, створила се и потреба за складиштењем информација, ради њихове размене, обраде и преношења на следеће генерације. Како се људско друштво развијало и расло, расла је и количина података коју треба меморисати, као и неопходност повећања трајности њиховог записивања, густине записа као и брзине претраге по њима.

Први кораци ка кодираном чувању велике количине података без коришћења стандардног писма учињени су 1725. године, када је за потребе текстилне индустрије Базил Бушон (Basile Bouchon) развио технологију перфорираног папира. Наиме, механички разбој је системом игала, читао „бесконачне” траке бушеног папира и на основу постојања рупа на њему или не, одређивао које од нити са разбоја ће бити упредене, а које не. Иако су за један просечан ћилим биле потребне стотине метара бушеног папира са информацијама о упредању нити, овај изум је омогућио делимичну аутоматизацију производње, јер се једном створени шаблон могао изнова и изнова примењивати(слика 1.1).

Први патент у области архивирања података везује се за 23. септембар, 1884. године, када је Херман Холерит (Herman Hollerith), амерички статистичар и оснивач компаније Tabulating Machine Company која је касније учествовала у стварању компаније Computing Tabulating Recording Corporation, данас познатије под називом ИВМ, патентирао систем бушених механографских картица. Најуобичајенији формат ових картица састојао се од комада тврдог картона величине 187,325 са 82,55 mm који је садржао 80 карактера, сваки кодиран у 12 редова (слике 1.2 и 1.3). Картице су коришћене за програмирање, у то време напредних, рачунских машина. Механографске картице су временом мењале формат, величину и домен примене, али им је принцип рада остао исти током скоро целог века употребе.

Следећу етапу у развоју система за масовно чување података чини проналазак система магнетних трака. Магнетне траке су начињене од уске траке пластичне фолије, на коју је нанет танак слој магнетосензитивног материјала. Рупе и попуњена места, односно бинарне јединице и нуле уместо физичких рупа чине мање или више намагнетисана места дуж траке магнетосензитивног материјала. Овај систем, иако је данас углавном превазиђен због превеликог времена приступа подацима и даље има примену у неким случајевима (као на пример при бекаповању), када није битна брзина приступања подацима, већ само њихово безбедно складиштење. Тада магнетне траке имају велику предност у односу на друге доступне медије, због много мање цене по биту ускладиштеног податка у поређењу са другим медијима.

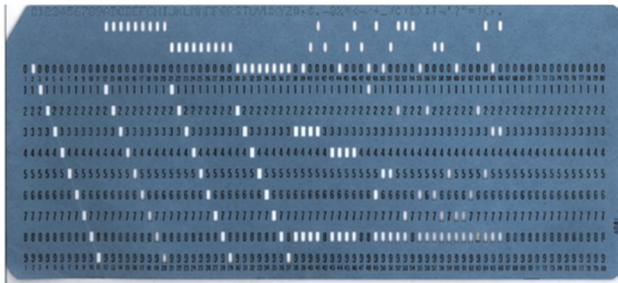
Револуцију по питању времена приступа подацима, а уз задржавање солидног капацитета, учинила је технологија магнетних добоша. Магнетни добош се састоји од великог металног цилиндра, споља обложеног феромагнетним слојем који ротира великом и константном брзином (између 600 и 15000 RPM-rotations per minute, ротација у минути, у зависности од модела) и главе (или глава) за читање и писање (слика 1.4). Компјутери у које су, било као примарна или као секундарна меморија, били уграђивани магнетни добоши, били су јако бучни, те су умногоме подсећали на стандардне веш-машине. Магнетни добоши су коначно изашли из употребе седамдесетих година двадесетог века, пошто су изгубили комерцијалну битку са магнетним дисковима у сфери секундарне меморије као и са полупроводничким меморијама у домену примарне меморије.



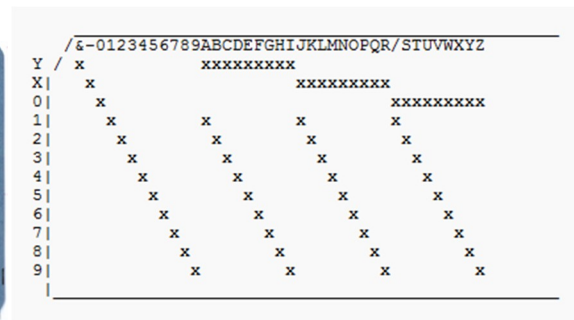
Слика 1.1- механички разбој



Слика 1.4 – цилиндар магнетног добоша IBM 650



Слика 1.2 – 80-колонска EBCDIC картица из 1964.



Слика 1.3 – схема стандардних карактера

1.2 Први хард дискови

У првим деценијама по настанку идеје хард диска, хард дискови су били велике, гломазне направе, неприлагођене раду ван посебно контролираних услова. Осим у заштићеном окружењу рачунских центара, хард дискови педесетих и шездесетих година двадесетог века нису били способни да издрже изазове строжијих радних услова, те стога нису имали велику комерцијалну примену. У индустријском окружењу хард дискови нису могли бити примењени због њихове деликатности, док у кућном и канцеларијском окружењу нису били погодни за употребу због њихове величине и велике потрошње електричне енергије. Све до раних 1980тих, већина хард дискова је имала осмоинчне или четрнаестоинчне плоче за магнетно складиштење података, које су захтевале посебан третман и орман за складиштење, као и огромну површину радне просторије за саму машину хард диска. Хард дискови у својих првих 30 година постојања су често били упоређивани са машинама за прање веша, како због величине, тако и због буке коју су стварали. Такође због снаге мотора који су покретали такву масивну плочу хард диска, дисковима је често био неопходан извор струје високе ампераже, или јак и стабилан извор трофазне струје. Због свега наведеног, хард дискови дуго нису налазили своје заслужено место у породици компјутерских компонената, али када су га коначно пронашли, отворили су велика врата даљем пробоју компјутерске индустрије, како у сегменту персоналних рачунара, тако и у области mainframe машина.

Први комерцијално примењен хард диск, хард диск који је започео модерну еру јесте IBM-ов 305 RAMAC систем, RAMAC што је заправо скраћеница од Random Access Method of Accounting and Control, односно метод за рачуноводство и контролу, са случајним приступом (слика 1.8). RAMAC 305 је у себи садржао IBM Model 350 јединицу за складиштење (слика 1.9). IBM Model 350 је изум научног тима IBM-а, предвођеног Рејнолдом Џонсоном (Reynold Johnson), једним од најистакнутијих америчких проналазача, названим у годинама које су наишле „оцем хард дискова”. IBM Model 350 се састојао од 50 двадесетчетвороинчних плоча обложених магнетним материјалом, које су се заједнички ротирале око једне осовине. Подацима на свим плочама је приступано коришћењем само две R/W главе, које су се налазиле на једном носачу, те је просечно време приступања подацима било око једне секунде.

Његова прва испорука је извршена, сада већ давне 1956. године, компанији Целербах папир из Сан Франциска (која и данас постоји). Иако је рамаков хард диск непојмљиво мали по данашњим стандардима (могао је да сачува 5 милиона карактера), као и несхватљиво спор (са временом приступа бити од око једне секунде), може се сматрати великаном који је покренуо индустрију која данас вреди више стотина милијарди долара.

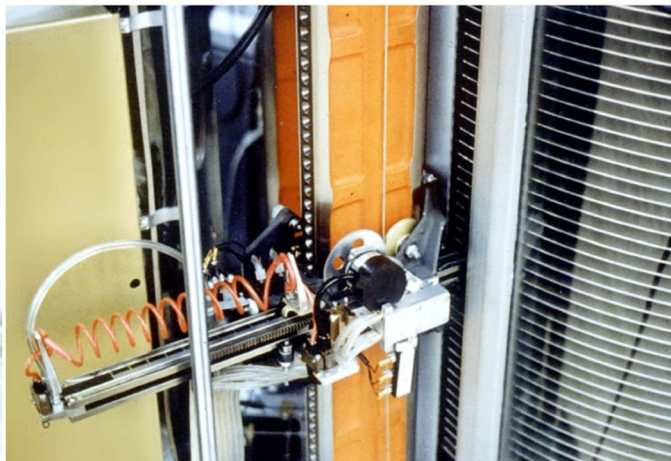
Успеси HDD индустрије су се само ређали и увећавали у потоњим годинама. IBM 1301 Disk storage unit је својим појављивањем 1961. године, увео коришћење посебне главе за сваку магнетну површину, при чему су главе лебделе над површином плоче на ваздушној струји. IBM 1316 је користио измењива паковања плоча, од којих је свака могла садржати до два милиона карактера. Године 1973. IBM, који је и даље био водећа компанија на пољу производње и дистрибуције хард дискова, је представио свој револуционарни модел IBM 3340 “Winchester”, популарно назван Винчестер по врсти ватреног оружја, преневши потом своје име Винчестер као колоквијални назив и на остале хард дискове (Руси све хард дискове и даље називају Винчестерима или Винчестеркама).

Праву експлозију у развоју хард дискова, осамдесетих и деведесетих година прошлог века, покренула је експоненцијално растућа потреба правних и физичких лица за брзим и безбедним складиштењем података. Стварањем банкарских система и база података, дигитализацијом научних и безбедносних информација, као и појавом и све већом популарношћу и доступношћу најразличитијих интернет сервиса, дошло је до пребацивања фокуса са процесорске улоге компјутерских система, на њихову комуникацијску и меморијску улогу.

Са првих хард дискова персоналних рачунара, који су сматрани напреднима са својих 20MB простора за складиштење, у последњих пола века дошло се до минијатурних хард дискова, који су способни да чувају преко 4 TB (1TB=1000GB=1000000MB) података. Један од највећих успеха данашњице, модерни хард диск, настао је постепеним (а некад и скоковитим) унапређивањем густине записа података, прецизности њиховог уписивања и ишчитавања, као и повећањем брзине приступа подацима и њиховог преноса до корисника. О начинима на који је то постигнуто и технологијама које су откривене и примењене, биће опширније објашњено у наредном поглављу.



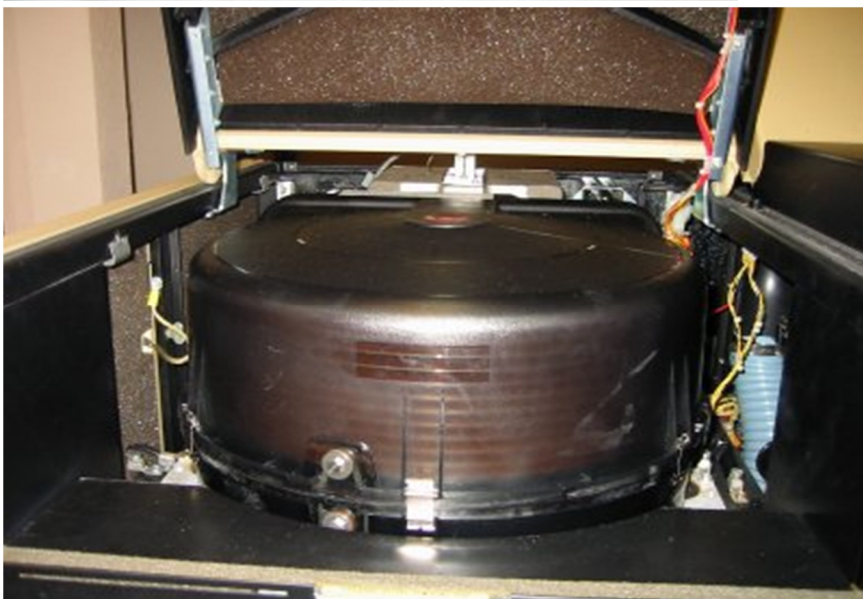
Слика 1.8-IBM 305 RAMAC



Слика 1.9-актуаторска ручица IBM Model 350



Слика 1.10-паковање плоча HDD



Слика 1.11- Winchester 885

1.3 Основни принципи рада модерних хард дискова

Модерни хард дискови, у великој већини, ако не чак и сви, су конструисани по сличном нацрту, те се састоје од готово истих основних компоненти чинећи наш појам о изгледу хард диска универзалним. Оно што је занимљиво у причи о хард дисковима и њиховом развоју јесте да су основне компоненте модерних, брзих и сигурних хард дискова уједно биле и основне компоненте њихових пола века старијих рођака. Главни делови хард диска (приказани на сликама 1.7 и 1.8) су: кућиште хард диска, магнетна плоча за запис, главе за читање и писање, осовински мотор за ротацију хард диска, актуаторска ручица и актуаторски механизам, систем за филтрирање ваздуха, систем за апсорпцију потреса, контролна електроника на штампаним плочама са хард диск контролером и систем каблова за интерну и екстерну комуникацију. Сви ти делови, стручно направљени, пажљиво обрађени и прецизно уклопљени и синхронизовани у раду, чине данас препознатљиву целину способну да архивира мегабајте, гигабајте и терабајте дигиталних података.

Унутар затвореног кућишта хард диска (или HDA, Hard Disk Assembly) направљеног најчешће од легуре алуминијума, налази се један или више чврстих, фиксних дискова – плоча. Свака од плоча је обложена танким слојем магнетно-сензитивног материјала, на који се помоћу електромагнетних глава уписују и читају подаци. При укључивању хард диска, плоче почињу да ротирају око централне осовине константном брзином (између 3000 и 15000 RPM, у зависности од модела и технологије), а главе за читање и писање се померају преко површина, да би омогућиле приступ подацима са различитих локација. Свака глава је смештена на крају носача или access arm, носач или носачи се померају сви заједно, под контролом актуаторског механизма, тако да је, у принципу, у сваком моменту активна највише једна глава. Поклопац кућишта је херметички затворен, да би се избегао контакт површине диска са спољним нечистоћама, а самим тим и њено оштећење. Једини контакт унутрашњости хард диска са спољашњом средином остварује се преко ваздушног филтера, који омогућава изједначавање ваздушног притиска, штитећи кућиште и његову унутрашњост од деформације. При раду хард диска, као последица брзе ротације његових плоча, долази до формирања ваздушне струје изнад површине ротирајућих плоча, те read/write главе лебде над површином диска, не остварујући физички контакт са плочом хард диска, одбијене „ваздушним јастуком” дебљине око 7 μm . По престанку рада хард диска, R/W главе бивају постављене у нарочиту „парк” или „landing” зону, на којој нису уписани подаци. У случају насилних прекида, обично постоји кондензатор чијим се пражањем R/W глава или главе померају у парк зону или потпуно ван магнетног диска у посебно, за то предвиђено лежиште. Подаци добијени са магнетних глава, прослеђују се HDD контролеру, који их даље тумачи на адекватан начин постојећем оперативном систему.

Када оцењујемо перформансе данашњих хард дискова, дискова које данас користимо, говоримо о неким њиховим параметрима, чије се побољшање може прецизно квантификовати, као и о неким који зависе од начина израде и сврхе употребе. Под перформансама хард диска подразумевају се:

- капацитет форматираног/неформатираног HDD (изражава се у MB, GB, TB);
- брзина ротације осовине плоче HDD(изражава се у RPM- rotations per minute);
- средња брзина проналажења случајно задатог податка (изражава се у s,ms);
- брзина преноса података са хард диска до процесора;
- величина хард диска и пречник његове плоче (у cm и inch);
- потрошња електричне енергије и минималан напон;
- бука коју стварају при раду;

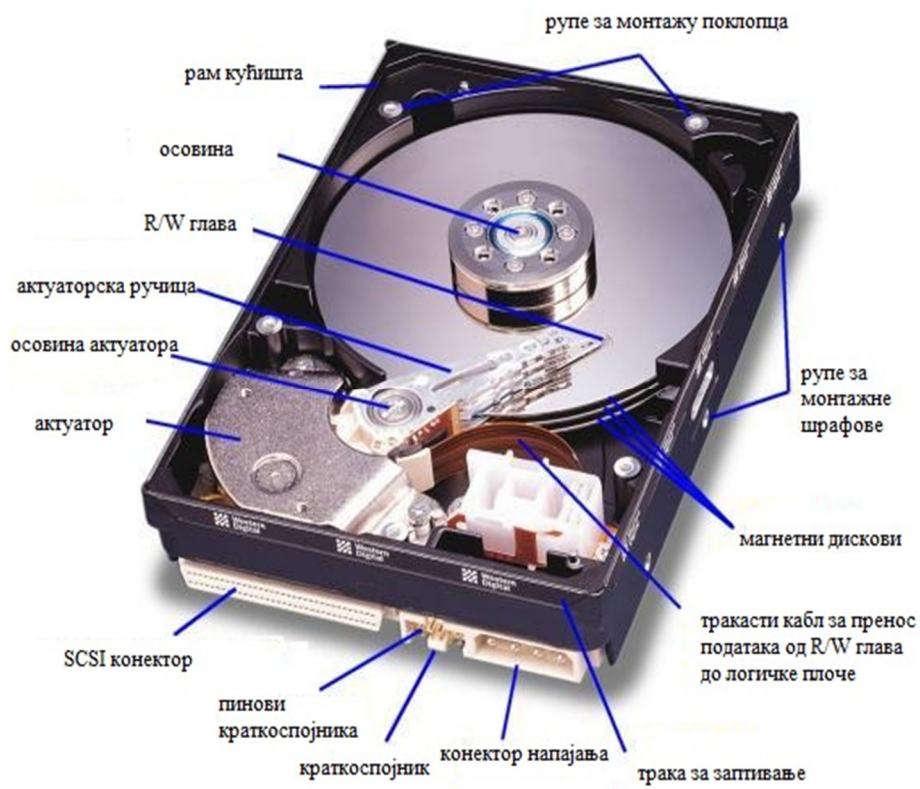
- отпорност на спољне утицаје (влажност ваздуха, спољно магнетно поље, варијације у напону, потреси,...)
- цена производње, дистрибуције и одржавања, као и цена по биту податка.

До модерних хард дискова, дискова које данас користимо, дошло се некад постепеним, а некад скоковитим побољшањима њихових перформанси, током последњих 50 година. До вртоглавог раста количине података које су хард дискови способни да похране, као и брзине и тачности којом могу да им приступе, није дошло мењањем основних принципа рада, већ појединачним унапређењима сваког од сегмената њиховог нацрта. Унапређена је технологија записа података на диску, њиховог уписивања и читања помоћу R/W глава смештеним на приступним ручицама, технологија преноса и обраде података, као и робусност самих апарата, смањења апетита за енергијом и свеукупно смањењем цене. О овим побољшањима која су се догодила временом, као и о њиховим основним принципима, биће више речи у наредним главама.

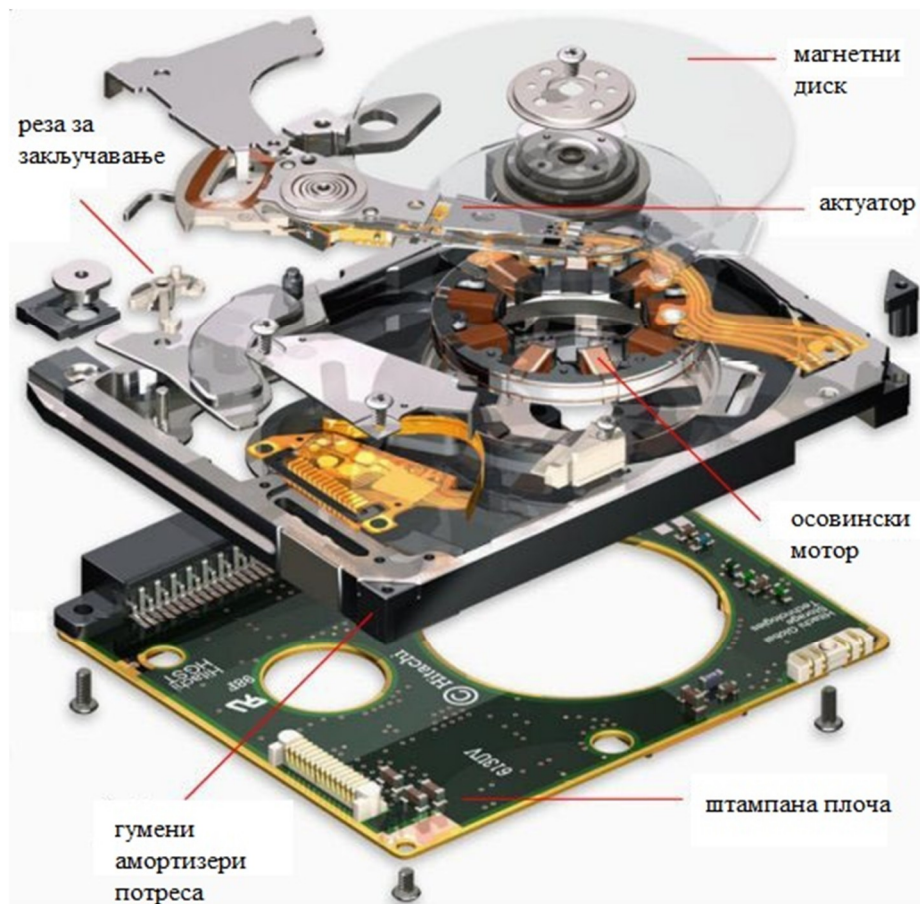
Слика 1.5 серверски 36 GB, 10,000 RPM, IBM SCSI HDD



Слика 1.6 Hitachi GST, 2TB



Слика 1.7 грађа HDD



Слика 1.8-грађа HDD

2. Развој технологије чувања података

2.1 Технологија магнетног записа

Магнетни запис је први пут као технологија представљен још 1900. године, када је Валдемар Пулсен (Valdemar Poulsen) на париској Великој изложби публици представио уређај који је на металној жици намотаној око ваљка који нема магнетне особине успешно сачувао аудио снимак слабог квалитета. Иако је прошло више од једног века од овог патента, сам принцип похрањивања података путем магнетног записа, није се променио.

Под магнетним записом подразумева се похрањивање података на намагнетисаном медију. Технологија магнетног записа користи различите обрасце намагнетисања у магнетитивном материјалу, да би сачувала податке. Меморијски модули који су засновани на технологији магнетног записа спадају у такозване non-volatile меморије, јер се њихов садржај не губи после искључивања модула са електричне мреже, већ запис остаје стабилан и неизмењен у дужем временском периоду.

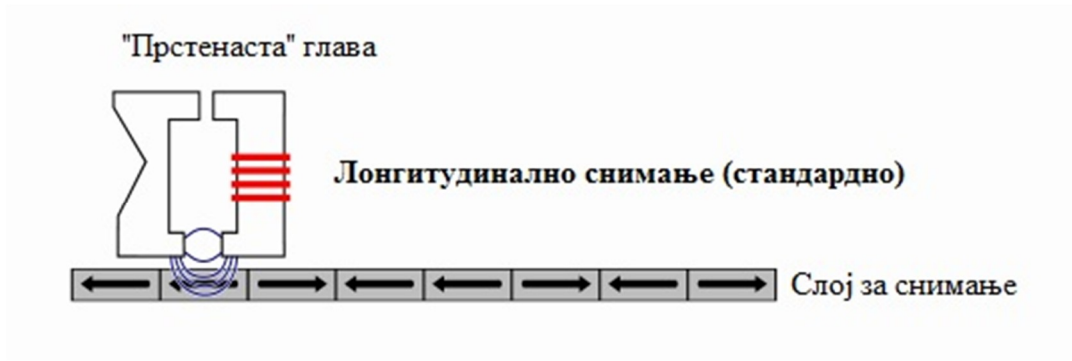
Магнетна површина на којој се врши запис је концептуално подељена на велики број магнетних подручја суб-микрометарске величине, која се називају магнетним доменима. Магнетни материјал који се користи при запису је поликристалне структуре, те се свако од магнетних подручја састоји од неколико стотина магнетних зрна. Магнетна зрна су обично величине око 10nm и свако од њих формира јединствени магнетни домен. Свако магнетно подручје у глобалу формира магнетни дипол који генерише магнетно поље.

Да би запис на магнетном медију био поуздан, магнетни материјал на којем се врши снимање мора бити отпоран на самодемагнетизацију, до које долази када магнетни домени одбијају један другог. Магнетни домени који су записани сувише близу један другог на материјалу који се слабо магнетише, током времена губе своју оријентацију због ротације у простору једног од домена, а услед деловања одбојних магнетних сила између њих. Домени се тада ротирају постранце, што смањује магнетну напетост у материјалу, али истовремено слаби читљивост датог домена а самим тим и целог медија.

У старијим концептима хард дискова, домени су били оријентисани хоризонтално и паралелно са површином диска (слика 2.1), да би се око 2005. године прешло на перпендикуларну оријентацију (слика 2.2), ради гушће расподеле домена. У почетку је као магнетни материјал коришћен танак слој гвожђе(III)-оксида, да би се касније прешло на употребу легура на бази кобалта. У модерним хард дисковима, мала величина магнетних површи ствара опасност губљења магнетног стања услед термалних ефеката, а самим тим и губљења података. Да би се тај проблем превазишао, плоче хард диска се облажу са два паралелна магнетна слоја, који међусобном интеракцијом појачавају магнетно поље, при чему су два магнетна слоја раздвојена троатомским слојем рутенијума који нема магнетне особине.

Систем читања и уписивања података у технологији магнетног записа, заснива се на постојању глава за читање и писање. Глава за читање при проласку изнад магнетне површи ствара јако локално магнетно поље, магнетишући површину хард диска, тиме оријентишући магнетне грануле у одређеном смеру, док глава за писање детектује магнетно поље настало услед различите просторне оријентације магнетних гранула. Ране форме хард дискова су користиле елетромагнетну главу, како за читање, тако и за писање. При писању је глава генерисала јако магнетно поље, ради промене намагнетисања магнетних зрна, док се глава веома сличне грађе, (некада се чак радило

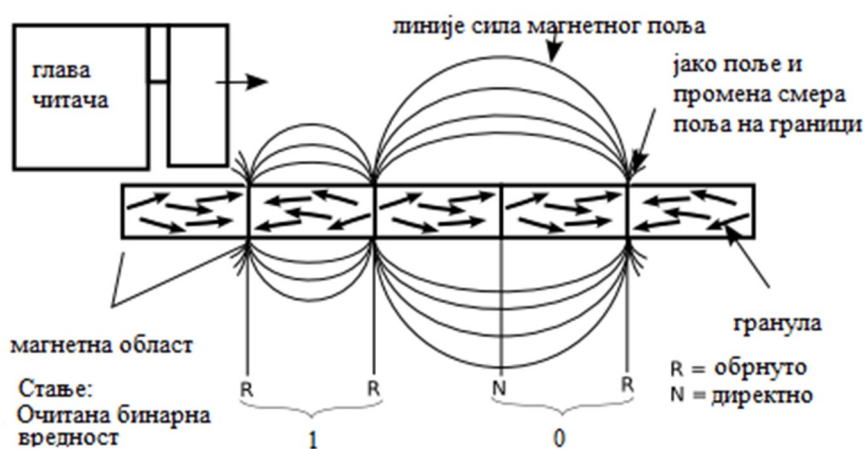
и о истој глави) по принципу електромагнетне индукције детектовала постојање магнетног поља близу површине и читала магнетне „јединице и нуле” (слика 2.3). Касније форме глава за писање су користиле Metal in gap (MIG) и Thin film технологије. Са даљим повећањем густине записа података, развијане су и нове главе за читање, које су користиле принципе Magnetoresistance (MR) и касније Giant Magnetoresistance технологија. О свим наведеним технологијама биће далеко више речи у следећим поглављима.



слика 2.1-схема лонгитудиналног записивања



слика 2.2-схема перпендикуларног записивања

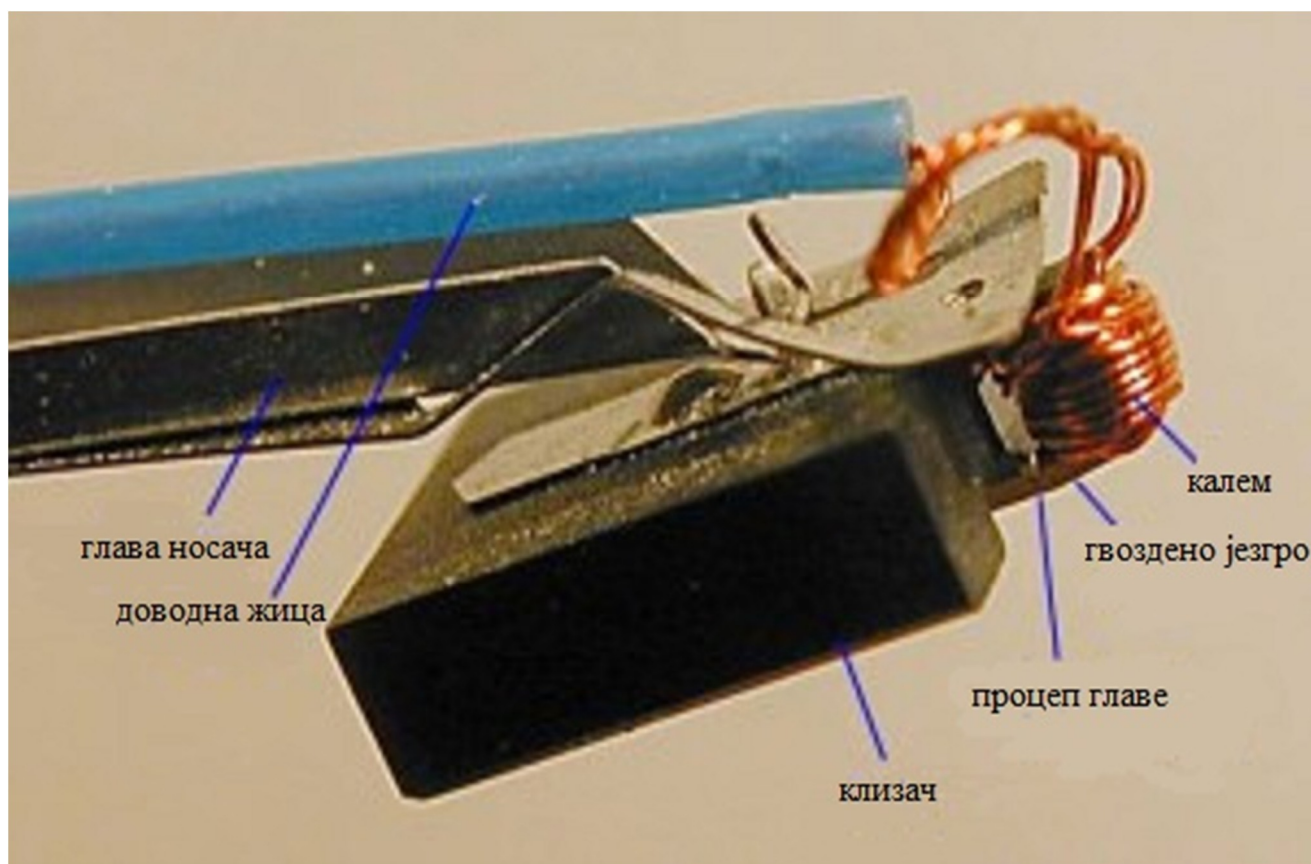


слика 2.3-схема читања магнетних података

2.2 Феритне R/W главе

Најстарији концепт R/W глава је уједно и концептуално најједноставнији. Гвоздена односно феритна глава се састоји од гвозденог језгра савијеног у облик латиничног слова U, обмотаног проводним навојима (слика 2.4). Лако је из описа закључити да су феритне главе заправо класични електромагнети, само веома малих пропорција. При писању, струја у калему ствара поларизационо магнетно поље у процепу између полова електромагнета, које магнетише површину плоче хард диска у непосредној близини главе. Када се обрне смер струје која тече кроз проводник, мењају се полови магнетног поља, па самим тим и оријентација магнетних дипола у плочи хард диска. При читању података, иста глава врши обрнути процес, при проласку изнат магнетног домена, по принципу електромагнетне индукције долази до стварања електричне струје у калемима, чији смер зависи од смера поларизације честица у плочи хард диска.

Главни недостаци феритних глава су њихова тежина и гломазност, која захтева рад на већој удаљености од плоче хард диска, а самим тим и стварање јачег и мање прецизно усмерног магнетног поља. Њихов дизајн онемогућава њихову употребу у модернијим хард дисковима, због веће густине записа података, па су данас застареле и потпуно избачене из употребе. Срећу се још само у музејским примерима хард дискова, а дискови у којима су оне биле употребљаване су били капацитета мањег од 50 MB.



Слика 2.4- феритна R/W глава Seagate ST-251

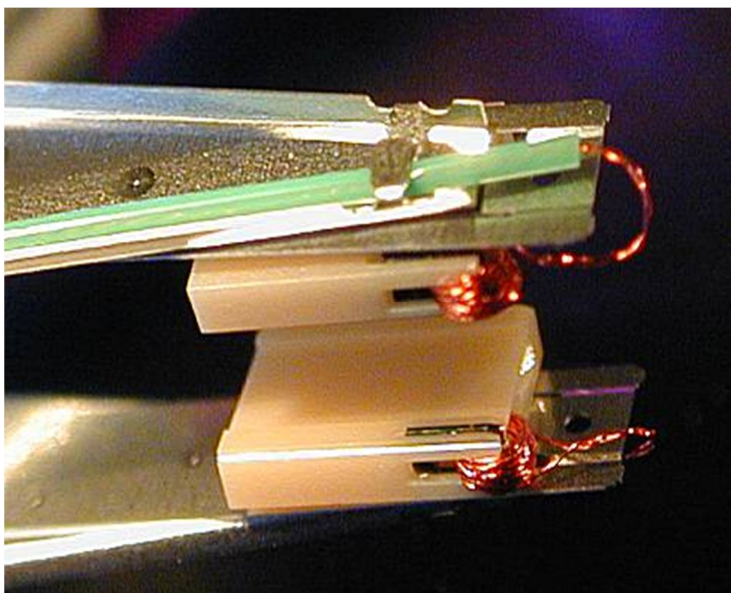
2.4 MIG технологија

Революционарно побољшање постојећих феритних глава је учињено проналаском **Metal-in-gap** (метал у процепу) MIG глава хард дискова. Ове главе су практично истог дизајна као и њихови претходници, феритне главе, са том разликом што је у процеп између магнетних полова главе додата посебна метална легура. Ова промена, иако делује минорно, знатно повећава прецизност и максималну јачину поља усмерену на плочу хард диска. То даље омогућава употребу ових глава у хард дисковима са значајно већом густином записа података односно самим тим и већим капацитетом. MIG главе су употребљаване у дисковима капацитета од 50 до 100 MB, све до 1979. године, када су биле замењене главама са Thin film технологијом.

2.3 Thin film heads технологија

Thin film (TF) главе, још назване и Thin film inductive (TFI) главама, су потпуно другачије концепције у односу на главе са гвозденим језгром и MIG главе (слика 2.5). Назив су добиле по технологији која се примењује при њиховој производњи. TF главе се производе коришћењем фотолитографског процеса сличног оном при производњи процесора и модерних медијума са танким филмом. Иако су развијене још шездесетих година двадесетог века, на тржиште су пласиране тек 1979. године, замењујући своје гломазне и непрецизне претходнике.

Подлога вафера нове врсте глава је обложена веома танким слојем металне легуре око никл-гвозденог језгра, у нарочитом обрасцу. То је омогућило постојање веома мале и прецизне главе, чије карактеристике и покрети могу бити пажљиво контролисани. TF главе могу бити употребљене на хард дисковима са знатно већом густином записа и могу лебдети на много мањем растојању од плоче хард диска у поређењу са својим претходницима. Коришћене су углавном на хард дисковима капацитета од 100 до 1000 MB. Како се са временом јављала потреба за све већом густином записа података, а тако и за већом прецизношћу глава хард диска, TF главе су достигле границе своје конструкције. На крају су, у домену читања података, у потпуности замењене са **Magnetoresistive** (магнеторезистивним, магнетноотпорним), MR главама, док и даље представљају стандард, када се ради о уписивању података.



Слика 2.5- типична Thinfilm глава

2.4 Magnetoresistive AMR технологија

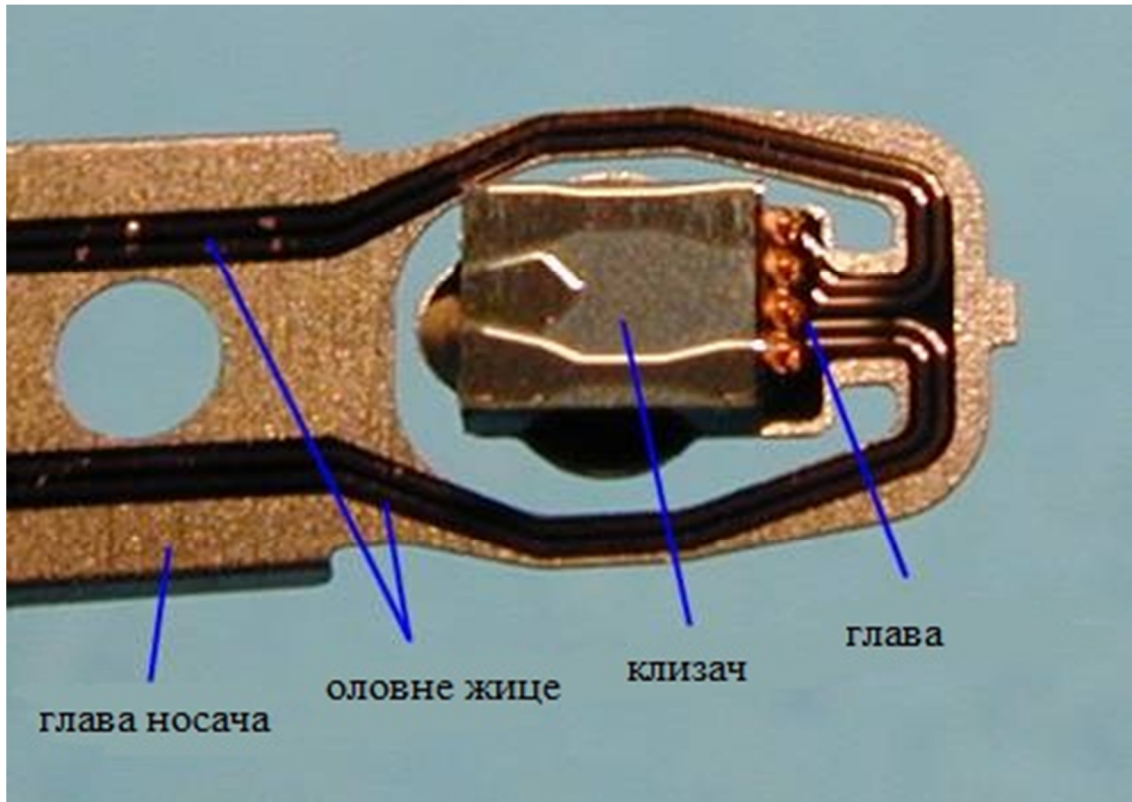
За разлику од претходних технологија које су настајале једна из друге еволуцијом једног истог концепта, Magnetoresistive технологија је увела потпуно нови концепт рада и изгледа R/W глава хард дискова. Док су конвенционалне феритне главе за читање радиле на принципу индуковања струје у калему главе, у присуству магнетног поља, магнеторезистивне главе користе потпуно другачији приступ за читање података.

Пуни назив прве у низу ових технологије, који се данас све чешће користи да би се разликовала од својих наследника, јесте **Anisotropic magnetoresistive (AMR)** технологија. AMR глава користи специјалан проводни материјал који мења своју отпорност у присуству магнетног поља. Како глава пролази изнад површине диска, проводни материјал у глави мења отпорност сходно промени магнетног поља на површини, а које зависи од обрасца намагнетисања на диску. Сензор детектује промене у отпорности, што омогућава да битови записани на магнетном диску у виду промене образаца намагнетисања буду прецизно прочитани (слика 2.6).

Употреба AMR глава за читање је омогућила читање записа много веће густине, него што је било могуће са старијим коцептима read глава. Како AMR глава не ствара струју на основу магнетног поља подлоге, већ само чита промене у отпорности материјала, AMR главе су неколико пута осетљивије на промене магнетног флукса у медију. Стога употреба AMR глава омогућава читање података који стварају далеко слабије магнетно поље, а самим тим омогућава и гушће „паковање” магнетних битова, без интерференције сигнала магнетних поља. То је довело да значајног повећања капацитета хард дискова као и у мањој мери до повећања брзине целог хард диска, тј брзине обезбеђивања података са хард диска другим деловима компјутера.

AMR и MR технологија уопште, се користи искључиво за читање података на хард диску. За уписивање се користи одвојена thin film глава. Иако на први поглед можда не делује тако, одвајање посла читања и писања на две засебне главе има својих додатних предности. Дотадашње главе које су обављале уједно и читање и писање су стално биле производ компромиса решења потреба једног или другог дела главе. Наиме, повећањем броја намотаја на калему око језгра, повећала би се осетљивост главе при читању, али би такође било онемогућено уписивање података при већим брзинама. Такође, ради боље магнетизације медијума, пожељно је уписивати ширу траку, али такође и читати ужу, да не би хватали сигнале са суседних трака, што је у директној контрадикцији. У коцепту са одвојеним главама, сваку од глава је могуће посебно оптимизовати, према њеним и само њеним потребама, без икаквих компромиса.

AMR главе су први пут представљене 1991. године, од стране IBM-а, али су ушле у широку употребу тек неколико година касније. AMR главе су један од кључних проналазака који је омогућио креирање дискова капацитета преко 1GB, као и експлозиван раст капацитета дискова у годинама које су наишле. Упркос знатно већој цени производње у односу на своје претходнике, AMR главе су у потпуности замениле своје претходнике који нису успевали да испрате потребе дискова капацитета од више дестина гигабајта. AMR главе су обележиле еру дискова капацитета између 1GB и 30GB. Међутим, и AMR главе су достигле временом своја конструкциона ограничења, да би биле замењене напреднијим, GMR главама.



Слика 2.6- увећани приказ стандардне AMR главе

2.5 GMR технологија

Giant Magnetoresistive (џиновске магнетоотпорне) или скраћено GMR главе (слика 2.7) раде на истом основном принципу као и AMR главе, али са одређеним променама у нацрту које их чине супериорнијим у односу на своје претходнике. GMR главе нису добиле атрибут „џиновске” због своје величине, већ су добиле назив по џиновском магнетоотпорном ефекту, откривеном касних осамдесетих година двадесетог века, од стране двојице европских научника, Петера Грунберга (Peter Grünberg) и Алберта Ферта (Albert Fert), који су независно радили на том открићу. Радећи са јаким магнетним пољима и танким слојевима разних магнетних материјала, приметили су веома велике промене у отпорности тих материјала, када су ови материјали изложени магнетном пољу. Њихово истраживање није одмах омогућило комерцијализацију нове технологије, али је поставило основу за даља истраживања у области спинтронике и њене примене у компјутерској технологији.

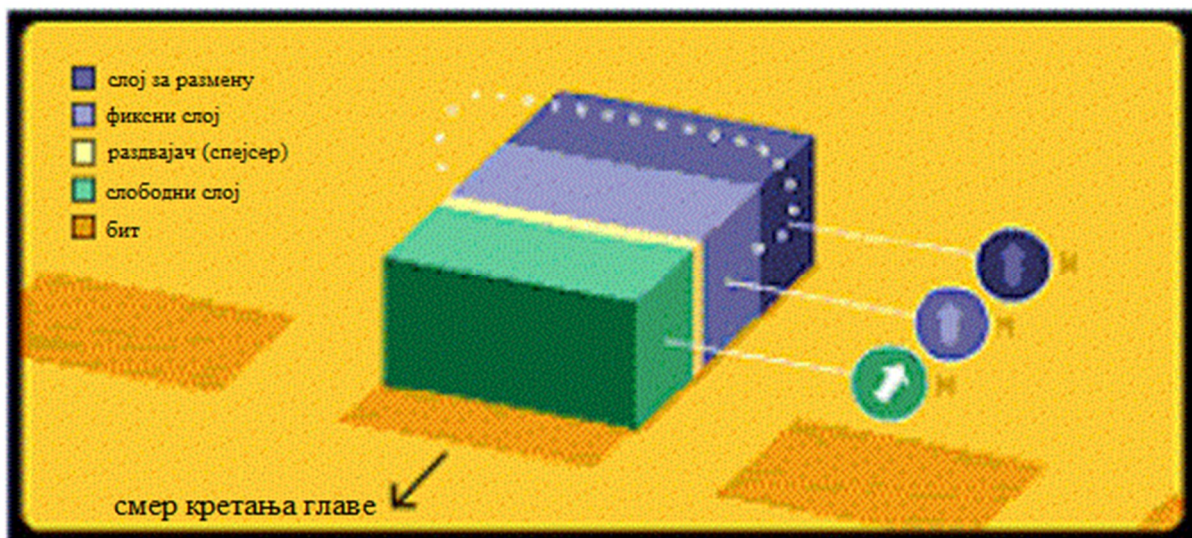
У деценији која је уследила за открићем GMR ефекта, инжењери и научници ИВМ-а успели су да развију комерцијални производ, експериментишући са хиљадама разних материјала и метода. Кључни напредак је остварен тек после открића да се GMR ефекат дешава и на вишеслојним материјалима нанетим распршивањем у танким слојевима, истом техником којом се конструишу thin film медији и thin film R/W главе. Децембра 1997. године ИВМ је представио први хард диск који је користио GMR технологију у својим главама за читање, који је омогућио и од тог момента омогућава све већу густину записа података, а као што је и раније речено, самим тим и већи капацитет хард дискова.

GMR главе се састоје од четири слоја танког материјала спојеног у „сендвич” структуру: (слика 2.7 и доњи део слике 2.8)

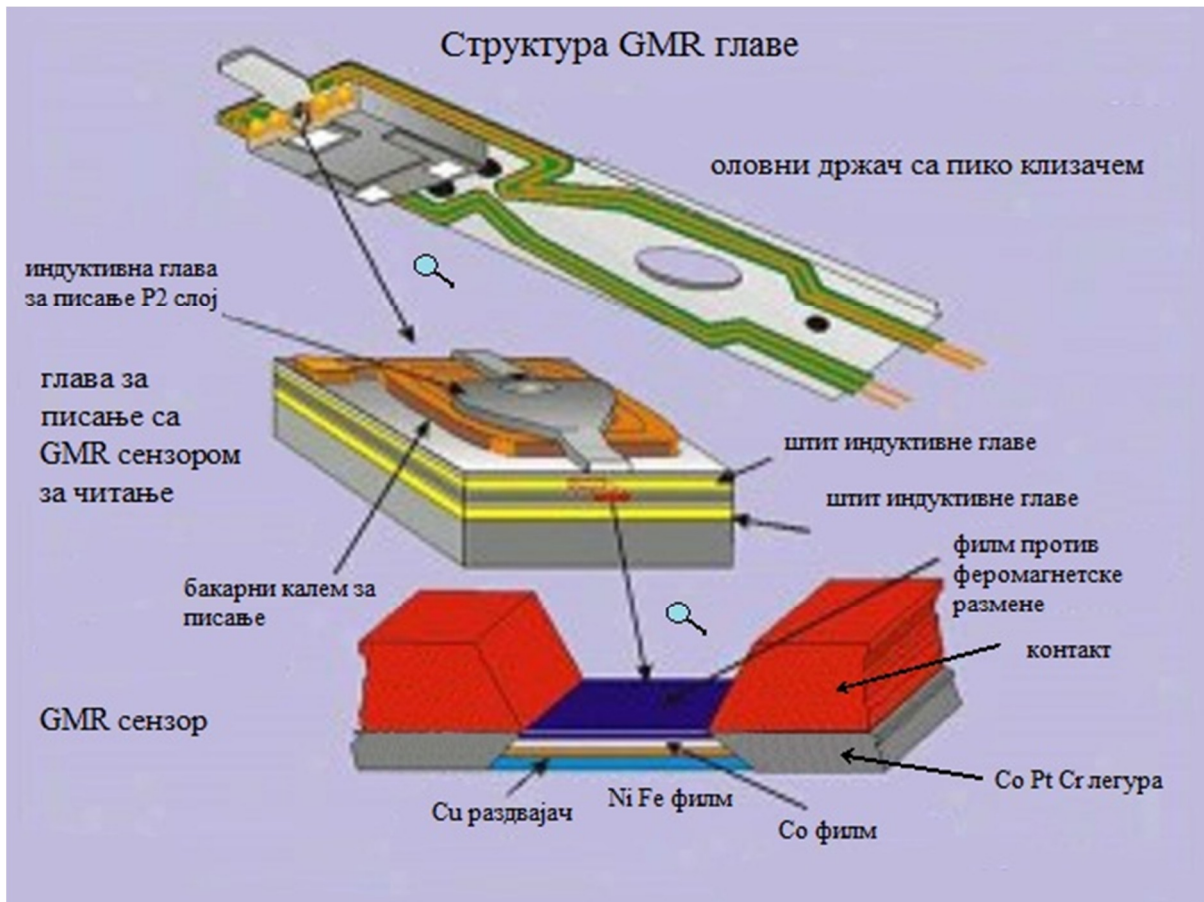
- Слободни слој, који је осетљив на промену магнетног поља околине и слободно ротира услед намагнетисања површине диска, реагујући на појединачне битове;
- Раздвајач или спејсер који се састоји од немагнетног материјала (обично од бакра) и налази се између слободног и фиксног слоја, стварајући магнетну баријеру између њих;
- Фиксни слој, који се састоји од материјала на бази кобалта, чија је магнетна оријентација фиксна захваљујући суседном слоју за размену;
- Слој за размену, који је направљен од „антиферомагнетног” материјала (обично се ради о легури гвожђа и мангана) који фиксира магнетну оријентацију честица фиксног слоја.

Сам процес читања је заснован на напредној квантној механици, али се ипак може релативно једноставно објаснити у неколико реченица. Наиме, када глава читача пређе преко магнетног поља једне поларности (нека се у конкретном примеру ради о бинарној „нули” на плочи хард диска), електрони у слободном слоју поравњавају свој спин са електронима фиксног спина у фиксном слоју. То поравњавање смањује отпорност целог материјала структуре главе за читање. Када глава прелази преко поља супротне поларности (бинарна „јединица” на плочи хард диска), електрони у слободном слоју поравњавају свој спин сходно магнетном пољу, али не и усмерењу спина електрона фиксног слоја. Ово узрокује повећање отпорности целог материјала главе за читање хард диска, које је детектовано конвенционалним сензором.

GMR главе су супериорне у односу на своје претходнике, AMR главе, због тога што су далеко осетљивије. Док старије главе из MR породице показују промену отпорности од највише 2% при преласку са једног на други тип поларности података, GMR главе показују промену од 5% до 8%. Повећана осетљивост у односу на претходну генерацију значи још бољу детекцију још слабијих сигнала, па слично као и у претходној смени генерација, омогућава далеко већу густину записа података, а самим тим и увећање капацитета и осталих перформанси диска. Такође, GMR главе су мање подложне грешкама услед шума и деловања страних магнетних поља, јер су обично опремљене са магнетним штитовима, који онемогућавају деловање свих магнетних поља у околини, осим оног које емитује записани бит директно испод главе читача. Последња, али не и најмања предност GMR глава у односу на своје претходнике, јесте чињеница да су много мање и лакше од претходника, што им омогућава деловање на мањој удаљености од плоча хард диска, као и већи број самих глава по јединици хард диск драјва.



Слика 2.7-концептуални приказ 4 слоја GMR главе и оријентација спинова по слојевима



Слика 2.8- Структура и увећани приказ стандардне GMR главе

2.7 Tunnel MagnetoResistive Read Sensor (TMR)

Tunnel MagnetoResistive Read Sensor (TMR), део TMR технологије је уведен 2005. године од стране компаније Сигејт (Seagate), омогућавајући развој дискова већих од 400 GB. Принцип рада TMR главе се заснива на микроскопским грејним калемима, који загревањем мењају облик трансдуктивног дела главе. Грејач се активира пре процеса записивања податка, приближавајући накратко главу плочи хард диска, тиме повећавајући флуks магнетног поља кроз површину коју треба магнетисати, осигуравајући солиднију јачину записа података него код претходника. Исти процес се дешава и при читању података, где се смањује процеп између главе читача и плоче хард диска, тиме побољшавајући снагу магнетног сигнала и његову чистоћу. До средине 2006. године и остали произвођачи хард дискова су преузели сличан концепт, те су сада, 2011. године, TMR главе већинским делом заступљене на тржишту хард дискова.

3. Технологија преноса података

3.1 Пренос података кроз историју

Као што је већ речено, стварање људске цивилизације је са собом донело и потребу за складиштењем велике количине података, који се тичу најразличитијих сфера људског деловања. Међутим, сами подаци по себи не значе ништа, уколико не постоји ефикасан и сигуран начин њихове интерпретације и преноса до система за њихову обраду, као и до самих корисника.

Први механички систем за пренос података на даљину, који је могао пренети више од једног бита информације, изумели су антички Грци, који су употребљавали комбинацију знања о светлости и хидродинамици. Наиме, два „оператера” су се налазила на кулама постављеним на два удаљена брда. Свако од њих је имао по бакљу, по суд са водом идентичне запремине и штап који је плутао на констатној дубини, са урезаним, унапред договореним обавештењима, на правилном растојању. Први оператер би упалио бакљу и то би био знак другом оператеру да почне да из суда испушта воду. Када би први коначно спустио своју бакљу, други би зауставио отицање воде и на основу тога колико је штап потонуо, прочитао унапред исписану поруку, да би је, брзином светлости и отицања воде, пренео даље.

Људска цивилизација је далеко напредовала од овог система, коришћењем светионика, бубњева, поште, голуба писмоноша, хелиографа, телеграфа, телефона, радија и различитих начина преноса аналогног и дигиталног сигнала. Хард дискови су створени у ери дигитализације, те су се подаци са њих од првих модела преносили у дигиталном формату, јер су, уосталом, тако били и записани. Оно што се јесте мењало, јесу стандарди записивања података и стандарди њиховог преноса, путем различитих конектора, а све ради увећања брзине трансфера података, способности хард дискова да буду целине mainframe рачунара, као и обезбеђења података који се преносе од шумова. Постоји више стандарда HDD контролера, као и више стандарда преноса података, што ће детаљније бити обрађено у следећим главама.

3.2 MFM стандард

MFM (Modified Frequency modulation) контролери су од свог настанка пропорционално дуго били присутни у РС индустрији. Скоро комплетна електроника MFM дискова се налазила на MFM контролеру, који је могао контролисати до два уређаја овог типа. Ови дискови користе Modified Frequency modulation технологију записа која подразумева да се сваки бит представља једнаком дужином записа, ради лакшег одређивања почетка и краја записа сваког бита. Овом технологијом омогућена је за тадашње стандарде солидна густина записа, али са данашњег гледишта, MFM дискови имају малу густину записа од свега 17 сектора по траци (стази), што имплицира мале капацитете уређаја овог типа, али и већу толерантност на квалитет магнетних плоча.

MFM сам по себи и није никада представљао стандард у ужем смислу те речи. Seagate (један од данашња четири велика произвођача хард дискова) је, наиме, направио контролер који је био компатибилан са његовим новим моделом хард диска. Таква концепција контролера је касније била прихваћена и од стране других произвођача хард дискова и контролера. Тај контролер је добио име ST506/412, по њиховим хард дисковима ST506 (капацитета 5 Mb) и ST412 (капацитета 10 Mb). Контролери овог типа су подржавали и дискове веће од 140 Mb, при максималној

брзини преноса од 5Mbit/s (625 KB/s). Границе MFM технологије достигнуте су Seagate-овим диском ST225 капацитета 20 Mb, када је на сцену ступио RLL стандард.

3.3 RLL стандард

RLL(Run length limited) контролери и хард дискови, наследили су MFM технологију. RLL технологија је захтевала побољшање магнетосензитивних карактеристика емулзија на плочама хард диска и побољшање квалитета самих R/W глава, чиме је омогућено повећање густине записа података. Код уређаја рађених по RLL стандарду, густина записа података достиже 27 сектора по траци (стази).

Заслуга за повећање густине записа донекле припада и новом типу контролера. Наиме, запис који користе дискови са RLL стандардом, захтевају мањи број промена магнетног флука по једном биту у односу на MFM, што самим тим повећава време читања и писања.

Дужина записа није иста за сваки бит, тј. није фиксна као код MFM. Контролери користе алгоритам који је доста компликованији од MFM. Наиме, полази се од претпоставке да се у коду једног бајта неће наћи више од седам нула заредом, као ни мање од две нуле заредом. Кодови су, дакле, могли бити дужине од два до седам. Захваљујући томе, RLL контролери типа 2.7 пружају могућност 50% гушћег записа, а тиме и капацитета. Касније су развијени и контролери типа 3.9, познатији као ARLL, који су пружили могућност двоструко веће густине записа података у односу на MFM. Хард диск који је предвиђен за рад са RLL контролером може без проблема да ради и са MFM контролером, али се при томе капацитет хард диска смањује на 2/3 почетног капацитета, услед смањене густине записа.

Уколико се покуша супротно, тј. да се MFM диск прикључи на RLL контролер са циљем повећања капацитета MFM хард диска, може доћи до губитка једног дела података који су били на диску. Наиме, капацитет се може повећати за 50%, али најчешће уз низ грешака које се испољавају временом, јер MFM дискови имају слабије магнетосензитивне карактеристике и немогуће је извести много већу густину записа од декларисане вредности, која износи 26 сектора по траци.

Важно је запазити и нагласити да је све ово последица чињенице да се RLL и MFM хард дискови разликују једино у физичким карактеристикама (квалитету) магнетних плоча и R/W глава које су се у њих уграђивале.

3.4 ESDI стандард

ESDI (Enhanced Small Device Interface) је произашао из тежње компјутерске индустрије, предвођене корпорацијом MAXTOR, да донесе нову, бржу технологију која би заменила споре MFM и RLL дискове и омогућила успостављање општијег стандарда. ESDI је постављен у време када је IBM промовисао прву AT варијанту PC-ја. Представљао је моћну и изузетно скупу ствар, која је била добродошла за сервере.

ESDI је интелигентан интерфејс који је пружио могућност прикључивања и других уређаја осим хард дискова, као што су CD-ови и траке. Изузетно важна карактеристика овог интерфејса је одржавање директног преноса података међу уређајима који су на њега повезани, без интервенција рачунара. Брзине преноса достизале су 24 Mbit/s, а у просеку 10Mbit/s.

Прве званичне спецификације овог стандарда донешене су 1983., а у ревизији из 1985. додата је и подршка за оптичке дискове. Стандард је добио ознаку ISO10222:198H.

ESDI концепција је слична MFM и RLL концепцијама, јер се основна електроника такође налазила на контролеру тј. ESDI картици. На њој се налазио и посебан BIOS који је преузимао функције за рад са диском, уз много бољу корекцију грешака, у односу на MFM и RLL. ESDI користи исти тип каблова као ST506/412, али преноси различит тип сигнала.

3.5. ATA/IDE стандард

Развој технологије довео је до два правца у развоју, који су узроковали појаву новог стандарда и новог начина повезивања хард дискова са РС-јем.

-Први правац развоја се односио на појефтињење производног процеса електронских компоненти које су улазиле у састав хард дискова.

-Други правац се односио на експоненцијално растући степен минијатуризације и производњу ASIC (Application Specific Integrated Circuit) чипова.

Степен технолошког развоја процесора текао је неупоредиво брже од развоја хард дискова. Хард диск је неминовно постао »уско грло« обраде података. Велики проблем представљала је и многобројност стандарда (MFM, RLL, ESDI, SCSI...), који су били препрека установљењу новог, општег и јединственог стандарда.

RLL је био стандард са којим је прва АТ варијанта IBM-овог РС-ја угледала светлост дана, али је убрзо замењен новим, напреднијим системом.

Форсиран је:

- Развој дискова мањег пречника (3 ½ inch уместо 5 ¼ inch)
- Побољшање магнетосензитивних карактеристика материјала на плочама
- Развој специјализованих ASIC интегрисаних кола

Напуштена је филозофија контроле на страни рачунара, па је самом хард диску поверено да води рачуна о акцијама које може да изврши. Овај стандард се заснивао на контролеру, који се, уместо на посебној картици, налазио на хард диску, заједно са електроником која контролише механику хард диска. Повезивање са рачунаром обезбеђено је преко посебне врсте везе која се своди на пар чипова који чине посредника између хард диска и матичне плоче. Ова електроника је или била интегрисана или на матичној плочи, или на посебној картици која се зове АТА-адаптер. На овај начин, смањена је физичка раздаљина између хард диска и контролера, што је имало велики значај за квалитет преноса података. Значајно је и то што су хард дискови већ у фабрици пролазили процес основног формирања (Low Level Format), што није било могуће са раније описаним технологијама, због недефинисаности стандарда.

Нови стандард је био врло једноставан и описивао је само комуникацију између рачунара и хард диска. Хард диск је, у таквом систему, представљао један од уређаја на главној магистралу рачунара, коме је процесор готово директно приступао. Адаптер је »преводио« поруке-сигнале са једне на другу магистарлу, и то је био читав његов посао. На тај начин, диск је био само још један додаток АТ рачунару, па је систем по томе и назван АТА (АТ Attachment -АТ прикључак).

С обзиром да су хард дискови садржали комплетну пратећу логику (електронску), добили су назив IDE- Integrated Drive Electronic (електроника интегрисана у уређају). АТА означава начин комуникације, магистралу, односно сам стандард, док IDE означава уређаје.

АТА адаптери се и данас често погрешно називају контролерима, најчешће IDE контролерима (јер »контролишу« IDE дискове). Услед оваквих забуна, АТА и IDE данас означавају једно исто (како дискове, тако и стандарде).

ATA/IDE је једноставан стандард, који садржи само основне функције: успостављање везе између рачунара и хард диска. Био је предвиђен само за хард дискове, да би се касније помоћу њега прикључивали и компакт диск читачи. Овај стандард је доживео неколико верзија и више нестандартних варијанти, које су произвођачи хард дискова употребљавали по својој вољи. Иако је требало да сви ти стандарди спадају под ATA-1, ATA-2 или ATA-3 стандарде, касније су уведени појмови и особине које произвођачи објављују на своју руку. То су, на пример, EIDE, FastATA, UltraATA...

ATA стандард је сачињен из два дела.

Први део ATA стандарда дефинише:

- Физичке протоколе комуникације
- Одговарајуће интерфејсе између диска и рачунара
- Сигнале
- Напоне
- Максималне и минималне јачине струје
- Дужине каблова
- Конекторе

Други део ATA стандарда дефинише:

- Садржај комуникација
- Команде Идентификације
- Команде покретања R/W глава
- Команде read/write
- Укључивање/искључивање мотора

Следећи додатак овом сету команди био је S.M.A.R.T. (Self Monitoring, Analysis and Report Technology). Ова технологија је омогућила хард диску да представи рачунару своје „здравствено стање“ ради предвиђања тренутка када backup (сигурносно копирање и чување података, тако да би могли бити употребљени и након евентуалног квара на хард диску) постаје неопходан или пожељан. То је постигнуто мерењем величина на сензорима, рачунањем и пријављивањем резултата заједно са прописаним критичним вредностима. Без обзира шта атрибути описивали, сваки проблем на који они указују треба озбиљно схватити. S.M.A.R.T. је званични део ATA-3 спецификације као и свих које су дошле после ње.

Постоје два дела комуникације: уписивање у регистре и преношење сектора. Седам једнобајтних регистара номинално одређују јединицу, цилиндар, главу, сектор и број сектора, команду. Развојем стандарда, ови регистри сада имају и тотално различите улоге, зависно од команде. У колико команда захтева преношење података (у било ком смеру), пренос се врши одмах по постављању регистра (ка хард диску) или по завршетку операције (са хард диска). Тај други део је претрпео највише допуна стандарда.

3.6 Протоколи трансфера података

Прописана су два основна протокола за трансфер података који се разликују и по врсти и по брзини, а то су PIO и DMA.

PIO (Programmed Input/Output) је стандардан начин комуникације са ATA уређајима. Централни процесор директно контролише пренос сваке 16-битне речи са ATA адаптером, тј. свако читање и упис мора да прође кроз регистре процесора. Изводи се применом класичних инструкција IN и OUT, односно њихових стринг

еквивалената који исту свар раде са низовима. Зато је брзина PIO трансфера диктирана брзином електронике хард диска, адаптера, магистрале на којој се адаптер налази, меморије и процесора. Фактички, сваки елемент рачунара утиче на брзину преноса. Установљено је пет PIO модова, који су нумерисани од 0 до 4. Подаци о минималним временима појединачних циклуса и одговарајућим максималним брзинама преноса дати су у табели:

PIO mod	Tmin [ns]	Vmax [106B/s]	Vmax [MB/s]
0	600	3,33	3,17
1	383	5,22	4,98
2	240	8,33	7,95
3	180	11,11	10,60
4	120	16,67	15,89

Tmin - минимално трајање циклуса Vmax - максимална брзина преноса

Ово су најбоље вредности за појединачне модове и представљају теоретске максимуме (односно минимуме), који се у пракси не могу достићи, јер не урачунавају време које је потребно за припрему сваке операције. Поред тога, иако су дефинисане, ове брзине не морају бити у потпуности поштоване јер »уско грло« у преносу података не мора бити хард диск или адаптер, већ то може бити сам рачунар.

Друга врста комуникације рачунара и диска је DMA (Direct Memory Access). Централни процесор само покрене пренос иницијализујући свој DMA контролер и АТА адаптер, односно диск. Пренос тече без учешћа процесора, директно у меморију или из ње. Процесом управља DMA контролер, који заузима неко време на магистрали, али за то време процесор може да ради други посао. Очекивало би се да DMA пренос буде готово увек бржи од еквивалентног PIO преноса, пошто не зависи од брзине процесора. Нажалост, са оперативним системима које најчешће користимо, то није увек случај. ANSI стандардом дефинисано је шест DMA модова различитих брзина, који се могу видети у табели:

DMA мод	Tмин [нс]	Vmax [106 B/s]	Vmax [MB/s]
0	480	4,17	3,97
1	150	13,33	12,72
2	120	16,67	15,89
Ултра-DMA	120	33,33	31,79
Ултра-DMA	6690	66,67	64,20
Ултра-DMA100	80	100,00	98,97

Tмин - минимално трајање циклуса Vmax - максимална брзина преноса

3.7 АТА S.M.A.R.T. превенција кварова

Са АТА-3 стандардом уведена је нова технологија која није имала везе са било каквим убрзањем или капацитетом хард дискова. Радило се о већ поменутој S.M.A.R.T. (Self Monitoring Analysis and Report Technology) технологији „самопосматрања“, анализе и извештавања.

Она је била заправо покушај предвиђања квара хард диска и тиме благовременог спречавања губитка података. На захтев, хард диск је испоручивао четрдесетак величина које су се називале атрибутима. Свака од њих је могла носити

вредност од 1 до 253, а почетна вредност свих је била 64. Те величине представљају резултате мерења стања на неким сензорима или вредности комплексних функција (или математичких модела), које за параметре имају дотадашњи рад уређаја и учесталост грешака. За сваки атрибут, хард диск је пријављивао и граничну вредност, при чему је посебно прописано шта означава достизање граничне вредности.

Предвиђена су два стања:

- „препоручује се backup“

- „стање пред квар“

Разлика тренутне вредности атрибута и граничне вредности представљала је поузданост хард диска, односно претпоставку колико ће дуго хард диск јединица бити исправна.

3.8. АТА адаптери

АТА адаптери су у почетку били само једноставни преводиоци између две магистрале и ни на који начин нису представљали контролере. То је било тачно само у почетку, јер су касније уведени напредни АТА адаптери, који обједињују функције кеша и пратећих алгоритама. Тада су ове картице постале и контролери у новом смислу те речи, јер су могле релативно самостално да управљају дисковима тако што су издавале и захтеве које рачунар није послао, или прераспоређивале захтеве рачунара. Овакви контролери ослобађају рачунар и услед паралелизације рада и нових могућности, постижу прилична убрзања. Они представљају резултат тежње произвођача да АТА стандард приближе SCSI-ју. Иако неке варијанте АТА имају бржи трансфер података од неких SCSI, SCSI ипак нудио брже и више, наравно, уз значајно већу цену. АТА је дуго остао стандардно подржано, најјефтиније и довољно добро решење за већину потреба. АТА адаптери су се налазили интегрисани на већини матичних плоча, као подразумевани део сета чипова.

3.9. SCSI дискови

Компанија Shugart Associates је 1979. пласирала свој диск интерфејс са наменом да замени IPI (Intelligent Peripheral Interface). SASI (Shugart Associates System Interface) је радио на логичком нивоу, што је омогућавало стабилан и дуготрајан интерфејс независно од развоја самих хард диск уређаја. 1980. године Shugart је покушао да постави SASI као стандард преко X3T9 комисије за стандарде, али није имао довољну подршку индустрије.

NCR је 1982. додао неке особине SASI-ју и X3T9 је одлучио да покрене пројекат SCSI (Small Computer System Interface) који би био базиран на SASI. У SCSI-ју су укључене команде које SASI није имао, као што је подршка за оптичке меморије.

1984. је NCR избацио чип NCR5380, који је представљао везу са SCSI магистралом, чиме је пружена прилика индустрији да почне да производи јефтине SCSI интерфејсе и уређаје. Apple је искористио овај чип у својим Macintosh рачунарима, чиме је стандард добио на популарности. Две године касније, ANSI је одобрио SCSI као ANSI X3.131-1986 стандард, а исте године је почео развој SCSI-2 стандарда.

SCSI је означен као интерфејс за мале рачунарске системе, али се до почетка 21. века толико раширио да се користио и на гломазним системима. За разлику од претходних стандарда, он је представљао интерфејс на који се буквално могло

прикључити све и свашта (изменљиви и фиксни уређаји, дискови, траке, штампачи, процесорске јединице, WORM-ови, скенери, CD-ROM-ови, DVD-јеви, оптичке меморије, комуникациони уређаји...) Више рачунара може равноправно да дели SCSI магистралу и уређаје на њој, а могу је користити и за међусобну комуникацију.

SCSI је систем за себе, у коме и сам рачунар представља тек један од уређаја, који може нешто да понуди или изрази своју жељу. SCSI адаптер је једини прави „газда“ који о свему одлучује. Рачунар преко њега командује осталим уређајима на магистралама, али не комплетно. Доста команди могу бити само пука »требовања«, док сами уређаји одлучују којим ће редом, како и шта урадити.

Сваки уређај на SCSI магистралама има свој идентификациони број SCSI ID на који се одазива. Тај број у принципу узима вредности од 0 до 7 (мада касније варијанте подржавају ID-ове до 15), односно представља тробитну вредност. Под сваким SCSI ID-ом се може крити до осам логичких јединица, опет са својим LUN (Logical Unit Number) бројевима од 0 до 7. Чести су системи дискова спојених у један велики систем, који се на SCSI магистралама одазива као један (већи) диск и користи само један SCSI ID.

SCSI је интерфејс који у основној варијанти (8-bit), за данашње појмове, није нарочито брз. Максимална брзина преноса основне варијанте SCSI-ја је 4,77 MB/s, односно 5.000.000 B/s. Ипак, доживео је бројна побољшања. За разлику од ATA, код кога је свака нова верзија компатибилна са старијим, SCSI има неколико алтернатива које се могу комбиновати. И SCSI има верзије, али су разлике међу њима углавном протоколарне природе.

Постоји више подела SCSI особина. Према ширини магистрале, интерфејс делимо на обичан или „уски“ 8-битни (narrow) и две „широке“ (wide) варијанте са 16-битном и 32-битном магистралом. Раније WIDE варијанте користе посебан „B“ кабл до сваког уређаја поред подразумеваног „A“ кабла. Данас нам је довољан само један.

Комуникација може да се обавља на основним фреквенцијама од 5 MHz (SCSI), 10 MHz (Fast SCSI), 20 MHz (Ultra SCSI) и 40MHz (Ultra2 SCSI/LVD-Low voltage differential).

Постоји и могућност да се сви дигитални сигнали уместо преко једне линије и одговарајуће масе, преносе преко две, (позитивног и негативног сигнала), при чему информацију носи разлика између њих. Логичка јединица је дефинисана стањем када је ниво на позитивној линији виши од нивоа на негативној, а логичка нула у супротном случају, уз дозвољену толеранцију до 5%. Differential SCSI много лакше трпи разне шуме, сметње и дугачке каблове, па су могуће веће брзине и у тежим условима.

Брзине трансфера SCSI интерфејса [MB/s]

	5MHz(SCSI)	10MHZ(FastSCSI)	20MHz(UltraSCSI)	40MHz(Ultra2/LVD)
Narrow 8-bit	4,77	9,54	19,07	38,15
WIDE 16-bit	9,54	19,07	38,15	76,29
WIDE 32-bit	19,07	38,15	76,29	152,59

Из табеле се види да је најбоља била Ultra2 32-bit варијанта која доноси високу поузданост и, чак и за данашње стандарде импресиван трансфер од 152,59 MB/s.

SCSI максимизира искоришћеност магистрале директним утицајем на распоређивање радњи и ослобађа рачунар великог дела посла. Копирање са једног диска на други се може вршити без ангажовања централног процесора. Процесор треба само да покрене процес. Ово не доноси неке добитке у кућној употреби, али је веома значајно код сервера. Треба знати да је SCSI интерфејс реално прилично сложен, па га сви драјвери не користе са једнаком ефикасношћу и не извлаче из њега максимум. Са SCSI се временом прешло на новије SATA и SATA2 стандарде.

3.10. RAID системи

RAID - Redundant Array of Independent/Inexpensive Disks (редундантни низ независних/јефтиних дискова) омогућава већу поузданост и већу брзину рада, коришћењем низа дискова. RAID формално не мора бити везан само за SCSI (али у пракси најчешће јесте), већ се везује и за IDE. Ни један од поменутих стандарда не може да обезбеди брзине веће него што их појединачни дискови могу понудити. Писање „интелигентних“ драјвера би могло да измени ову ситуацију, али не у довољној мери.

RAID системи користе могућност распоређивања података, чиме омогућава њихово паралелно читање или упис. То је једини начин да се искористе предности најјаче SCSI магистрале. Постоји више типова RAID система: RAID 0, RAID 1, RAID 4, RAID 5.

RAID системи најчешће садрже и велику количину кеша (преко 10MB), па на тај начин додатно убрзавају рад. RAID има смисла користити свуда где је неопходна бескопромисна брзина и поузданост. Присутни су у суперсерверима и рачунарима који интензивно раде са некомпресованим видео материјалом.

RAID није јефтин, па га не треба инсталирати у слабе машине или под slabим оперативним системима који неће моћи да искористе његову снагу.

RAID 0 представља spanning- распоређује податке на више дискова тако да рачунар може да их види као већу целину. Распоред може бити такав да омогућава истовремени упис односно читање секвенцијалних података са више уређаја. Тиме се постиже да је резултујућа брзина преноса готово једнака збиру појединачних брзина сваког диска понаособ. Незгода је што квар било ког диска значи губитак свих података, пошто су сами подаци испреплетани - секвенцијално читање неке нефрагментиране датотеке би се изводило читањем одговарајућих сектора са првог диска, па са другог, све до последњег у низу, када би се процес вратио на први диск. Ове операције теку паралелно, а RAID контролер брине о прераспоредивању сектора у адекватан секвенцијални низ какав рачунар очекује.

RAID 1 представља mirroring- дискови садрже исте податке. Брзина уписа у најбољем случају остаје иста, али се брзина читања може више него удвостручити при раду са великим блоковима, јер се истовремено могу читати различити делови фајлова. Иако је ово згодно за видео и аудио монтаже, првенствена намена RAID 1 система је сигурност, а не брзина преноса података, јер ако неки диск откаже, подаци нису изгубљени. Покварени хард диск се може заменити, а сам RAID контролер ће потпуно транспарентно на нов диск копирати садржај било ког исправног. Постоје »Hot Swap« контролери који дозвољавају замену дискова и у току рада рачунара без његовог искључивања, што је од огромног значаја код сервера. Мана RAID 1 система је у томе што је за исти капацитет потребан дупло већи број хард дискова, јер се сваки податак чува на два места.

RAID 4 донекле исправља ману RAID 1. У систему са три хард диска, два чувају корисне податке, док се трећи понаша као контролни и садржи информације о парности/непарности са прва два. Ако било који (један) од три диска откаже, његов садржај се може регенерисати из садржаја остала два, па је ефективни капацитет система $(n-1)/n$ од укупног, где је n -број дискова. RAID 4 је добро решење када се посматра сигурност података и искоришћени капацитет. Са брзинске тачке гледишта није сјајан јер је упис спорији због сталног уписивања на два места (корисни и контролни подаци), а да би се генерисали контролни подаци потребно је прочитати и остале дискове. Код читања нема ни убрзања ни успорења, али се применом расподеле података као код RAID 1 и овде може добити еквивалентно бржи пренос. Када диск откаже, у колико то није контролни, брзина читања опада, јер се подаци морају генерисати на основу информација са преосталих дискова.

RAID 5 је систем који даље развија идеју RAID 4 система. Контролни подаци се, наиме распоређују по свим расположивим дисковима.

3.11 SATA

SATA стандард, где је SATA скраћеница од Serial ATA (серијски ATA), који описује серијски мод за размену и пренос података је представљен јавности по први пут на Intel Developer форуму, 2000. године, да би до краја исте године био развијен до верзије 1.0 која је могла бити комерцијално примењена. Први производи базирани на SATA стандарду су се појавили на тржишту 2001., а масовна производња је коначно започела на прелазу са 2002. на 2003. Нови, серијски интерфејс је потпуно компатибилан са традиционалним паралелним интерфејсима. Исти регистри и команде су коришћене, да би омогућиле компатибилност са претходним верзијама ATA стандарда.

У SATA хард дисковима нема потребе за коришћењем џампера за конфигурацију улоге хард диска у ATA каналу као „master“ или „slave“, будући да су сви хард дискови повезани независним информационим каблом, који се састоји од 7 жица (3 за напајање, а 4 се користе у паровима, једна пар за трансфер података, а други пар за пријем података). Сам кабл је од ранијег тракастог постао танак и округлао, што је омогућило побољшање свих перформанси рачунарског система, из најпростијег могућег разлога: бољег хлађења околине.

У старом, паралелном ATA стандарду, за пренос података су коришћени сигнали амплитуде 5 волти, те је било немогуће уклопити овај стандард са енергетски ефикаснијим чиповима који нису могли произвести 5 волти на свом излазу. SATA стандард је решио тај проблем, смањујући волтажу на само 0.4 волта, али је тима произвео проблем осетљивости на шумове. Наиме, SATA каблови се не смеју налазити близу извора јаког магнетног поља, јер на тако ниској волтажи, њихов „имунитет“ информација које се шаљу, на шумове из спољне средине је веома низак. Једна од новина SATA хард дискова јесте могућност конекције и замене хард дискова, без гашења компјутера, коју су произвођачи хард дискова сами опционално уводили, при примени новог стандарда. Стандардна брзина преноса података у SATA режиму је око 1500 Mbit/s.

Увођење SATA2 стандарда, као наследника SATA стандарда је имало за циљ побољшање поузданости и лакоће употребе система под SATA командом, али иновације које прате SATA2 стандард су оријентисане пре свега за серверске системе, а не за стандардне десктоп РС компјутере. SATA2 обезбеђује трансфер од максималних 300MB/s што је одлично за серверске системе, али потпуно непотребно за РС-јеве, с обзиром да ни данашњи најнапреднији хард дискови засновани на

магнетном диску на успевају да искористе ни 60% стандардног SATA система (данашњи solid state drives имају способност потпуног искоришћења свих до сада дефинисаних SATA система, али они не спадају у хард дискове и њихова комерцијална раширеност за сада није велика, јер њихова цена по биту далеко надмашује конвенционалне хард дискове)

SATA3 стандард је објављен и пуштен у комерцијалну употребу 27. маја 2009. године и обезбеђује максималан проток података од око 600MB/s, при чему задржава све корисне особине својих претходника. Као што је и раније напоменуто, ни SATA3 стандард не може за сада бити потпуно искоришћен од стране тренутно постојећих хард дискова, али се у блиској будућности може очекивати његово задовољење, а можда чак и потреба за његовим побољшањем.

4. Будући правци у развоју хард-дискова

4.1 Тежње HDD индустрије

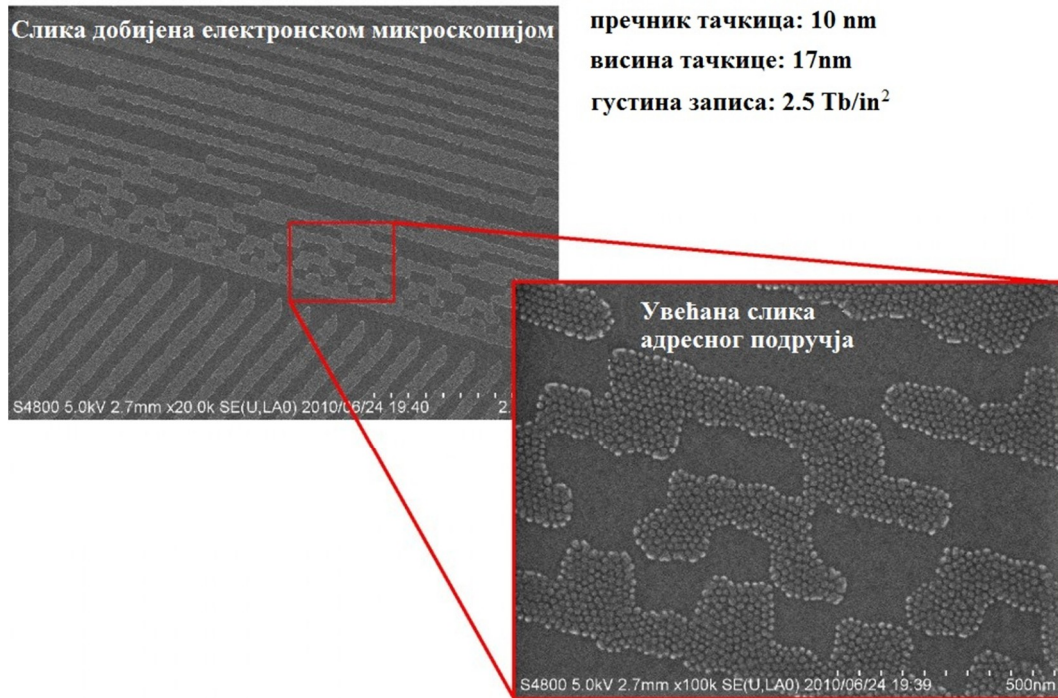
Индустрија хард дискова данашњице, као и свака друга индустрија коју познајемо, тежи сталном побољшању својих производа, ради одржавања конкурентности у односу на остале такмаце у својем пољу. Када се каже побољшање перформанси хард диска, може се мислити на једну од три ствари: цену, капацитет медија и брзину преноса података. Што се саме брзине трансфера података тиче, не постоји нека даља могућност побољшања, али се брзина трансфера још увек не мора побољшавати, иако хард диск вечито представља „уско грло“ процесуирања података. Што се капацитета медија тиче, постоје шансе да се коцепт магнетних хард дискова одржи на сцени, комбинацијом нових технологија које обећавају повећање густине записа података од скоро целог реда величине. Пре свега, ради се о Тошибиној (TOSHIBA) bit pattern технологији, као и Сигејтовој (Seagate) HAMR технологији. Што се смањења цена као фактора тиче, он је део самог истраживања нових технологија, стога што ниједна од њих неће постати део тржишта, док њена цена производње не буде у довољној мери исплатива њеним произвођачима.

4.2 Bit pattern технологија

Последње године прве деценије 21. века нису обећавале светлу будућност концепту хард дискова, као и њиховим произвођачима, због појаве све јефтинијих solid state медија, као и достизања техничких ограничења самог концепта хард дискова, као медија за магнетно складиштење података. Подстрек HDD индустрији дао је прелаз са лонгитудиналног на перпендикуларни запис 2005., али иницијални полет није дуго потрајао, због свести произвођача да даље повећавање густине записаних података неће бити могуће. Наиме, данашњи дискови углавном користе стаклене супstrate, на које је у једнаком слоју нанесен танак слој кобалт-платина-силикон-диоксида, међусобно раздвојених слојевима изолационог материјала. Главе за читање и писање функционишу на основу магнетних поља које емитују битови података са магнетног диска, при чему су битови између себе раздвојени слојевима материјала који при читању дају само шумове, јер нису оријентисани магнетним пољем. Густина записа података је, према томе, одређена прецизношћу и величином read и write глава, као и количином некодирајућег простора између битова. Нова, bit pattern технологија се заснива на укидању некодирајућег простора, већ на физичком одвајању кодирајућих подручја празним простором, као и на смањењу величине самих кодирајућих домена. Да би се омогућила комерцијална производња медија са јасно одвојеним битовним обрасцима, потребно је наћи метод производње који има добар принос, заједно са ниском ценом. TOSHIBA је развила метод **Directed self-assembly (DSA)** (усмерено самосклапање), који користи блокове самосклапајућих полимера, који стварају ланце приближне дужине од око 2nm до 5nm и стварају циркуларне, стубићасте структуре. Те структуре даље служе као водич за исцртавање трака на плочи хард диска. После

даљих обрада бомбардовањем јонима аргона, и одређених техника које спадају под индустријску тајну, добија се материјал на плочи као на слици 4.1.

Микроструктура самосклапајућег bit-pattern медија

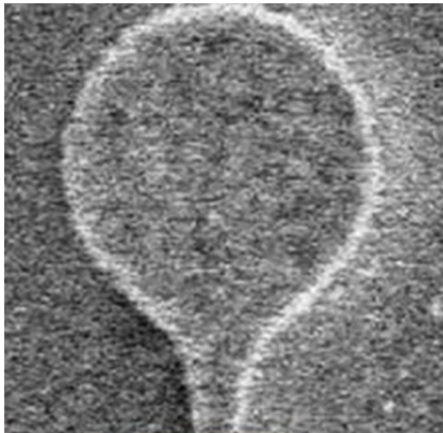


Слика 4.1- Микроструктура bit pattern медија

4.3 HAMR технологија

Друга велика компанија у послу производње и дистрибуције хард дискова данашњице и сутрашњице, Seagate, ради на развијању и усавршавању HAMR технологије, скраћено од **Heat-assisted magnetic recording** (магнетно записивање потпомогнуто загревањем). Наиме, при сталном повећању густине података, коришћењем стандардних индуктивних начина записивања, до 2015. године ће засигурно магнетни домени бити толико мали и збијени, да ће постати магнетно нестабилни због суперпарамагнетизма, односно особине микрочестица да преокрену своју магнетну оријентацију, услед термалног кретања. Једино решење би представљало коришћене магнетно стабилнијих медија. Међутим, данашње доступне white главе нису способне да уписују податке на овакве, стабилније медије. HAMR технологија решава тај проблем, загревајући медиј прецизним ласерским зраком, на тачном месту где треба наснимити бит податка. Када је загрејан, медиј постаје подложнији уписивању помоћу индукваног магнетног поља, док брзо хлађење до којег долази одмах по престанку дејства ласерског зрака стабилизује вредност уписаног податка. Иако су научници из Seagate-research-а доказали комерцијалну изводљивост ове технологије, фокусирање ласерског зрака на поједин зрнца, мања од 100 nm у пречнику, није могуће коришћењем конвенционалне оптике. Уместо стандардне оптике, Seagate-ова технологија користи такозване оптичке антене, величине до 50 nm у пречнику, које фокусирају светлост боље него иједан други познати инструмент, али је њихова производња, барем са сад релативно скупа и самим тим и несиплатава. Резултат примене ове технологије, могло би бити значајно

повећање густине података, чак и до реда величине, те би могло обезбедити преживљавање концепта хард диска још пар деценија.



Слика 4.2- златна оптичка антена снимљена електронском микрографијом



Слика 4.2-изглед write HAMR главе

5.Закључак

Хард дискови су прешли велики пут, од простих дискова намазаних „рђом“ који су чували неколико хиљада карактера, до модерних нанотехнолошких чуда људске креативности и индустријске способности, способних да на квадратном метру сачувају више података него што се налази у свим библиотекама на свету. Данашњи хард дискови су премашили густину записа од 100Gbit/inch квадратном, пречника су мањег од једног инча, годишње се производи преко 300 милиона нових хард дискова, при чему је цена по гигабајту пала испод 50 центи америчког долара. Њихов развој је текао некад континуално, а некад скоковито, изненађујући повремено и саме проналазаче. Многи су пали, поклекли и одустали у битци за тржиште HDD компоненти, али су они који су остали и даље вољни да наставе њиховим путем, и даље од тога.

Хард дискови су изменили начин живота наших предака и омогућили нама живот какав познајемо данас, живот у глобалном селу, живот без тајни, без недоступних места, како у позитивном, тако и у негативном смислу. У свету који, барем према тврдњама Ерика Шмита, дневно генерише онолико информација, колико је то учињено у периоду од настанка света, па до 2003. године, раст потребе и апетита човечанства за медијима за складиштење информација ће наставити да расте експоненцијалном брзином. Стога ће и технологија хард дискова, у годинама, деценијама и вековима који долазе наставити да се и даље усавшава, доносећи све веће по капацитету, мање по величини, брже, лепше, јефтиније, комплексније, а ипак хард дискове једноставније за коришћење, за које ће наши потомци моћи да кажу, да су њима омогућили живот какав познају, као и да су тим животом, веома задовољни!

6. Прилози

6.1. Списак угашених компанија произвођача HDD

Многе компаније су биле у послу са хард дисковима, да би данас само 4 постојале: Seagate, Western Digital, Samsung и Toshiba.

Остале компаније су своју производњу припојиле наведеној четворци, или су се због неконкурентности угасиле или преоријентисале на друге секторе индустрије.

-Apple, Inc. – произвео Lisa 20MB Widget drive 1984. године, да би после мање од две године напустио производњу хард дискова

-Atasi Corporation – банкротирала

-Areal Technology – преузета од стране Tomen корпорације

-Cogito Systems – банкротирала

-Computer Memories Incorporated (CMI) – напустила индустрију 1986. године

-Conner Peripherals – спојила се са компанијом Seagate 1996. године

-Conner Technologies – спојила се са компанијом ExcelStor 2001. године

-Control Data Corporation / Imprimis – продала производњу хард дискова Seagate-у 1989.

-Cornice LLC – банкротирала 2007. године

-Data General – напустила индустрију

-Data Storage International – банкротирала

-Digital Equipment Corporation – продала производњу хард дискова Quantum-у 1994.

-Epson – напустио индустрију

-Evotek – напустио индустрију

-ExcelStor Technology – напустила индустрију

-Fujitsu – HDD одсек преузет од Toshiba у јулу 2009. године

-Hewlett-Packard – напустио индустрију

-IBM – посао производње хард дискова преузео Hitachi 2002. године

-Integral Peripherals – створили први чврсти 1.8" хард диск; банкротирали 1998. године

-International Memories (IMI) – настао одвајањем од Memorex-а 1977.; напустио индустрију 1985. године

-Omega – напустили индустрију

- JT Storage – банкротирао 1999. године
- JVC – напустио индустрију
- Kalok – банкротирали 1994. године
- Kyocera – напустила индустрију
- LaPine Technologies напустили индустрију
- Maxtor – преузет од стране Seagate-а 2006. године
- Memorex – преузет од Burroughs-а 1981., затим спојена са Unisys групом 1986.; HDD одсек затворен 1988. године
- Micropolis Corporation - банкротирала 1997. године
- Microscience International – банкротирао 1992. године
- MiniScribe – био пред банкротом, да би га преузео Maxtor 1990.
- Ministor Peripherals – творци првог преносног 1.8" драјва; банкротирали 1998.
- Mitsubishi – напустили индустрију
- NEC – напустили индустрију
- Plus Development – ћерка фирма Quantum-а; створили Hardcard; враћени у Quantum 1992. године
- PrairieTek – први 2.5" чврсти HDD; банкротирали 1991. године
- Priam Systems – продали производну линију Prima International-у 1991. године
- Quantum Corporation – продао посао са хард дисковима Maxtor-у 2000. године
- Rahm Rotationals – преименована и спојена са Tamir Tech-ом 1994. (купљен од Quantum 1995. године)
- Rodime – створили први 3.5" чврсти HDD; затворили одељење 1991; лиценцирали своје патенте, да би их продали за 1500000\$ у јулу 2003. Компанија је касније спојена и преименована у Sportech PLC
- Sony
- Storage Technology Corporation (StorageTek или STK) – напустила индустрију
- Syquest – банкротирао 1998. године; Неке патенте је преузео Iomega. Касније се поново појавила али у другој сфери производње.
- Tandon Corporation – преузета од стране Western Digital-а 1988. године
- Texas Instruments – напустили индустрију

-Tulin Corporation - банкротирала

-Wang Laboratories – напустили индустрију

6.2 Timeline дешавања у HDD индустрији.

1950-те: магнетни добоши, као први механички“direct access” направа за чување података.

1951: Магнетне траке, у почетку прављене од метала, касније од пластике

1956: Створен IBM: 305 RAMAC (Random Access Method of Accounting and Control). Могао је да сачува 5MB података на 50 24-инчних магнетних дискова

1961: Прва употреба зонираниог снимања Bryant Computer 4240 – 90 MB, 24 39" диска

1961: IBM изумео први хард диск са лебдећим главама: IBM 1301 "Advanced Disk File" – 28 MB, 25 24" плоча

1963: Први 14" хард диск са измењивим паковањем дискова: IBM 1311 "Low Cost File" – 2.69 MB, 6 14" плоча

1965: Први voice coil актуатор, први диск са само једним кертриџем: IBM 2310 "Ramkit" – 1.024 MB, једна 14" плоча

1966: Први хард диск са главама са феритним језгром: IBM 2314 -- 29.17 MB, 11 14"плоча

1971: Први хард диск са 100MB: IBM 3330-1 "Merlin" – 100 MB, 11 14" плоча

1973: IBM избацио на тржиште 3340 Winchester, 3340 је имао две осовине са плочама, свака капацитета 30MB

1975: Први хард диск са ротационим актуатором: IBM 62 GV "Gulliver" – 5 или 9 MB, једна 14" плоча

1976: Поновно представљање диска са фиксним медијем: IBM 3350 "Madrid" -- 317.5 MB, 8 14" плоча

1979: Први HDD са thin film главама: IBM 3370 "New File Project" – 571.4 MB, седам 14" плоча

1979: Први 8-инчни хард диск: IBM 62PC "Piccolo" – 64.5 MB, шест 8" плоча

1980: Први хард диск капацитета 1GB: the IBM 3380 тежине 250kg

1980: Seagate Technology је представио први хард диск за микрокомпјутере, ST506, 1/4" плоча, са степер мотором, капацитета 5 MB

1981: Први 10.5" хард диск: Fujitsu F6421 "Eagle" – 446 MB, шест 10.5" плоча

1982: Morrow Designs креира хард диск капацитета 20MB

1982: Први 9" хард диск: Control Data 9715-160 "FSD" – 150 MB, шест 9" плоча

1983: Rodime направио први 3.5" хард диск: RO 352 – 10 MB, две 3.5" плоче

1983: Први 5.25 инчни хард диск са осам плоча, са мотором у кућишту: Maxtor XT-1140 – 126 MB, осам 5.25" плоча

1984: Први 8.8" хард диск: Hitachi DK815-5 – 460 MB, осам 8.8" плоча

1986: Стандардизација SCSI, најчешће коришћена на раним Mac компјутерима за екстерне хард дискове, јер мекови нису имали интерни простор за хард диск

1988: Conner представио први 3 1/2" хард диск висине 1": Conner Peripherals CP3022 – 21 MB, једна 3.5" плоча

1988: PrairieTek испоручио први 2 1/2" хард диск: PrairieTek 220 – 20 MB, две 2.5" плоче

1988: Први 9.5" хард диск: Hitachi DKU-86i – 1,890 MB, осам 9.5" плоча

1991: 2.5" хард диск од 100MB

1991: Први хард диск који користи магнеторезистивне главе: IBM 0663 "Corsair" – 1,004 MB, осам 3.5" плоча

1991: Први 1.8" хард диск: Integral Peripherals 1820 "Mustang" – 21.4 MB, једна 1.8" плоча

1992: Први 1.3" хард диск: Hewlett-Packard C3013A "Kittyhawk" – 21.4 MB, две 1.3" плоче

1993: Seagate представио први 7,200 RPM, Ultra ATA хард диск за десктоп компјутере: ST12550 "Barracuda" – 2,139 MB, десет 3.5" плоча

1993: Први 6.5" хард диск: Hitachi H-6588-314 – 2,920 MB, осам 6.5" плоча

1994: IBM представља Laser Textured Landing Zones (LZT)

1995: Први 3" хард диск: JTS N0640-2AR – 641.7 MB, две 3" плоче

1995: Quantum Fireball 1.2GB HDD

1996: IBM представља GMR (Giant MR) технологију за read сензоре

1997: Први хард диск који користи giant magnetoresistive главе: IBM Deskstar 16GP "Titan" – 16,800 MB, пет 3.5" плоча

1997: Први 10,000 RPM хард диск: Seagate Technology ST19101 "Cheetah 9" – 9,100 MB, осам 3.5" плоча

1998 - UltraDMA/33 и ATAPI стандардизовани

1998: Први 10,000 RPM хард диск са 3" плочом: Seagate Technology ST118202 "Cheetah 18" – 18,200 MB, дванаест 3" плоча

1998: Први 12,000 RPM хард диск: Hitachi DK3E1T-91 – 9,200 MB, девет 2.5" плоча

2000: Seagate представља први 15,000 RPM HDD: Seagate Technology ST318451 "Cheetah X15" – 18,350 MB, три 2.5" плоче

2002: 137 GB баријера за адресни простор премашена

2003: Serial ATA представљен

2004: eSATA, External SATA постали стандардизовани

2005: Прва испорука хард диска капацитета 500 GB (Hitachi GST)

2005: Serial ATA 3G стандардизован

2005: Перпендикуларни запис уведен у комерцијалне HDD

2005: Први 0.85" хард диск: Toshiba

2006: Први 200 GB 2.5" хард диск који користи перпендикуларни запис (Toshiba)

2006: Први хард диск капацитета 750 GB

2006: Fujitsu развија heat-assisted magnetic recording (HAMR) који би једног дана могао да достигне густину записа од 1terabit/inch square

2007: Hitachi GST представља хард диск капацитета 1TB

2008: Seagate најавио први хард диск капацитета 1.5TB

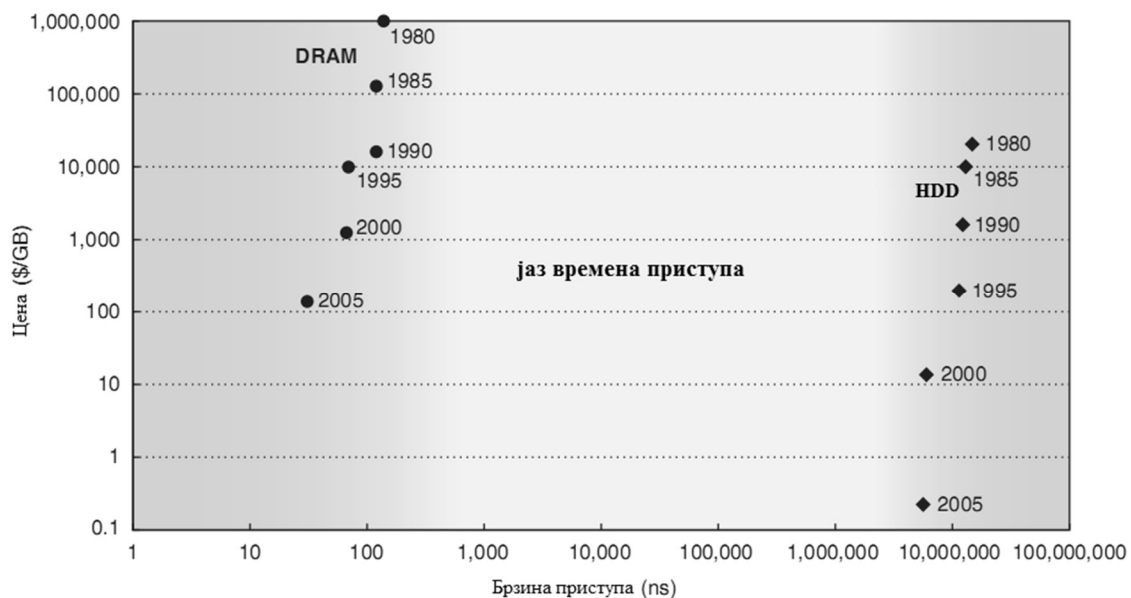
27. јануар, 2009: Western Digital најављује хард диск капацитета 2TB, као део њихове "Cool and Quiet, Caviar Green" серије са 5400RPM

4. фебруар, 2009: Seagate представља први хард диск на 7,200RPM, капацитета 2TB Constellation ES,

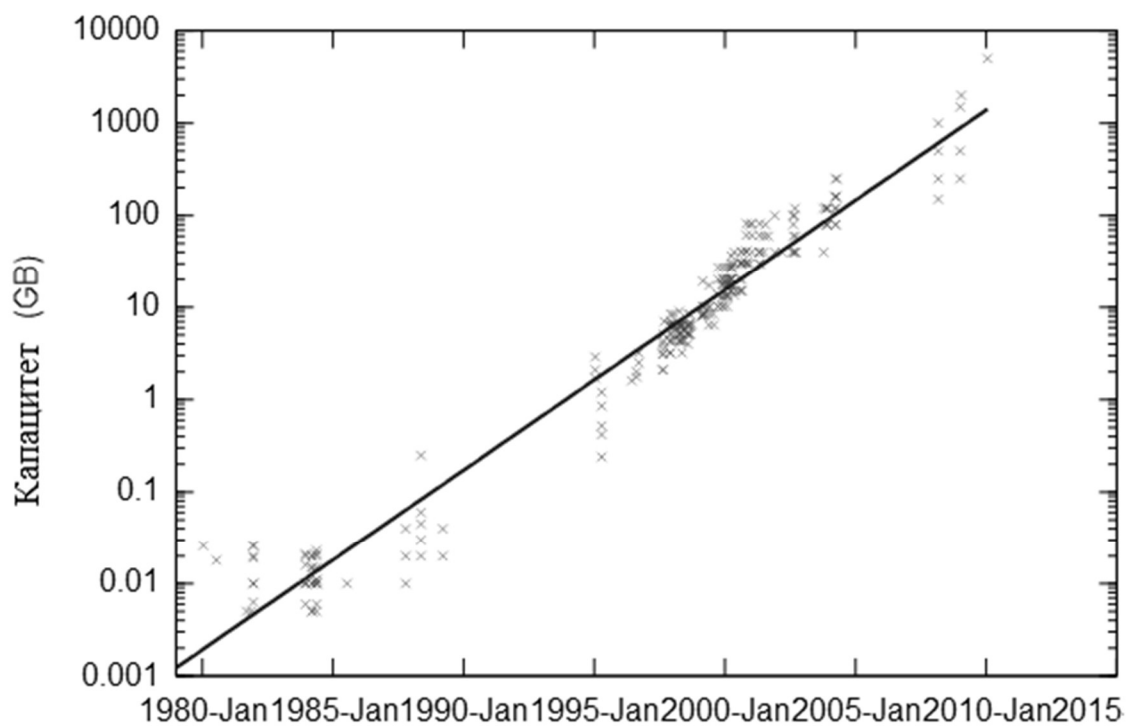
9. јун, 2009: Western Digital преставља први 4TB екстерни хард диск My Book Studio Edition Dual-drive External Storage System

29. јул, 2009: Samsung лансира Spinpoint F3 који користи напредну технологију са 500GB по плочи, тако да је капацитет од 1TB на две плоче, коначно достигнут

6.3 Графици промене перформанси хард дискова



Слика 6.1-График зависности цене по гигабајту податка од брзине приступа; тачкама су обележена постигнућа реалних хард дискова и меморијских модула, са годином када је резултат постигнут



Слика 6.2- Раст капацитета хард дискова кроз време

7. Литература

1. „Водич за РС“, Драган Марковић, СЕТ, Београд
2. „Рачунарство и информатика 3“, Н.Спалевић, Н.Алимпић, Ј. Хаџи Пурић
3. <http://www.toshiba.com/>- Toshiba HDD – New patterning technology for media drives
4. <http://forums.legitreviews.com/>- “The history of storage”
5. <http://www.fel.fujitsu.com/>- “General Notes on Hard Disk Head Design”
6. <http://www.smarthdd.com/en/sata.htm>- “Serial Data Transfer Mode in Hard Disk Drive (SATA)”
7. <http://www.seagate.com/www/en-us/>- “Seagate Swings "HAMR" To Increase Disc Drive Densities By A Factor Of 100”
8. <http://www.datarecoverytools.co.uk/>- “Read/write heads technologies”
9. <http://www.pcguides.com/>- “Giant Magnetoresistive (GMR) Heads”
10. <http://www.engadget.com/>- “New HDD writing methods could boost platter densities by 5x or more”, Tim Stevens
11. ”Magnetic materials, processes, and devices VI: applications to storage and Microelectromechanical systems (MEMS)”, S. Kronbelg et al.
12. www.wikipedia.org- разни чланци везани за хард дискове
13. <http://gadgets.fosfor.se/>- “History of data storage”
14. <http://www.technologyreview.com/>- “Heating Up Magnetic Memory”, Katherine Bourzac
15. <http://www.pcguides.com/>- “Head sliders of hard disk drive”
16. http://hddinfo2010.blogspot.com/2010/07/hard-drive-parts_15.html
17. <http://advancedstorage.blogspot.com/2007/11/ibm-62pc-hdd-circa-1979-early-8-disk.html>
18. <http://www.electroiq.com/index.html>- “Solid state technologies”
19. <http://www.taylor-hobson.com/>- “Hard Disk, MEMS & Semiconductor”
20. “Disk drives take eventful spin”, George Rostky
21. “Tunneling magnetoresistance from a symmetry filtering effect”, WilliamHButler
22. “History of Magnetic Disk Storage Based on Perpendicular Magnetic Recording”, AlbertS.Hoagland
23. „Magnetoresistive sensors“, P.P.Freitas, R.Ferreira, S.Cardoso и F.Cardoso

24. „Computer architecture- A quantitative approach“, John L. Hennessy, David A. Patterson
25. „The History of Magnetic Storage, RAID, and I/O Buses“, Albert S. Hoagland