

Hard disk 1

Istorijat magnetnog skladištenja

Dok u računarima nije postojalo magnetno skladištenje, osnovni medijum za skladištenje bile su bušene kartice.



Istorijat magnetnog skladištenja počinje juna 1949. godine, kada je grupa IBM-ovih inženjera i naučnika počela rad na novom uređaju za skladištenje. IBM je 21. maja 1952. godine najavio **jedinicu za trake IBM 726** sa mašinom IBM 701 Defense Calculator i označio prelazak sa računara sa bušenim karticama na elektronske računare.



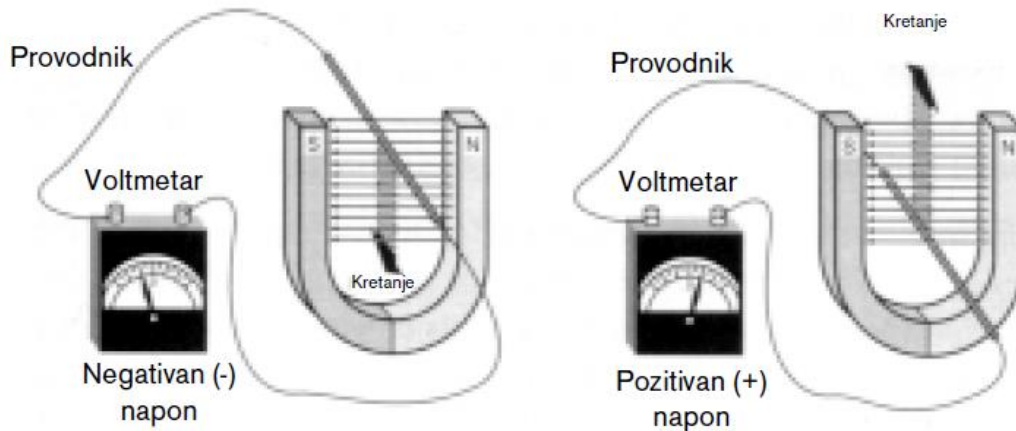
Trinaestog septembra 1956. godine, mali tim IBM-ovih inženjera je u San Hoseu, u Kaliforniji, uveo prvi računarski sistem za skladištenje na disku – **305 RAMAC** (*Random Access Method of Accounting and Control* – metod direktnog pristupa za obračun i kontrolu). RAMAC 305 je bio u stanju da primi 5 miliona znakova (zaista samo 5 MB!) podataka na 50 diskova prečnika od 24 inča. Za razliku od jedinica za traku, RAMAC-ove glave za pisanje mogle su da priđu svakoj lokaciji na disku a da nisu morale da pročitaju sve informacije

ispred toga. Direktni pristup imao je veliki uticaj na performanse tadašnjih računara, jer je omogućavao daleko brže upisivanje i čitanje podataka nego na traci.

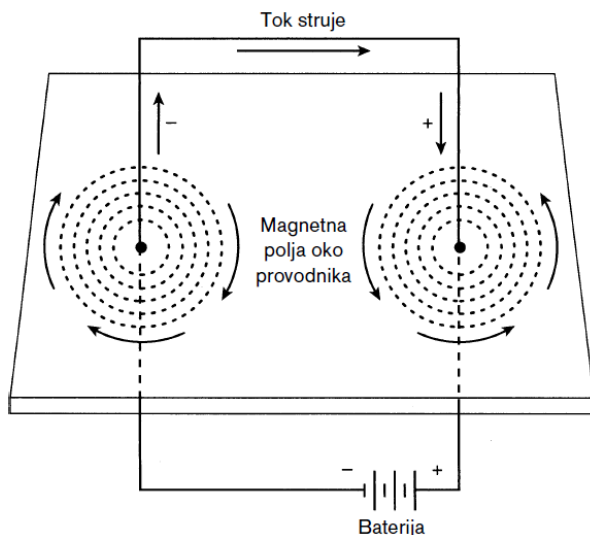
Isto odeljenje iz San Hosea u kojem je napravljen disk uređaj uvelo je prvi disketni uređaj za diskete od 8 inča (1971. godine).

Kako se magnetna polja koriste za čuvanje podataka

Svi magnetni uređaji za skladištenje, poput disketa i diskova, čitaju i upisuju podatke *elektromagnetski*. Jedan od osnovnih principa fizike kaže da kroz provodnik koji se nalazi u magnetnom polju protiče struja.



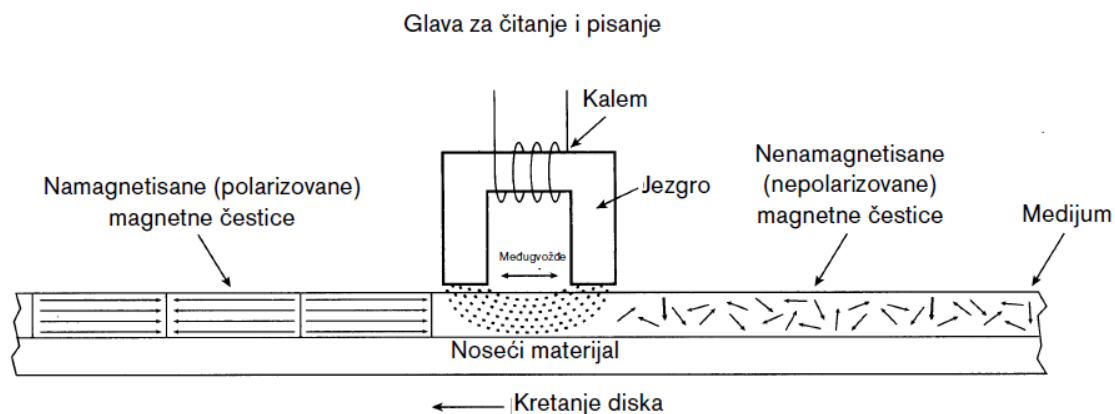
Elektromagnetizam je 1819. godine otkrio danski fizičar Hans Christian Oersted kada je uočio da igla na kompasu ne pokazuje sever ako se nalazi blizu provodnika električne struje. Kada se struja isključi, **igla na kompasu** se ponovo poravnava sa zemljinim magnetnim poljem i pravilno pokazuje sever. Magnetno polje koje stvara provodnik može da utiče na magnetni materijal koji se nađe u polju. Kada se promeni smer električne struje, menja se i **polaritet magnetnog polja**. Još jedan efekat elektromagnetizma jeste **pojava električne struje** u provodniku koji se kreće kroz promenljivo magnetno polje. Kako se menja polaritet magnetnog polja, tako se menja i smer električne struje.



Kada se ove dve osobine elektromagnetizma primene na magnetne uređaje za skladištenje, omogućava se upisivanje podataka na disk i njihovo kasnije čitanje. Prilikom upisivanja glava pretvara električne impulse u magnetna polja, a prilikom čitanja pretvara magnetna polja ponovo u električne impulse.

Glave za čitanje/upisivanje kod uređaja za magnetno skladištenje predstavljaju komade provodljivog materijala u obliku slova U, pri čemu se krajevi nalaze tačno iznad (ili pored) površine medijuma za skladištenje.

Glava u obliku slova U obavijena je namotajima provodnika kroz koje može da protiče električna struja. Kada logički deo uređaja kroz te namotaje propusti struju, u glavi uređaja nastaje magnetno polje. Ako se obrne smer električne struje menja se i polaritet magnetnog polja. U suštini, glave su elektromagneti čijoj struji može veoma brzo da se menja smer.



Medijumi za skladištenje (diskovi ili trake), napravljeni su od posebnog nosećeg materijala (za diskete je to Mylar, a za diskove aluminijum ili staklo) na kojem se nalazi sloj materijala koji može da se namagnetise. Taj materijal obično je neka vrsta oksida gvožđa sa raznim dodacima. Svaka pojedinačna čestica medijuma za skladištenje ima vlastito magnetno polje. Kada je medijum prazan, magnetno polje je nepolarizovano. Kako su polja pojedinačnih čestica usmerena u proizvoljnom smeru, svako malo polje poništava neko drugo polje suprotnog usmerenja; zbirni učinak daje površine bez magnetnog polja.

Kada glava za čitanje/upisivanje napravi magnetno polje, linije magnetnog polja se deformišu i prolaze kroz medijum. Polje prolazi kroz medijum tačno ispod međugvožđa, ono polarizuje magnetne čestice tako da se one okreću u smeru polja.

Polaritet polja zavisi od smera protoka električne struje kroz kalem. Promena smera struje menja i smer magnetnog polja. Kada magnetno polje prolazi kroz medijum, čestice ispod međugvožđa glave usmeravaju i stvara se deo medijuma sa merljivim magnetnim poljem.

Izraz *fluks* opisuje magnetno polje koje ima određen smer, ili polaritet. Magnetna glava pravi magnetni fluks datog polariteta na određenom delu medijuma. Kada se promeni smer električne struje kroz namotaje na glavi to prouzrokuje promenu polariteta namagnetisanih čestica u medijumu.

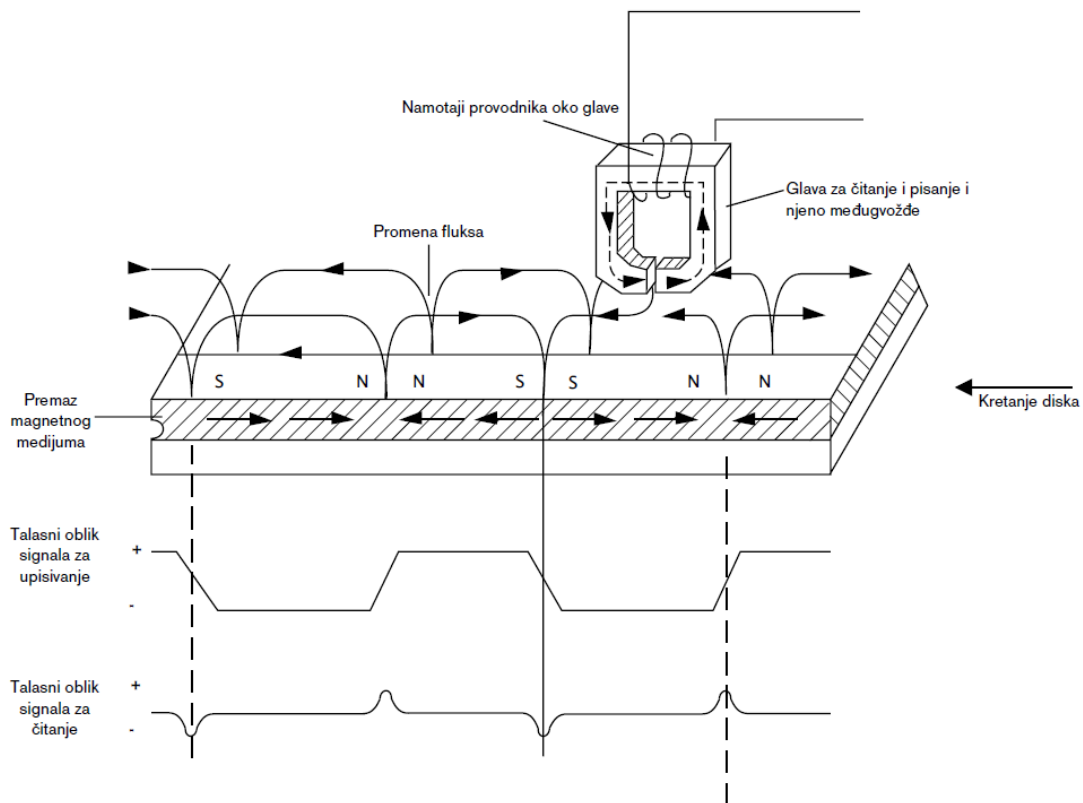
Promena fluksa je promena polariteta poravnatih magnetnih čestica na površini medijuma za skladištenje. Pri upisivanju podataka, glava uređaja proizvodi promene fluksa na medijumu. Za svaki upisani bit podataka uređaj na medijumu, u određenim (tranzicionim) ćelijama, stvara uzorak promene fluksa pozitivnog prema negativnom ili negativnog prema pozitivnom. *Tranziciona ćelija* ili *bit ćelija* jeste određeno područje medijuma - koje zavisi od vremena i brzine okretanja medijuma - u kojem glava proizvodi promene fluksa. Uzorak promene fluksa u tranzicionim ćelijama pomoću kojeg se upisuje bit (ili bitovi) naziva se *načinom kodiranja*.

Logički deo uređaja, kontroler, uzima podatke koje treba upisati i kodira ih u niz promena fluksa u jedinici vremena, prema obrascu načina za kodiranje.

Za vreme upisivanja, na glavu se dovodi napon, a prilikom promene polariteta napona menja se i polaritet magnetnog polja koje se upisuje. Promene fluksa upisuju se tačno na mesta gde se menja polaritet upisivanja.

Prilikom čitanja glava ne proizvodi isti signal kakav je bio kod upisivanja. Glava proizvodi impuls napona samo kada pređe preko promene fluksa. Kada se fluks menja iz pozitivnog u negativan, impuls napona koji glava proizvede je negativan. Kada se fluks menja iz negativnog u pozitivan, stvara se pozitivan impuls. Do ovoga dolazi zato što se struja stvara u provodniku samo kada on preseca linije magnetnog polja pod uglom. Kako se glava kreće

paralelno sa magnetnim poljima koje je na medijumu napravila, u njoj će se prilikom čitanja javiti napon jedino kada naiđe na promenu fluksa.



Uzorak za upisivanje je pravougaoni talas. Ako je napon pozitivan u glavi se stvara polje koje polarizuje medijum u jednom smeru. Kada napon postane negativan magnetno polje u medijumu takođe menja smer i magnetni fluks na disku menja polaritet.

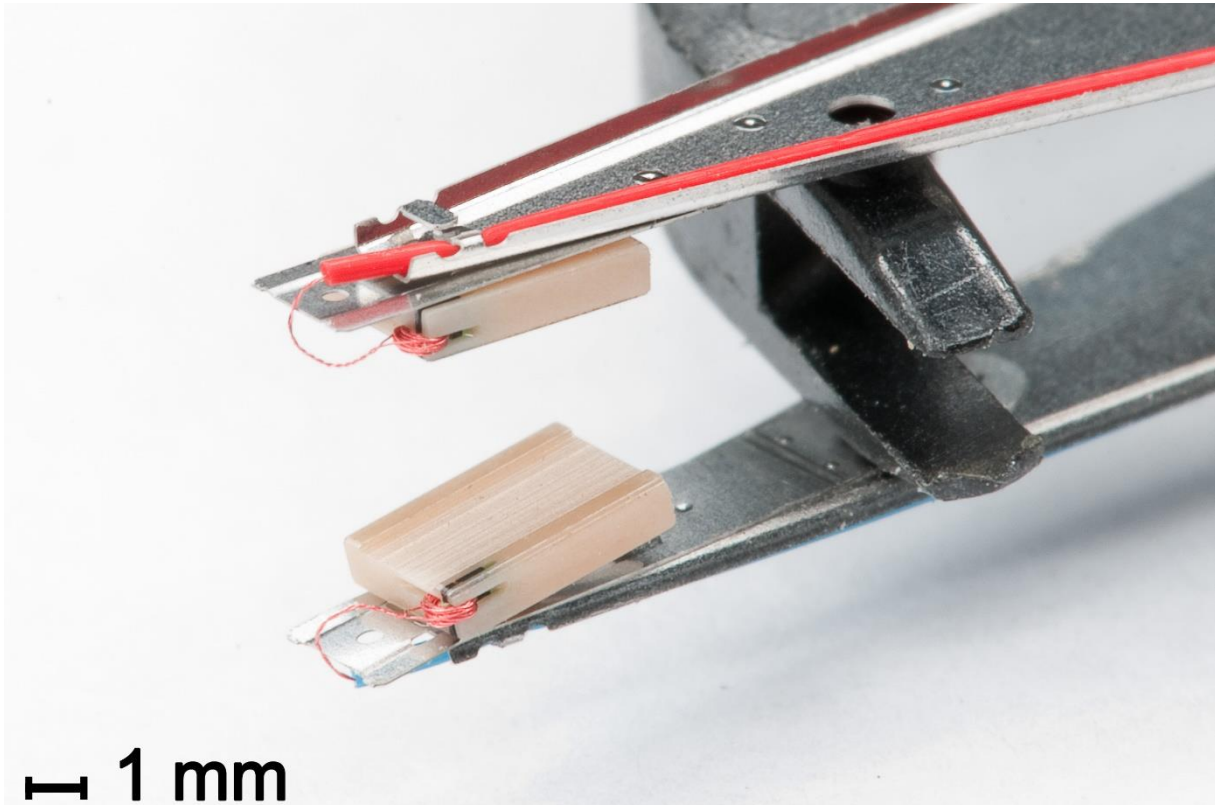
Signal prilikom čitanja iznosi nula volti dok glava ne otkrije pozitivnu ili negativnu promenu; tek tada ona proizvodi pozitivan ili negativan impuls. Impulsi se pojavljuju samo kada glava pređe preko promene fluksa na medijumu. Kontroler može, prema radnom taktu uređaja, utvrditi da li impuls (odnosno promena fluksa) pada u datu tranzicionu ćeliju.

Električni impulsi nastali u glavi koja prilikom čitanja prelazi preko medijuma za skladištenje veoma su slabi i mogu da sadrže znatan šum. Osetljiva elektronika u uređaju i kontroleru pojačava signal iznad nivoa šuma i dekodira niz slabih impulsa ponovo u binarne podatke (teorijski) identične prvobitno upisanim podacima.

Magnetnotoporne (MR) glave

Sve magnetne glave su detektori, tj. napravljene su da detektuju promene fluksa na medijumima i ponovo ih konvertuju u električni signal koji predstavlja podatke. Jedan od problema sa magnetnim zapisima je neprekidna želja za sve većom i većom gustinom da bi se sve više informacija (promena fluksa) smestilo na manjoj površini. Kako se magnetna polja smanjuju, prilikom čitanja do glava dolazi sve slabiji signal; sve je teže razlučiti pravi signal od šuma i zaostalih polja.

Odavno je otkriven još jedan uticaj magnetizma na provodnik. Kada se provodnik kreće kroz magnetno polje ne dolazi samo do stvaranja slabe električne struje nego i do promene otpora u provodniku. Standardne glave za čitanje koriste glavu kao generator na osnovu činjenice da će prelazak preko promene magnetnog fluksa u njima proizvesti impuls. Noviji tip glave razvijen u IBM-u zasniva se na činjenici da se u provodniku istom prilikom menja i otpor.



IBM je uveo prve MR glave 1991. godine u modelima od 3,5 inča kapaciteta 1 GB. Kod **magnetootpornih glava (MR)** se glava koristi kao otpornik. Kolo dovodi napon na glavu i čeka promenu napona zbog promene otpora glave prilikom prelaska preko promene fluksa na medijumu. Ovaj mehanizam proizvodi mnogo jači i jasniji signal sa medijuma i omogućava povećanje gustine. Za čitanje se koristi MR glava dok postoji i standardna glava koja podatke upisuje indukcijom što je efikasnije nego jedna glava koja izvršava obe funkcije. MR glavama se gustina povećava četiri puta u odnosu na ranije glave koje su koristile samo indukciju.

U potrazi za većom gustinom IBM je 1997. godine uveo novi tip MR glave. Takozvane **velike magnetootporne glave (GMR – Giant Magneto-Resistive)** su manje od standardnih MR glava ali se tako zovu zbog GMR efekta po kojem su dobile ime. GMR efekat je otkriven 1988. godine u uzorcima kristala izloženim veoma snažnim magnetnim poljima (1000 puta jačim od onih koja se koriste u HDD). Otkriveno je da se u materijalima koji se sastoje od naizmjeničnih veoma tankih slojeva metala javljaju veoma velike promene otpora.



U strukturi GMR materijala ključan je sloj nemagnetnog metala između dva magnetna metala. Magnetni materijali teže da se poravnaju u istom smeru promena smera u jednom magnetnom sloju dovešće do istog poravnanja u sledećem sloju. Kada slabo magnetno polje, prođe pored GMR glave, magnetno usmerenje jednog od slojeva rotira u odnosu na smer u drugom sloju, što zbog GMR efekta dovodi do značajne promene električnog otpora.

Šeme kodiranja podataka

Da bi se optimizovalo smeštanje promene fluksa tokom skladištenja na magnetni medijum, uređaj prosleđuje ulazne digitalne podatke elektronskom sklopu koji se zove koder/dekoder i služi da te podatke pretvori u talasni oblik pogodniji za smeštanje promena fluksa (impulsa). Prilikom čitanja, koder/dekoder sprovodi obrnuti postupak i dekodira impulse ponovo u binarne podatke. Tokom godina je za kodiranje podataka razvijeno nekoliko različitih šema, od kojih su neke bolje i efikasnije od drugih.

Bitan činilac od kojeg zavisi pouzdanost diska je **usaglašavanje vremena**. Inženjeri i projektanti su pronašli šemu u kojoj se bitovi podataka ne dekodiraju samo po prisustvu ili odsustvu promena fluksa, već i po vremenu između njih. Tranziciona ćelija definiše se vremenski, to je vremenski prozor u kojem uređaj piše ili čita promenu.

Da bi se obezbedilo tačno usaglašavanje vremena uređaji za slanje i primanje moraju da budu sinhronizovani. Sinhronizacija se često postiže tako što se u prenos između dva uređaja dodaje odvojeni signal za usaglašavanje vremena koji se zove **radni takt**. Radni takt može da se spoji sa signalima podataka, pa se oni šalju kao zajednički signal.

Svaka bit ćelija okružena je dvema ćelijama koje sadrže promene vremena. Nažalost, tranzicione ćelije koje se koriste samo za usaglašavanje vremena, na medijumu zauzimaju prostor gde bi inače mogli da stoje podaci. Kako je broj promena fluksa koje uređaj može da upiše na medijum ograničen fizičkom prirodom medijuma i tehnologijom glave, inženjeri su razvili razne načine da se podaci kodiraju sa što manje promena fluksa.

Dana se najviše koriste sledeće tri vrste šema za kodiranje podataka:

1. modulacija frekvencije (FM)
2. izmenjena modulacija frekvencije (MFM)
3. ograničena radna dužina (RLL) (Run Length Limited)

FM kodiranje

Ova šema je jedna od najstarijih i ponekad se naziva jednostruka gustina (engl. *single density*), koristila se na prvim računarskim disketama. Na te diskete se moglo upisati oko 80 K podataka. Iako je sistem bio popularan sve do kraja sedamdesetih, FM se više ne koristi.

MFM kodiranje

Ovo je kodiranje izmišljeno da bi se smanjio broj promena fluksa prvobitne FM šeme, odnosno da bi na disk moglo da stane više podataka. MFM koristi najmanju količinu tranzicionih ćelija za usaglašavanje vremena kako bi ostalo više mesta za podatke. U svim ostalim slučajevima to nije potrebno. MFM je u stanju da, u odnosu na FM, udvostruči frekvenciju i tako uskladišti dvostruko više bitova podataka sa istim brojem promena fluksa što čini i dva puta brži radni takt. Ovo kodiranje je nazvano dvostrukom gustinom zapisivanja (engl. *Double Density recording*). MFM se koristi skoro na svim disketama i godinama se koristilo na gotovo svim diskovima za PC-je.

Vrednost podatka (bit)	Kodiranje fluksa
1	NT
0 (ispred koje se nalazi 0)	TN
0 (ispred koje se nalazi 1)	NN

T = promena fluksa

N = bez promene fluksa

RLL kodiranje

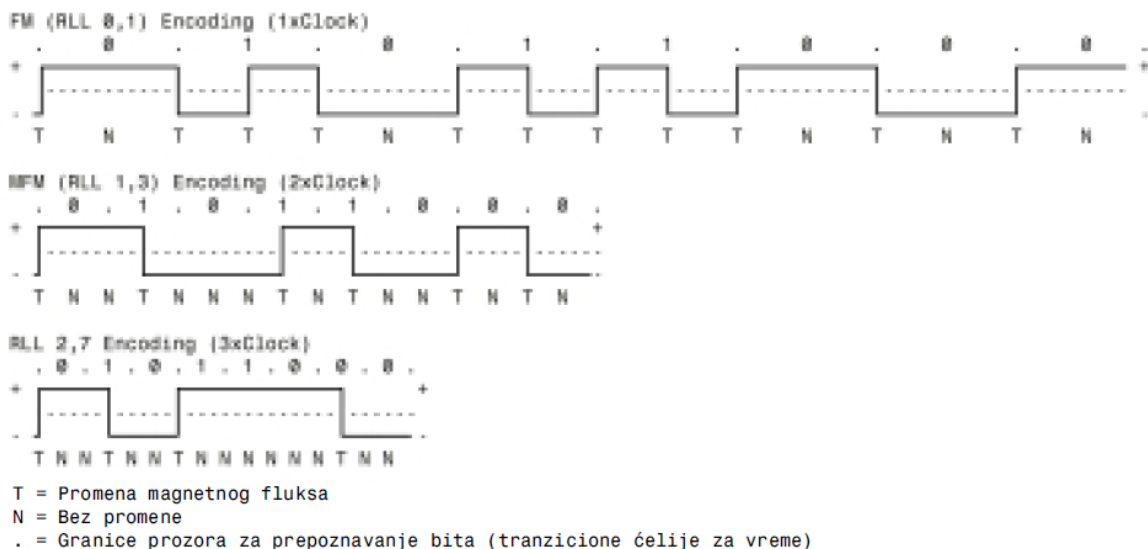
Danas je RLL (*Run Length Limited*) najpopularnija šema kodiranja za diskove; njome se na isti disk može upisati do 50% više podataka nego MFM, i tri puta više nego FM. Pri RLL kodiranju uređaj spaja grupe bitova i proizvodi određene uzorke promena magnetnog fluksa. Radni takt se dodatno ubrzava spajanjem signala podataka i vremenskih signala, dok se na medijumu zadržava isti osnovni razmak između promena fluksa. RLL obično istovremeno kodira grupu bitova, a ne pojedinačni bit. Najviše se koriste dve RLL šeme: RLL 2,7 i RLL 1,7.

I FM i MFM kodiranje mogu da se izraze u RLL obliku. FM kodiranje moglo bi se nazvati RLL 0,1 zato što između dve promene fluksa može biti najmanje nijedna, a najviše jedna tranziciona ćelija. MFM kodiranje moglo bi se nazvati RLL 1,3 zato što može da postoji najmanje jedna, a najviše tri tranzicione ćelije između dve promene fluksa.

RLL 2,7 u početku je bio najpopularniji oblik RLL-a, međutim kod diskova velikog kapaciteta RLL 2,7 nije se pokazao dovoljno pouzdanim. Većina sadašnjih diskova velikog kapaciteta koristi kodiranje RLL 1,7 čija je gustina zapisa 1,27 puta veća od MFM uz relativno veći prozor. Zbog relativno većeg prozora u kojem se bit može prepoznati, RLL 1,7 je elastičniji i pouzdaniji, što je važno kada se tehnologije medijuma i glave koriste do krajnje granice.

Vrednosti bitova	Kodiranje fluksa
10	NTNN
11	TNNN
000	NNNTNN
010	TNNTNN
011	NNTNNN
0010	NNTNNTNN
0011	NNNNTNNN

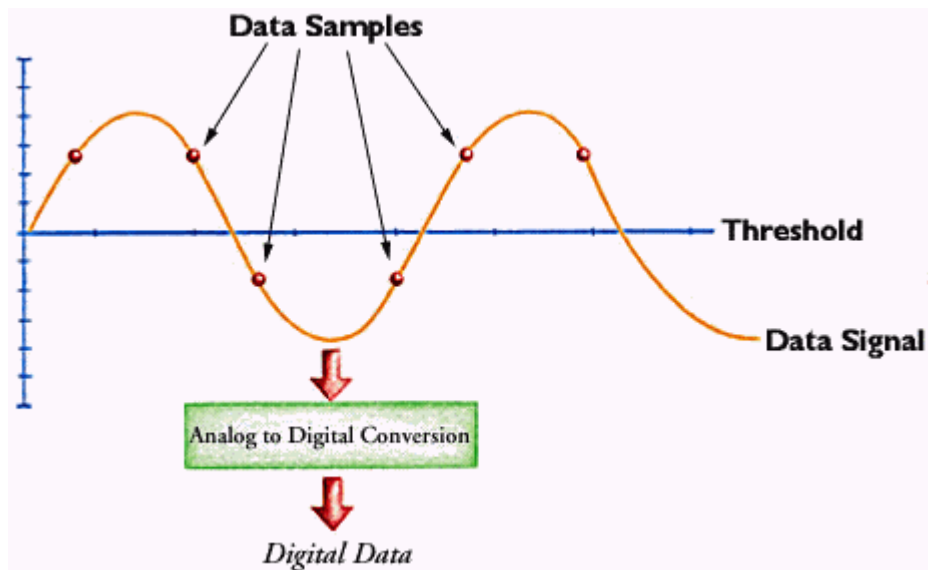
T = promena fluksa
N = bez promene fluksa



Na slici 9.5 dati su primeri talasa za upisivanje ASCII znaka X na disk pomoću tri različite šeme kodiranja. U svakom od ova tri primera prvi red prikazuje pojedinačne bitove podataka (01011000b) u svojim ćelijama, razdvojene u vremenu pomoću radnog takta, koji je prikazan kao tačka (.). Ispod tog reda je prikaz talasnog oblika signala za upisivanje, na kome se vide pozitivni i negativni napon, kao i promene napona u glavi koje dovode do upisivanja promena fluksa. U poslednjem redu prikazane su tranzicione ćelije; T označava tranzicionu ćeliju sa promenom fluksa, a N označava praznu tranzicionu ćeliju.

PRML dekoderi

Još jedna novina kod diskova odnosi se na kola za čitanje. Tehnologija PRML (*Partial-Response, Maximum-Likelihood* - delimičan-odziv, najveća-verovatnoća) omogućava da se količina podataka na disku poveća za dodatnih 40%.



Kako je gustina podataka na diskovima sve veća, uređaj mora na medijum da upisuje promene fluksa na sve manjim razmacima. Zbog toga je očitavanje sve teže, jer magnetni impulsi mogu početi da se mešaju. PRML menja način očitavanja podataka sa diska. Analogni tok podataka koji prima sa glave kontroler ispituje pomoću digitalnih algoritama za uzimanje uzoraka, obradu i prepoznavanje (to je *delimični odziv*), a predviđa redosled bitova koje tok najverovatnije predstavlja (*najveća verovatnoća*). PRML tehnologijom se od analognog talasa punog šuma i zalutalih signala može dobiti precizno očitavanje.