

# EEPROM, flash paměti, SSD disky, magnetická záznamová média, magnetické hlavy, princip zápisu a čtení

## EEPROM

Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – elektricky mazatelná programovatelná ROM paměť. Jedná se o nonvolatilní paměť s typickou životností ~200 000 zápisů nebo 20 let (obojí je vyšší než u flash paměti). Doba výmazu paměťové buňky nebo bloku buněk se pohybuje v řádu milisekund. Hlavní nevýhodou je vyšší složitost paměťové buňky a s tím související nižší hustota a vyšší cena.

Využití této paměti je jako úložiště (např. nastavení hlasitosti u TV) obecně dat, která se mění častěji, než je životnost paměti flash.

Při výrobě paměti EEPROM se používá speciálních tranzistorů vyrobených technologií MNOS (Metal Nitrid Oxide Semiconductor). Jedná se o tranzistory, na jejichž řídicí elektrodě je nanášena vrstva nitridu křemíku ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) a pod ní je umístěna tenká vrstva oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ).

Vlastní buňka paměti EEPROM pak pracuje na principu tunelování (vkládání) elektrického náboje na přechod těchto dvou vrstev. Při zápisu dat se přivede na příslušný adresový vodič záporné napětí  $-U$  a datový vodič buněk, do nichž se má zaznamenat hodnota 1, se uzemní. Tranzistor se otevře a vznikne v něm náboj, který vytvoří velké prahové napětí<sup>1</sup>. Při čtení se přivede na adresový vodič záporný impuls. Tranzistor s malým prahovým napětím se otevře a vede elektrický proud do datového vodiče, zatímco tranzistor s velkým prahovým napětím zůstane uzavřen.

Vymazání paměti se provádí kladným napětím  $+U$ , které se přivede na adresové vodiče. Tunelovaný náboj se tím zmenší a prahové napětí poklesne, čímž je paměť vymazána.

## Flash paměti

Flash paměti fungují na principu EEPROM (jsou podmnožinou EEPROM). Byla navržena (na rozdíl od EEPROM) pro vysokou rychlost a pro větší množství zápisů. Dalším rozdílem je, že se zapisuje vždy po blocích buněk. Jde o nejrychlejší typ paměti oproti ostatním typům ROM pamětí, dá se s ní pracovat jako s RAM (s tím rozdílem a výhodou, že po odpojení se informace nevymaže), mazání se provádí elektrickou cestou. Programování a mazání flash paměti je možné přímo v PC. Jsou schopny odolat velkým otřesům bez ztráty dat, jsou malé, a tedy v hodné do různých druhů přenosné elektroniky, mají extrémně krátkou vybavovací dobu, avšak jejich životnost je omezena na ~100 000 cyklů výmaz/zápis. Využití nalézají zejména ve flash discích, paměťových kartách a SSD discích.

---

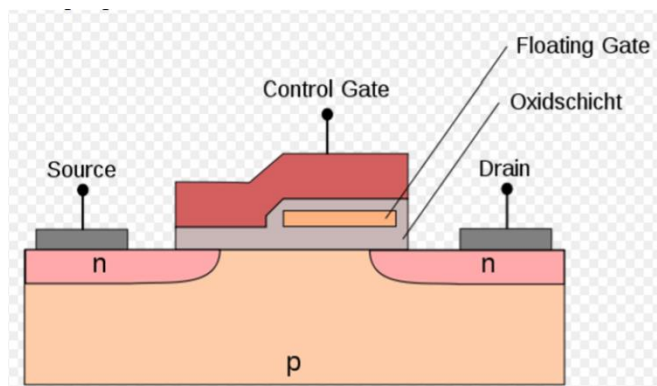
<sup>1</sup> prahové napětí – napětí UGS takové hodnoty, při které se vytvoří vodivý kanál (U = napětí; G = gate/hradlo; S = emitor)

## Princip zápisu a čtení flash paměti

Data jsou ukládána v poli unipolárních tranzistorů s plovoucími hradly zvaných *buňky*. Každá z buněk obvykle uchovává 1 bit informace. Jedno hradlo je ovládací (CG – Control Gate), druhé je plovoucí (FG – Float Gate), izolované od okolí vrstvou oxidu.

Protože je FG izolované, všechny elektrony na něj přivedené jsou zde „uvězněny“. Tím je v paměti informace uložena. Když jsou na FG elektrony, modifikují (částečně ruší) elektrické pole přicházející z CG, což modifikuje prahové napětí ( $U_t$ ) buňky. Buňka je čtená umístěním určitého elektrického napětí na CG – elektrický proud tranzistorem pak buď teče nebo neteče – v závislosti na  $U_t$  buňky, které je závislé na počtu elektronů na FG. Tato přítomnost nebo nepřítomnost el. proudu je přeložena na 0 nebo 1 představující uložená data.

Buňka flash paměti je naprogramovaná (nastavená na specifickou hodnotu) spuštěním toku elektronů ze zdroje do odvodu. Přivedení velkého napětí na CG pak poskytne dostatečně silné elektrické pole pro jejich vysátí na FG. Pro vymazání flash buňky je velký napěťový rozdíl přiveden mezi CG a zdroj, což odvede elektrony pryč kvantovým tunelem. Současné flash paměti jsou rozděleny do vymazatelných částí nazývaných buď bloky nebo sektory. Všechny paměťové buňky v rámci jednoho bloku musí být vymazány současně.



## SSD disky

Velkokapacitní disky/média postavená na principu vysokorychlostních polovodičových pamětí typu flash ROM. Nabízí vysokou rychlost čtení i zápisu, nulovou hlučnost (neobsahují žádné pohyblivé součásti), malou hmotnost, nízkou spotřebu energie, nízké ztrátové teplo a vysokou odolnost proti mechanickému poškození. Používají stejný řadič jako magnetické harddisky (tedy SATA).

Nevýhodou je vyšší cena oproti magnetickým harddiskům, teoretická životnost paměťové buňky  $\sim 100\,000\times$  přepis informace) a fakt, že po čase dochází k degradaci výkonu<sup>2</sup> dle počtu použitých buněk.

## Magnetická záznamová média (harddisky)

Velkokapacitní paměti (dnes v řádech jednotek TB). Data jsou uložena na plotnách (kotoučích) (kovových/skleněných), které jsou pokryty magnetickou vrstvou. Celý disk je hermeticky uzavřen (kvůli prachu a nečistotám), magnetický záznam je na obou stranách plotny, jejíž průměr se udává

---

<sup>2</sup> důvodem této degradace je to, že OS smazané bloky pouze označuje jako „volné“ v seznamu souborového systému, řadič SSD však očekává, že do prázdných bloků budou vepsány log. 0; SSD tedy jednoznačně neví, které bloky jsou skutečně volné a při následném zápisu musí každou buňku nejprve přečíst a modifikovat (nastavit na log. 0), aby ji mohl přepsat; problém řeší příkaz TRIM, který dokáže řadiči přímo předat informaci o volných buňkách – docílí se tak vyšší rychlosti SSD a prodloužení jeho životnosti

v palcích (3,5" nebo 2,5"). Běžné rychlosti otáček se pohybují od 5 600 do 15 000 rpm. Při růstu otáček roste teplota, a tedy i spotřeba. Pohon musí zajišťovat nemagnetická látka.

HDD má své registry i cache (sloužící k urychlení paměti) a řadič (řídí čtení a zápis na disk – dělí si plochu na číslované stopy a sektory).

Rozhraní HDD: ATA (PATA), SATA, FireWire, SCSI, USB.

## Struktura disku

**Stopa (track)** – oblast ukládání dat, tvar soustředné kružnice, každá stopa je rozdělena na sektory, nultá stopa je na vnějším okraji plotny; jsou nad sebou ve stejné vzdálenosti od středu plotny a vytváří pomyslný válec

**Sektor** – jejich velikost je různá (standardně 512 B), je to nejmenší adresovatelná jednotka na disku, sektory jsou číslované od 1

**Cylindr** – sada stop se stejným číslem na různých plotnách

**Cluster** – alokační jednotka vytvořená operačním systémem, nejmenší množství použitelných dat, které je pohromadě, snížená režie při adresaci, velikost určuje OS, cluster může obsahovat určitý počet sektorů (2, 4, 32, ...), **vždycky obsahuje data jen z jednoho souboru**; např. velikost clusteru je 4 kB, velikost souboru 3 kB, 1 kB je nevyužitý.

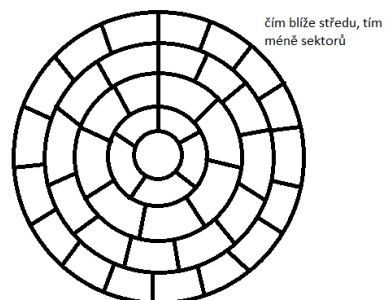
## Prokládání

Zavedeno kvůli vysokým otáčkám. Sektory patřící jednomu alokačnímu bloku nemusí být přesně vedle sebe – jsou proházené (např. ob 1 sektor, ob 3, ob 6, ...), což poskytuje elektronice disku čas na zpracování přečteného sektoru. Pro čtení následujícího sektoru není třeba čekat celou další otáčku plotny. Prokládání sektorů není však možné zaměňovat s fragmentací.

Data jsou na disk zapisována vždy do každého  $n$ tého sektoru (faktor prokládání 1:n). Číslo  $n$  je voleno tak, aby po přečtení a zpracování dat z jednoho sektoru byla magnetická hlava nad dalším požadovaným sektorem.

## ZBR (zone bit recording)

Zvyšuje kapacitu disku. Vnější stopy jsou delší = obsahují více sektorů, zatímco vnitřní stopy jsou kratší a mají tak méně sektorů. ZBR bylo zavedeno právě pro zvýšení kapacity.



## S.M.A.R.T. disky

Self Monitoring Analysis and Reporting Technology. Určeno k monitorování a hlášení chyb pevného disku. Jestliže je detekována chyba, je podána zpráva OS (který musí technologii podporovat). Technologie dokáže předvídat selhání HDD. Dnes se do disku běžně zařazuje.

**Nepředvídatelné poruchy** – disk se poškodí bez předchozího varování (náhlé přepětí; poškození mechaniky – špatné zacházení; poškození částí disku teplem nebo silným magnetickým polem, ...)

**Předvídatelné poruchy** – poškození povrchu (vzrůstá počet vadných přemapovaných sektorů při čtení a při zápisu); poškození hlavy – opakované pokusy pro čtení; motoru – zvyšují se vibrace, zvyšuje se hluk, delší doba na roztočení disku; *háživost*; poškození vystavovacího mechanismu, ...

## Cache disky

Dnes se již jiné než cacheované disky nevyrábějí. Dochází k vyrovnávání rychlosti dat – cache vyrovná rychlost mezi dvěma subsystemy s různou rychlostí – tím se vyrovnává rychlost přístupu k informacím. Zaručují konstantní rychlost přenosu mezi diskem a operační pamětí a mezi diskem a DMA. Data lze přenášet i za pohybu hlav. Cache je paměť typu SRAM. Když se opakovaně čtou stejná data, nemusejí se znovu vyhledávat na disku.

## Magnetické hlavy a princip zápisu

Jsou dva druhy magnetických hlav, které se používají podle způsobu zapisování dat na disk. K uložení informace na HDD je zapotřebí interpretovat log. 1 a 0 pomocí magnetismu, k čemuž se využívá orientace vektoru magnetické indukce.

### Podélný zápis (Longitudinal Magnetic Recording – LMR)

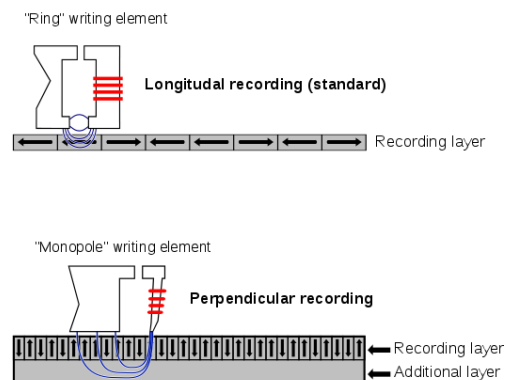
Jednotlivé bity, interpretované jako malá opačně orientovaná magnetická pole, jsou uchovávány vodorovně s plotnou disku. Tímto způsobem lze však dosáhnout hustoty zápisu jen kolem 150 Gb/čtverečný palec. Při vyšších hustotách dochází vlivem paramagnetismu k samovolné ztrátě uložených dat. Při takto vysokém počtu jednotlivých magnetických polí, bitů, u sebe se již nedaří udržet jednotlivá pole izolovaná. Ta pak vzájemně interagují a dochází ke ztrátě uložené informace.

### Kolmý zápis (Perpendicular Magnetic Recording – PMR)

Vektory magnetické indukce jednotlivých bitů zde nejsou orientovány podélně s plotnou, nýbrž kolmo na ni. Tím je možné zvýšit kapacitu pevných disků až desetinásobně a přiblížit se hranici hustoty 1 Tb/čtverečný palec.

S novou technologií však přichází i negativa, a to v technologické náročnosti řešení. Pro potřeby kolmého zápisu bylo nutné vyvinout novou magnetickou hlavu pro zápis a přidat pod datovou vrstvu ještě vrstvu z magneticky měkkého materiálu<sup>3</sup>. Obě tyto novinky pomáhají optimalizovat magnetické pole indukované hlavou disku a tím umožnit přesnější zaostření a následný zápis na konkrétní místo disku.

Dnes se již používá výhradně kolmý způsob zápisu.



## Princip čtení

Čtení z HDD je založeno na principu elektromagnetické indukce. Na vývodech cívky, která se nachází v magnetickém poli, lze naměřit napětí vždy ve chvíli, kdy se toto pole mění. Tzn. při přechodu z 0 na 1 a z 1 na 0 se indukuje v cívce napětí. Z tohoto napětí se získává (odvozuje) zapsaná informace.

<sup>3</sup> **magneticky měkká látka** je látka, která po vyjmutí z mag. pole své magnetické vlastnosti ztrácí; **magneticky tvrdá látka** si své magnetické vlastnosti naopak uchovává

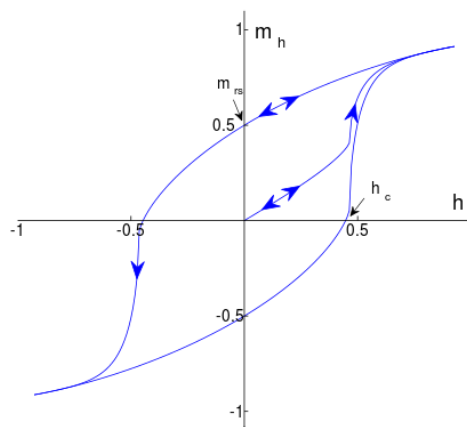
Čtení i zápis mechanicky probíhá ve třech krocích:

1. vystavení zapisovacích/čtecích hlav na příslušný cylindr pomocí elektromagnetu (dříve pomocí krokového motoru)
2. pootočení disku na patřičný sektor
3. zápis/načtení dat

Data jsou na pevný disk ukládána tak, že nejdříve je zaplněn celý 1. cylindr, potom 2. cylindr a tak dále až po poslední cylindr. Tento způsob dovoluje, aby se čtecí (zapisovací) hlavy podílely na čtení (zápisu) paralelně. Ukládání dat po jednotlivých discích by bylo podstatně pomalejší, protože v daném okamžiku by vždy mohla pracovat právě jedna hlava.

## Hysterezní smyčka

Uzavřená křivka magnetování vyjadřující závislost magnetizace  $M$  na intenzitě magnetického pole  $H$  při pomalé, plynulé změně intenzity magnetického pole od  $+H_s$  do  $-H_s$ . Matematicky lze zmíněný vztah mezi dvěma veličinami vyjádřit:  $M = f(H)$ . Jinými slovy jde o graf podávající informaci o tom, jaký vliv má působení vnějšího magnetického pole na magnetické schopnosti materiálu, který se v tomto poli nachází.



Používá se mimo jiné také k určení hysterezních ztrát v magnetickém obvodu. Integrací lze vypočítat plochu uzavřenou ve smyčce, která je těmito ztrátám úměrná. Hysterezní ztráty vznikají při přemagnetování materiálu střídavým magnetickým polem. Při každém materiálu je odlišná.

### Popis grafu

Z grafu hysterezní smyčky odečítáme určité charakteristické hodnoty, které podávají klíčové informace o možnostech zkoumaného materiálu. Jsou to maximální hodnoty a hodnoty, kde smyčka protíná osu  $x$  a  $y$ :

- $H_s$  – intenzita nasycení; pokud zvýšíme intenzitu magnetického pole nad tuto hodnotu, magnetizace se již nezvýší, dochází k nasycení materiálu a graf by od této chvíle pokračoval jako přímka rovnoběžná s osou  $x$
- $M_m$  – maximální magnetizace při nasycení (není zakreslena)
- $M_r$  – remanentní (zbytková) magnetizace, která v materiálu zůstává i po snížení intenzity magnetického pole na nulu (po tom, co materiál přestaneme magnetovat)
- $H_c$  – koercitivní síla; je to síla potřebná k odmagnetování materiálu (zrušení  $Br$ ); čím je koercitivita větší, tím je materiál tzv. magneticky tvrdší; hraniční hodnotou mezi magneticky měkkým a tvrdým materiálem je  $1 \text{ kA/m}$

### Hysterezní ztráty

Energie dodána feromagnetickým látkám na magnetování se mění v teplo = ztráty. Celkové ztráty např. v železe jsou dány součtem ztrát hysterezních a ztrát vířivými proudy.