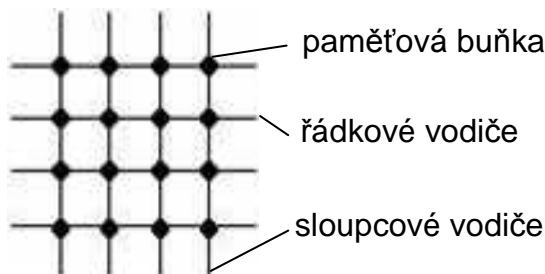


POLOVODIČOVÉ PAMĚTI

Polovodičové paměti se skládají z tzv. *paměťových buněk*. Paměťová buňka je realizována pomocí integrované součástky nebo obvodu, umožňující trvale nebo dočasně vyvolat dva stavy (reprezentace log. 0 a log. 1). Každá základní paměťová buňka má kapacitu *1 bit*. Podle toho, čím je paměťová buňka tvořena se mění vlastnosti polovodičové paměti.



Paměťové buňky jsou na polovodičovém čipu uspořádány *maticově* (tvoří jakousi mřížku).

Poloha (umístění) každé paměťové buňky je určena řádkovým a sloupcovým vodičem. O nalezení (adresování) příslušné buňky v paměti se stará *paměťový řadič*, jehož úkolem je také řídit proces čtení a zápisu dat.

Polovodičové paměti lze rozdělit z hlediska čtení/zápisu na:

1. **RWM** (Read / Write Memory) – umožňují libovolné čtení i zápis dat. Jedná se o paměti energeticky závislé. Paměti s přímým přístupem (maticové uspořádání buněk) se označují jako paměti **RAM** (Random Access Memory).
2. **ROM** (Read Only Memory) – jsou určeny především pro čtení zapsané informace. Jedná se o paměti energeticky nezávislé.

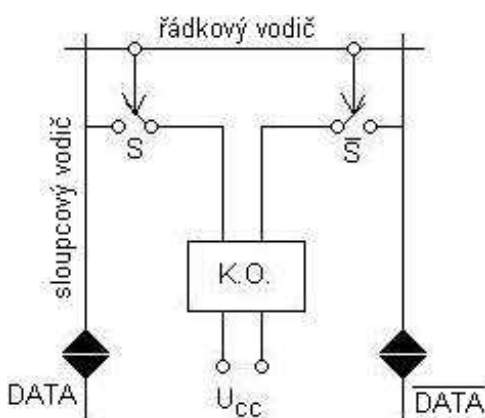
1. Polovodičové paměti RAM

Paměti typu RAM lze rozdělit podle obvodu, který tvoří paměťovou buňku (reprezentace logických hodnot 0 a 1):

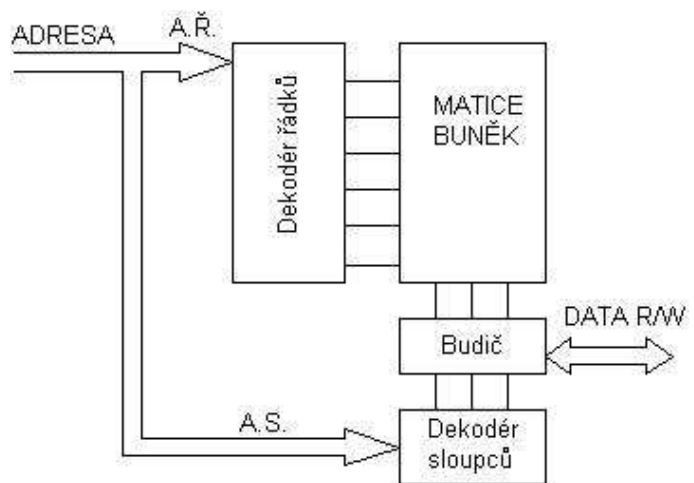
1.1 Statická paměť RAM (SRAM)

SRAM = Static Random Access Memory

Paměťová buňka je tvořena *bistabilním klopným obvodem (BKO)*. Stav klopného obvodu reprezentuje logickou hodnotu 0 nebo 1.



Paměťová buňka SRAM



Adresace paměťové buňky

Po výběru příslušné paměťové buňky (dekódováním adresy) se řádkovým vodičem sepnou spínače, čímž dojde k připojení paměťové buňky na datové (sloupcové) vodiče. V této chvíli můžeme z buňky číst nebo do ní zapisovat (resp. změnit stav BKO). Při čtení se zkoumá jak skutečná, tak inverzní hodnota (slouží ke kontrole správnosti čtení).

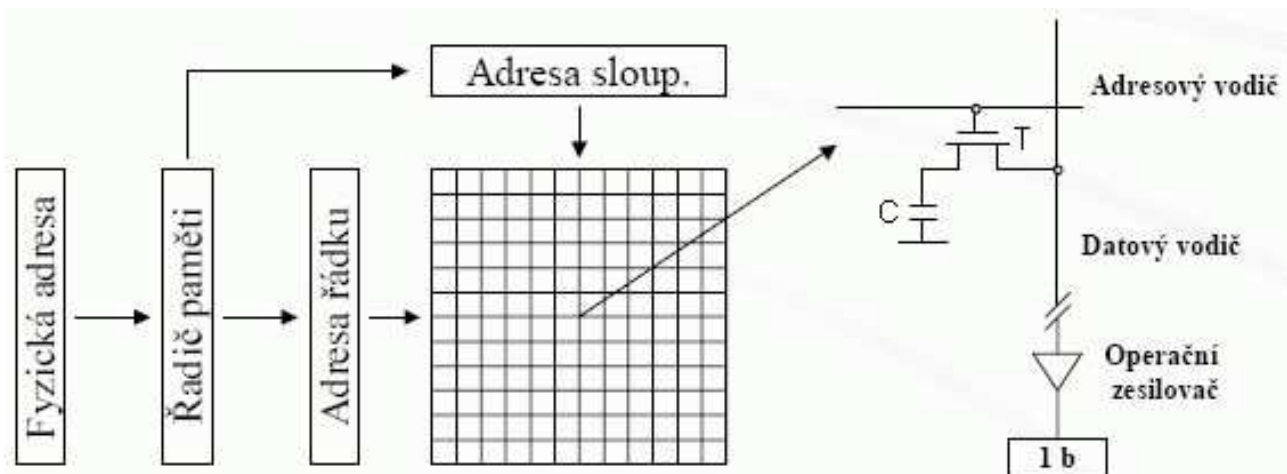
Jedna paměťová buňka obsahuje minimálně 4 tranzistory (2 tvoří samotný BKO, zbývající řídí proces čtení/zápis).

Tato buňka je velice rychlá, vyžaduje menší proud než paměť dynamická, avšak fyzicky zabírá na polovodičovém čipu paměti poměrně velký prostor. Jedná se tedy o paměti malé kapacity.

Využití: registry, vyrovnávací paměť CACHE.

1.2 Dynamická paměť RAM (DRAM)

DRAM = Dynamic Random Access Memory



Paměťová buňka je tvořena kondenzátorem (ve skutečnosti se využívá kapacity PN přechodu) a tranzistorem typu MOSFET, kterým se řídí nabíjení a vybíjení paměťového kondenzátoru. Mezi jeho vývody lze naměřit napětí, které je úměrné velikosti náboje. Logické hodnoty 0 a 1 odpovídají vybitému a nabitému kondenzátoru.

DRAM refresh

Protože je kapacita paměťové buňky reálná (má svůj svod vlivem konečného odporu nevodivé vrstvy kondenzátoru) a velmi malá, dochází k rychlému samovolnému vybíjení (ztrátě informace). Aby ke ztrátě informace nedošlo, provádí se periodická obnova dat, tzv. refresh. Refresh (obnovování informace) se provádí po celých řádcích. V okamžiku obnovování informace nelze provádět operace čtení/zápis.

Destruktivní paměť při čtení

Při čtení je na adresový vodič přivedena hodnota log. 1, která způsobí otevření tranzistoru. Pokud byl kondenzátor nabitý, zapsaná hodnota přejde na datový vodič. Tímto čtením však dojde k vybití kondenzátoru a tedy ztrátě uložené informace. Přečtenou hodnotu je nutné opět do paměti zapsat.

Z důvodu periodické obnovy informace a obnovy informace po jejím přečtení jsou paměti DRAM pomalejší při čtení/zápisu než paměti SRAM. Výhodou je menší velikost paměťové buňky na polovodičovém čipu – dosahují tedy větších kapacit než paměti SRAM.

Využití: operační paměť, videopaměť grafické karty

1.2.1 Typy pamětí DRAM

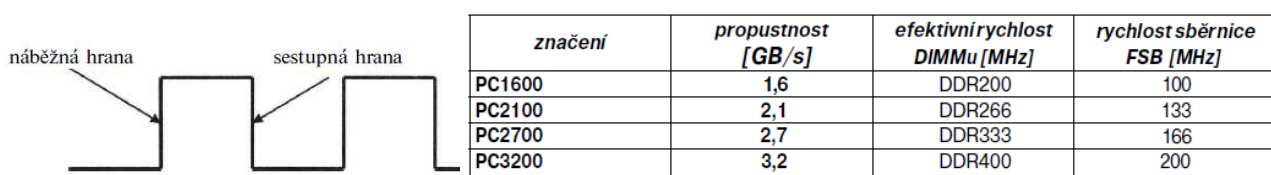
Synchronous Dynamic RAM (SDRAM)

Jedná se o tzv. synchronní paměť – tato paměť pracuje na stejném taktovacím kmitočtu paměťové sběrnice na základní desce (propojení mezi pamětí a paměťovým řadičem umístěným v severním mostu čipové sady). Během jednoho hodinového impulsu provede 1 operaci přenosu dat.

Paměti SDRAM jsou schopny pracovat s kmitočtem 66, 100, 133 MHz (PC66, PC100, PC133). Datová propustnost byla 533 až 1066 MB/s, napájecí napětí 3,3 V, kapacita do 512 MB.

DDR (Double Data Rate)

DDR paměť přenáší data jak během náběžné, tak sestupné hrany hodinového impulsu. (během jednoho impulsu se tedy provedou 2 operace). Pracovní kmitočet 200 – 400 MHz (DDR200 - DDR400), propustnost 1,6 - 3,2 GB/s, napájecí napětí 2,5V. Kapacita jednoho paměťového modulu se pohybuje od 64 MB až 2 GB.



DDR2

Tyto paměti pracují stejně jako DDR. Rozdíl je v použití nižšího napájecího napětí (1,8 V). Díky nižšímu napětí je spotřeba pamětí DDR2 nižší a je možné je taktovat na vyšší pracovní frekvence. DDR2 však neznamená, že jsou tyto paměti 2x rychlejší než DDR. Kapacita jednoho paměťového modulu se pohybuje od 256 MB až 4 GB.

značení modulu	typ paměti	propustnost
PC2-3200	DDR II-400MHz	3,2-GB/s
PC2-4300	DDR II-533MHz	4,3-GB/s
PC2-5400	DDR II-667MHz	5,4-GB/s
PC2-6400	DDR II-800MHz	6,4-GB/s

Frekvence uvedené v tabulce jsou efektivní, jedná se o čtyřnásobek základní frekvence paměti (technologie QPB).

Příklad: Paměť DDR2-800, pracuje vnitřně na frekvenci 200 MHz, díky technologii QPB je její efektivní kmitočet 4x vyšší, tedy 800 MHz.

DDR3

Využívá napájecí napětí 1,5 V (nižší spotřeba modulů + nižší vyzářené teplo). Pracovní kmitočet pamětí se pohybuje v rozmezí 800 – 1600 MHz. Datová propustnost až 12,8 GB/s. Kapacita jednoho paměťového modulu se pohybuje od 512 MB až 8 GB.

GDDR

DDR technologie se využívá také u pamětí, kterými jsou osazeny grafické karty. Tyto paměti se označují *GDDR* (GDDR3, GDDR4 a GDDR5) a slouží k uložení obrazových dat, které právě zpracovává grafický procesor (GPU) grafické karty. Jednotlivé varianty se liší především počtem bitů, přenesených za 1 hodinový takt (např. GDDR5 přenáší až 4 bity na pin za 1 hodinový takt).

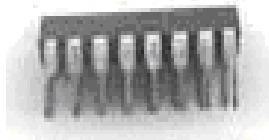
RDRAM (Rambus DRAM)

Paměti vyvinuté firmou Rambus a Intel, určené pro procesory Pentium 4 s podporou technologie QPB. Data se přenášela 2x za hodinový cyklus podobně jako paměti DDR. Velká datová propustnost byla dosažena velkým taktovacím kmitočtem paměti. Vysoká cena modulů (RIMM modul), nutnost osadit 2 nebo 4 moduly a nepoužité banky osadit tzv terminátorem (CRIMM modul) způsobilo, že se tyto paměti na trhu neprosadili.

1.2.2 Provedení paměťových modulů

Polovodičové paměti typu DRAM se využívají především pro konstrukci operační paměti. Zde jsou uloženy programy a data, která momentálně zpracovává procesor počítače. Paměťové čipy jsou v současnosti umístěny na tzv. *paměťovém modulu*, který se zasunuje do patice (paměťové banky) na základní desce počítače.

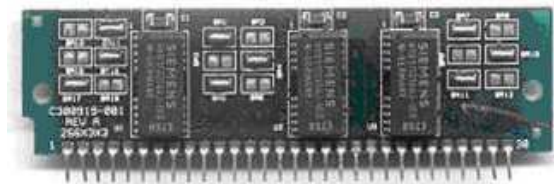
Pouzdro DIP



V minulosti byla operační paměť v provedení klasického integrovaného obvodu – pouzdro DIP (Dual In-line Package). Tento obvod byl napevno zapájen do základní desky počítače. DIP měl běžně 16 nebo 18 pinů. Operační paměť měla pevnou kapacitu. Požívaly se u počítačů PC/XT (procesor 8086) a PC/AT (procesor 80286).

Paměťový modul SIPP

SIPP neboli Single In-line Pin Package. Tento typ paměti byl používán u některých počítačů řady 286 a 386. Paměťový modul neměl klasické kontakty (vodivé plošky), ale piny, díky kterým byl poměrně náchylný k mechanickému poškození. Těchto pinů bylo 30. Později byl nahrazen "krátkými" SIMM moduly, od kterých se, kromě provedení kontaktů, nijak nelišil.



Paměťový modul SIMM

SIMM (Single In-line Memory Module) označuje moduly, respektive typ kontaktů modulu (vodivé plošky). Obě strany modulů jsou stejné. Výhodou byla snadnější instalace oproti SIPP modulům a menší mechanická zranitelnost. SIMM moduly můžeme rozdělit na tzv. „krátké“ a „dlouhé“:

- SIMM 30 pinů – stejné jako moduly SIPP, pouze místo pinů měl kontaktní plošky. Šířka datové sběrnice byla 8 bitů.
- SIMM 72 pinů – šířka datové sběrnice 32 bitů.

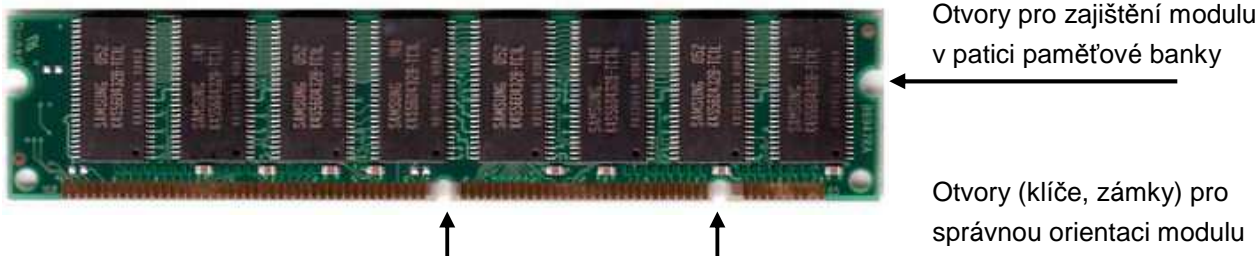
SIMM se vždy na základní desce osazovaly v počtu 2 nebo 4 modulů. Modul SIMM 72 pinů:



Paměťový modul DIMM

Všechny novější paměti (SDRAM, DDR, DDR2, DDR3) jsou umístěny na modulech typu DIMM (Dual In-line Memory Module). Šířka datové sběrnice je 64 bitů. Paměťové moduly DIMM mají po stranách otvory pro zajištění v patici na základní desce. Mezi kontakty jsou otvory (tzv. klíče či zámky) uspořádané asymetricky, pro zajištění správné orientace modulu v paměťové bance.

SDRAM DIMM (168 pinů)



DDR DIMM (184 pinů)



DDR2 DIMM (240 pinů)



DDR3 DIMM (240 pinů)



SO-DIMM



SO-DIMM moduly jsou určeny pro notebooky a jsou osazeny stejným typem paměti jako DIMM, tedy SDRAM, DDR, DDR2 a DDR3.

72 a 100 pinů – 32 bitová sběrnice

144, 200, 204 pinů – 64 bitová sběrnice

Paměťový modul RIMM

RIMM neboli (Rambus Inline Memory Module) se používal výhradně pro RDRAM paměti firmy Rambus. RIMM se vyráběly v mnoha variantách, 1, 2 a 4 kanálové (16 bitů, 32 bitů, 64 bitů) a pro různé pracovní frekvence: 600 MHz až 1066 MHz (maximum pro 4 kanálové), resp. 1600 MHz (maximum pro 2 kanálové). Nevýhody – viz paměti RDRAM.



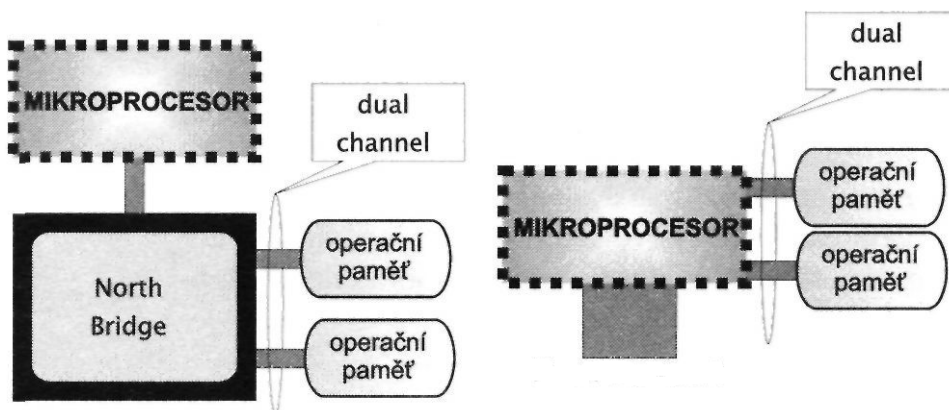
RIMM modul



CRIMM modul (terminátor)

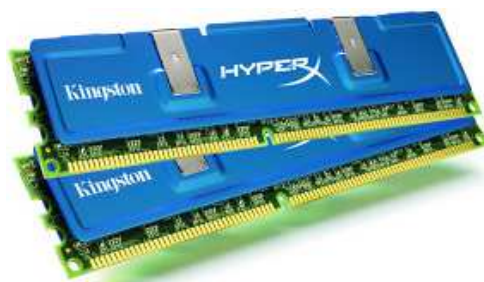
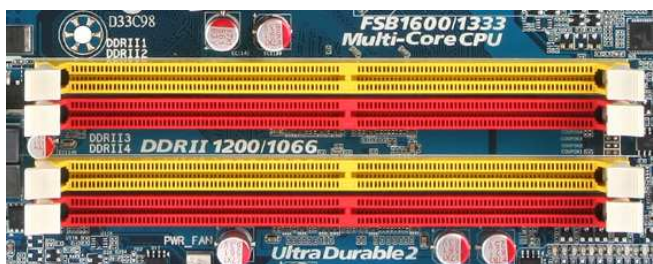
1.2.3 Technologie operační paměti

1. Vícekanálový paměťový řadič



Dual channel = 2 přenosové kanály. Místo jedné paměťové sběrnice spojující operační paměť s řadičem paměti jsou použity sběrnice dvě. Propustnost tak teoreticky vzroste dvakrát. Pro vyšší datovou propustnost je potřeba splnit tyto podmínky:

- Podpora čipové sady na základní desce.
- Paměťové moduly se musí osazovat v páru. Paměťové banky na základní desce jsou z tohoto důvodu barevně odlišeny. V principu platí, že se každý modul musí umístit do jiné skupiny paměťových banků.
- Oba kanály musí být osazeny stejným typem paměťového modulu DIMM (lze koupit tzv. *dual channel kit*, obsahující identický pár paměťových modulů).



Současné procesory využívají 3 kanálový paměťový řadič (triple channel), popřípadě 4 kanálový řadič (quad channel) pro zvýšení datové propustnosti. Podporovány jsou pouze paměti DDR3.

2. *SPD (Serial Presence Detect)* - SPD je paměť malé kapacity typu EEPROM (128 bajtů), sloužící pro ukládání a čtení informací o paměťových modulech. Jedná se především o informace týkající se frekvence, napájecího napětí, časování, výrobce, data výroby popřípadě sériového čísla modulu. Informace slouží k automatické konfiguraci paměťových modulů. Konfigurace dle údajů uložených v SPD lze povolit / zakázat v BIOSu základní desky.

2.1 *EPP (Enhanced Performance Profiles)* – rozšíření technologie SPD od společnosti Nvidia. Nevyužitá místa v čipu SPD je využito pro záznam detailnějších informací o parametrech paměti především z hlediska běhu paměti nad nominálními parametry (možnost automatického přetaktování paměti).

2.2 *XMP (Extreme Memory Profiles)* – totéž co EPP, řešení od společnosti Intel u paměti DDR3.

3. *Registered (buffered) memory* - paměť je vybavena dalším čipem (registrem). K paměti není přístupováno přímo, ale přes zmiňovaný registr, který řeší problémy se čtením i zápisem z jednotlivých buněk v případě velkokapacitních modulů, či většího počtu modulů. Požadavek nebo podpora těchto pamětí je poměrně běžná u serverových základních desek. Většina pamětí v osobních počítačích je tzv. „unbuffered“, tzn. řadič paměti je v přímém styku s operační pamětí.

4. *ECC (Error-Correcting Code)* - technologie detekce a opravy chyb (tzv. samoopravný kód). Slouží ke kontrole integrity (celistvosti) dat uložených v paměti. ECC dokáže opravit chybu 1 bitu (single bit error correction) popřípadě 2 bitů (double bit error detection). Používá se především u pamětí určených pro servery. ECC musí být podporován základní deskou i paměťovým modulem.

5. *Chipkill* – je jednou z vysoce pokročilých metod pro opravu chyb. Je mnohem efektivnější než standardní ECC. Chipkill umožňuje opravit chyby až ve čtyřech bitech na jeden DIMM modul. Pokud je detekováno větší množství chyb, tato technologie umožňuje vyřadit daný čip z provozu za stálého běhu serveru, aby tak bylo zabráněno vzniku dalších chyb.

6. *Memory Scrubbing* - technologie související s detekcí a opravou chyb. Jedná se o proces, aktivního vyhledávání jednobitových chyb a jejich případná oprava v době, kdy je paměť nejméně vytížena. Celý paměťový subsystém je kontrolován opakovaně. Tato technologie má aktivně předcházet vzniku chyb ve více bitech (tzv. neopravitelné chyby).

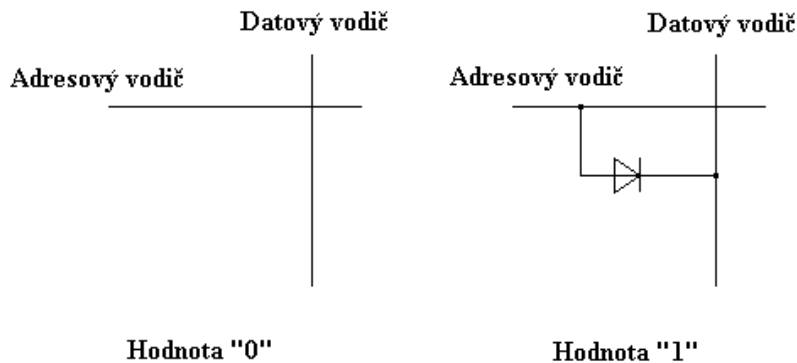
2. Polovodičové paměti ROM

Jedná se o paměti energeticky nezávislé, většinou určené pouze pro čtení zapsaného obsahu (programy a data), s přímým přístupem. Slouží především k uložení firmware v elektronických zařízeních, popřípadě BIOSu základní desky. Paměti ROM rozdělujeme do dvou hlavních skupin:

- a. ROM, PROM – po naprogramování nelze změnit obsah paměti
- b. EPROM, EEPROM, Flash ROM – paměti lze omezeně přeprogramovat (změnit obsah)

2.1 Permanentní paměti ROM, PROM

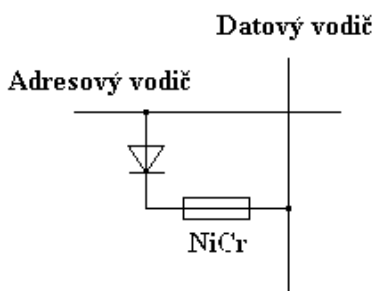
ROM = Read Only Memory (paměť určená pouze pro čtení informace)



Informace je do této paměti zapsána při její výrobě a poté již není možné žádným způsobem obsah změnit. Paměťová buňka paměti ROM může být realizována jako dvojice nespojených vodičů a vodičů propojených přes polovodičovou diodu (realizace logické 0 a 1).

PROM (Programmable ROM)

Paměť, kterou si může uživatel naprogramovat sám. Program se do paměti ukládá pomocí speciálního zařízení – *programátoru*.

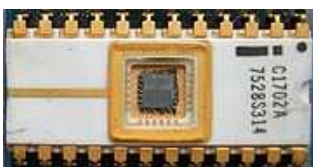


Při výrobě je vytvořena matice obsahující spojené adresové vodiče s datovými vodiči přes polovodičovou diodu a tavnou pojistku (nejjednodušší typ paměti PROM). Takto vyrobená paměť obsahuje na začátku samé hodnoty log.1. Během programování (zápisu informace) se na příslušnou paměťovou buňku přivede takový proudový impuls, který způsobí přepálení pojistky (nevodivý stav). Tento zápis je možné provést pouze jednou.

2.2 Mazatelné paměti EPROM, EEPROM, Flash ROM

EPROM (Erasable PROM)

Paměť EPROM je statická, energeticky nezávislá paměť, do které může uživatel provést zápis pomocí programátoru. Zapsané informace je možné vymazat působením UV záření (doba působení je asi půl hodiny).



Tyto paměti jsou realizovány pomocí speciálních unipolárních tranzistorů, které jsou schopny díky dokonalé izolaci na svém přechodu udržet elektrický náboj po dobu až několika let (fungují jako dokonale odizolovaný kondenzátor od okolí). Paměti EPROM jsou charakteristické malým okénkem v pouzdře integrovaného obvodu obsahujícího tuto paměť. Vyjma procesu mazání informace bývá toto okénko přelepeno ochranným štítkem (UV záření je také součástí spektra slunečního záření).

EEPROM (Electrically Erasable PROM)

Tento typ paměti je svou konstrukcí podobný pamětem EPROM. Oproti pamětem EPROM se mažou elektrickými impulsy, doba mazání se pohybuje v milisekundách.

Flash ROM

Jedná se o rychlejší paměť než předešlé typy, v principu se s ní dá pracovat jako s RAM (čtení / zápis), ale po odpojení napájení se informace nevymaže. Vymazání informace se provádí elektrickou cestou, jejich přeprogramování je možné provést přímo v počítači. Paměť typu Flash ROM tedy není nutné před vymazáním (naprogramováním) z počítače vyjmout a umístit ji do speciálního programovacího zřízení.

Vlastnosti:

- Stabilní uložení informací - uchová data i bez napájení
- Umožňují přímé čtení i zápis (stejně jako paměti typu RAM)
- Nízká úroveň napájení - velice nízký příkon vhodný pro přenosná zařízení
- Stálost - jsou schopny odolat velkým otřesům bez ztráty dat
- Kompaktní velikost - vhodná pro široký rozsah přenosné elektroniky
- Rychlost - extrémně krátká vybavovací doba
- Mají omezenou životnost na cca 100 000 cyklů výmaz / zápis.

Využití: externí flash disky, paměťové karty, SSD disky (náhrada stávajících pevných disků), atd.

Použití polovodičových pamětí v počítači

1. *Registr* – je malokapacitní paměť (několik bitů), bývá integrována v různých obvodech (např. v procesorech, v řadičích). Má velice krátkou vybavovací dobu, je tvořena obvody SRAM a je energeticky závislá. Registr je nejčastěji určen k ukládání aktuálně zpracovávaných instrukcí, dat, popřípadě adres.
2. *Operační paměť* – paměť typu DRAM, jsou zde uloženy právě zpracovávané programy a data, má středně velkou kapacitu - až jednotky GB a krátkou dobu přístupu. V současnosti jsou používány paměti DDR (DDR, DDR2, DDR3), které jsou umístěny na paměťových modulech DIMM (resp. SO-DIMM pro notebooky).
3. *Vyrovňovací paměti* – paměti s kapacitou od desítek KB do desítek MB. Slouží k vyrovnávání rychlosti přenosu dat mezi zařízeními pracujícími různou přenosovou rychlostí. Zapojují se například mezi procesor a operační paměť, mezi sběrnice pracující různou rychlostí, do tiskáren, pevných disků, mechanik optických pamětí, atd. Jsou tvořeny obvody SRAM, energeticky závislé. Přístupová doba je jednotky nanosekund. Nazývají se BUFFER nebo CACHE.
4. *Grafické (video) paměti* – ukládají obrazová data určená ke zpracování grafickým čipem pro zobrazení na displeji. Jsou umístěny přímo na grafické kartě. Video paměti dnes musí splňovat vysoké nároky jak na kapacitu, tak na rychlost a objem přenášených dat. Používají se podobné paměti jako pro operační paměť. Označují se GDDR a v současné době se používá standardu GDDR3, GDDR4 a GDDR5.
5. *Paměti ROM* – jejich kapacita se liší v závislosti na použití. Bývají integrovány v řadičích, kde obsahují mikrokód (předpis pro provedení instrukce). Dále jsou součástí různých zařízení (např. digitální fotoaparát, MP4 přehrávač, domácí kino, set-top box atd.) kde je uložen jejich firmware (ovládací program).

6. *Paměti Flash ROM* – použití v počítačích k uchování informací o konfiguraci, v přenosných počítačích pro uchování a přenášení dat, digitální fotoaparáty, telefony, pagery a digitální audio záznamníky, MP3 a MP4 přehrávače, atd. Nejčastěji se vyrábějí jako externí Flash disky pro rozhraní USB rozhraní, popřípadě jako paměťové karty pro zařízení spotřební elektroniky. V současnosti existuje několik standardů od různých výrobců, např:



SD



microSD



xD card



Memory Stick



CompactFlash



externí USB Flash disk



Wi-Drive

Wi-Drive nabízí přenosné ukládání a sdílení souborů pro Apple zařízení, včetně iPod touch, iPhone a iPad. Pro napájení používá akumulátor. K datům lze přistupovat bezdrátově z mobilního přístroje.

7. *Solid State Disk (SSD)* – typ paměťového média, který je postaven na principu vysokorychlostních polovodičových pamětí typu FlashROM. Postupně nahrazují klasické pevné disky s magnetickým záznamem.



HDD



SSD



Nabízí především tyto výhodné vlastnosti:

- ✓ vysoká rychlost při čtení a zápisu:
Interní SATA a mSATA SSD: 200 - 500 MB/s,
Interní SSD PCI-Express: 700 - 1500 MB/s,
- ✓ nulová hlučnost (neobsahuje pohyblivé součásti),
- ✓ malá hmotnost,
- ✓ nízká spotřeba elektrické energie, nízké ztrátové teplo,
- ✓ vysoká odolnost proti mechanickému poškození,
- ✓ stejný řadič jako pevný disk (SATA).

Nevýhody paměti SSD:

- ✓ vyšší cena oproti pevnému disku s magnetickým záznamem,
- ✓ teoretická životnost paměťové buňky: 100.000× přepis informace,
- ✓ po čase dochází k degradaci výkonu (závisí na počtu použitých buněk).

Důvod degradace výkonu SSD:

Operační systém pouze označí smazané bloky jako "volné" v seznamu souborového systému (data však zůstanou na disku). 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 nulu), aby ji mohl přepsat.

Tento problém řeší příkaz operačního systému s názvem **TRIM**, který dokáže přímo předat informaci o volných buňkách řadiči SSD (uplatní se při mazání dat, formátování disků, kompresi dat, změně velikosti diskového oddílu, atd.). Docílí se vyšší rychlosti SSD a prodloužení jeho životnosti.

Provedení SSD:



Interní SSD SATA 2.5"



Interní SSD mSATA



Interní SSD PCI-Express

Technologie paměťových čipů FlashROM:

1. **SLC (Single-Level Cell)** - jedna paměťová buňka dokáže uchovat 1 bit (0, 1)

Vysoká přenosová rychlost čtení/zápis, nižší spotřeba energie a vyšší trvanlivosti buněk. Nevýhodou jsou výrobní náklady na jeden MB, proto se SLC flash technologie používá ve vysoce výkonných pamětech, kde je důležitá rychlost a spolehlivost.

2. **MLC (Multi-Level Cell)** - jedna paměťová buňka dokáže uchovat 2 bity (00, 01, 10, 11)

Tím, že uchovávají více bitů v každé buňce, mají nižší přenosové rychlosti a nižší trvanlivost buněk než paměti SLC. Výhodou jsou nižší výrobní náklady. Technologie MLC flash se používá ve většině standardních paměťových zařízeních (např. SSD).

3. **TLC (Tripple-Level Cell)** - jedna paměťová buňka dokáže uchovat 3 bity

Tím, že uchovávají ještě víc bitů v každé buňce, mají paměti s technologií TLC nižší přenosovou rychlost, vyšší chybovost a nižší trvanlivost buněk než paměti MLC a SLC. Výhodou pamětí TLC je, že paměťový čip je pro určitou kapacitu fyzicky menší než čipy SLC a MLC, spotřebuje méně energie a je levnější pro výrobu. Technologie TLC flash se používá většinou v levných zařízeních, kde rychlost a spolehlivost není tak důležitá.