

Paměti

Paměti obecně

Paměť = médium (prostředí) umožňující uchovávat informaci.

Paměť počítače je zařízení sloužící k ukládání programů a dat, s nimiž počítač pracuje. Dělí se do tří základních skupin:

- registry – paměťová místa na čipu procesoru používaná pro krátkodobé uchování právě zpracovávaných informací – realizuje se klopnými obvody
- vnitřní (interní, operační) paměti – paměti osazené většinou na základní desce, bývají realizovány pomocí polovodičových součástek, jsou do nich zaváděny právě spouštěné programy (nebo alespoň jejich části) a data, se kterými pracují
- vnější (externí) paměti – paměti realizované většinou za pomoci zařízení používajících výměnná média v podobě disků, zápis do externích pamětí se provádí většinou na elektrickém, magnetickém nebo optickém principu, slouží pro dlouhodobé uchování informací a zálohování dat

Elementární paměť – základní paměťová buňka uchovávající jeden bit informace (0/1).

Parametry pamětí

- kapacita [B] – množství informací, které je možné do paměti uložit
- přístupová doba [s] – doba, kterou je nutné čekat od zadání požadavku, než paměť zpřístupní požadovanou informaci
- přenosová rychlost [B/s] – množství dat, které lze z paměti přečíst nebo do ní zapsat za jednotku času
- šířka toku dat [b] – šířka sběrnice je počet bitů, které se po sběrnici přenášejí současně
- spolehlivost [s] – střední doba mezi dvěma poruchami paměti
- cena za bit [Kč] – cena, kterou je nutno zaplatit za jeden bit paměti

Přístup do paměti

- sekvenční (sériový) – SAM – před zpřístupněním informace z paměti je nutné přečíst všechny předcházející informace
- přímý (libovolný) – RAM – random access memory – je možné zpřístupnit přímo požadovanou informaci např. prostřednictvím adresy

Technologie pamětí

- bipolární – paměťové buňky jsou tvořeny bipolárními tranzistory (TTL nebo ECL)
- unipolární – paměťové buňky jsou tvořeny unipolárními tranzistory MOS (P-MOS, N-MOS, CMOS) – tvoří obvody LSI¹ a VLSI¹

¹ LSI a VLSI – (very-)large-scale integration – generace technologie výroby polovodičových integrovaných obvodů s vyšší (nebo velmi vysokou) mírou integrace

Srovnání dle parametrů a typů paměti

	Registry	Vnitřní paměti	Vnější paměti
Kapacita	Velmi malá (jednotky bytů)	Vyšší (řádově 100 MB–1 GB)	Vysoká (řádově 10 MB–1 TB)
Přístupová doba	Velmi nízká	Vyšší (řádově 10 ns)	Vysoká (řádově 10 ms–10 min)
Přenosová rychlost	Vzhledem k malé kapacitě se neuvažuje	Vysoká (řádově 1–10 MB)	Nižší než u vnitřních pamětí (řádově 10 MB/min–1 MB/s)
Statičnost/dynamičnost	Statické	Statické i dynamické	Statické
Destruktivnost při čtení	Nedestruktivní	Destruktivní i nedestruktivní	Nedestruktivní
Energetická závislost	Závislé	Závislé	Nezávislé
Přístup	Přímý	Přímý	Přímý i sekvenční
Spolehlivost	Velmi spolehlivé	Spolehlivé	Méně spolehlivé
Cena za bit	Vzhledem k nízké kapacitě vysoká	Nižší než u registrů a vyšší než u vnějších pamětí	Vzhledem k vysoké kapacitě nízká

Obecná teorie polovodičových pamětí

Skládají se z tzv. *paměťových buněk*, ty jsou realizovány pomocí integrované součástky nebo obvodu umožňující trvale nebo dočasně vyvolat dva stavy (0/1). Každá základní paměťová buňka má kapacitu 1 bit. Podle toho, čím je buňka tvořena, se mění vlastnosti takové paměti. Paměťové buňky jsou uspořádány maticově (tvoří 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.

Rozdělení polovodičových pamětí z hlediska čtení/zápisu

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).

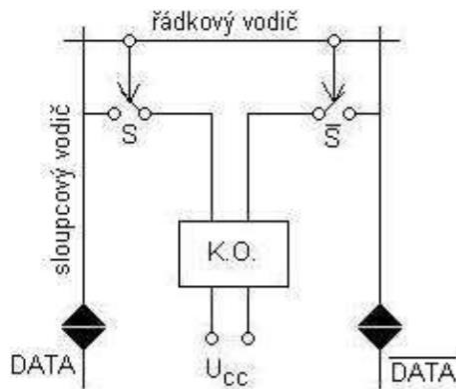
ROM (read only memory)

Jsou určeny především pro čtení zapsané informace. Jedná se o paměti energeticky nezávislé.

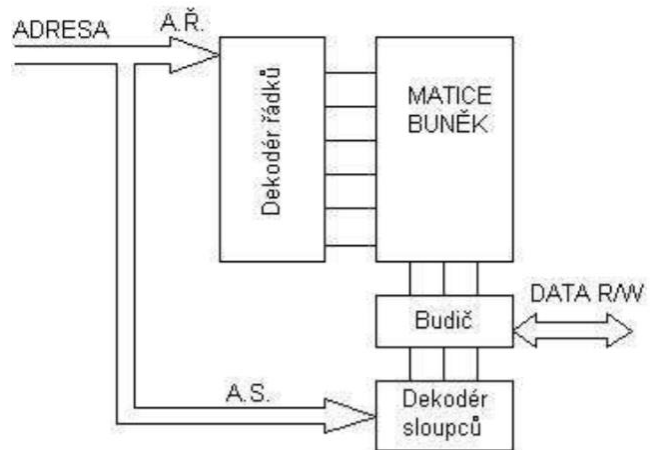
Polovodičové paměti RAM (random-access memory)

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

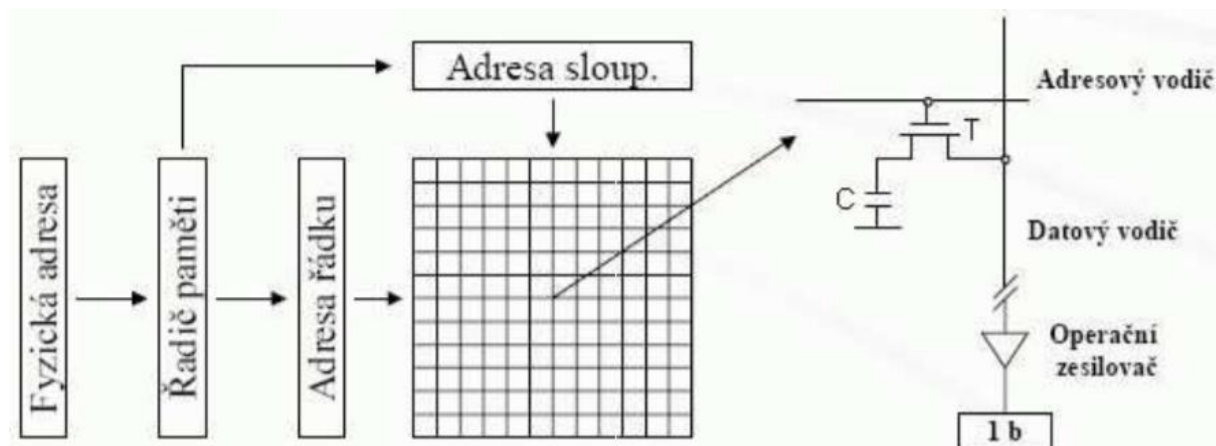


Adresace paměťové buňky

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.

DRAM (dynamic random-access memory) (dynamická RAM)



Paměťová buňka je tvořena kondenzátorem (využívána kapacita PN přechodu) a tranzistorem typu MOSFET, kterým se řídí nabíjení a vybíjení paměťového kondenzátoru. Logické hodnoty 0 a 1 odpovídají vybitému nebo nabitému kondenzátoru.

DRAM refresh – protože dochází k samovolnému vybíjení (ztrátě informace), provádí se periodická obnova dat, tzv. *refresh*. Refresh 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. Přechtenou 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.

Typy pamětí DRAM:

- SDRAM (synchronní; 533–1 066 MB/s; 3,3 V; až 512 MB; během impulsu 1 operace)
- DDR (přenáší data během náběžné i sestupné hrany – 2 operace během imp.; 1,6–4,8 GB/s; 2,5 V; 64 MB–2 GB)
- DDR2 (stejně jako DDR; 8,5 GB/s; 1,8 V; 256 MB–4 GB)
- DDR3 (1,5 V; 17 GB/s; 512 MB–8 GB)
- DDR4 (1,2 V; 8–128 GB)
- RDRAM (paměti určené pro procesory Pentium 4)

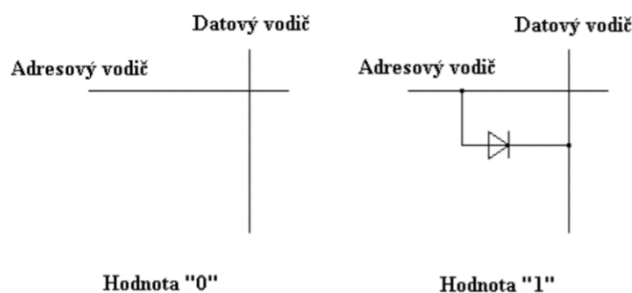
Polovodičové paměti ROM (read only memory)

Jde 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, rozdělujeme je do dvou hlavních skupin.

Permanentní paměti ROM a PROM

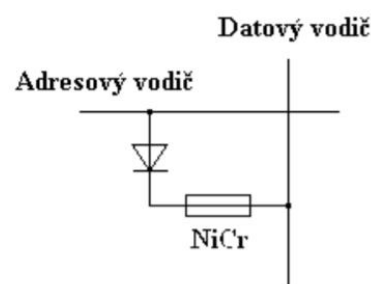
ROM

Po naprogramování nelze změnit obsah paměti. Paměť. buňka může být realizována jako dvojice nespojených vodičů a vodičů propojených polovodičovou diodou (logická 0 a 1).



PROM

Paměť, kterou si může uživatel naprogramovat sám – program se ukládá pomocí speciálního zařízení (programátoru). Při výrobě je vytvořena matice obsahující spojené adresové vodiče s datovými přes polovodičovou diodu a tavnou pojistku. Během programování se na příslušnou paměť. buňku přivede takový proudový impuls, který způsobí přetavení pojistky, a tedy logickou nulu. Takový zápis je možné provést jen jednou.



Mazatelné paměti EPROM, EEPROM, Flash ROM

EPROM (Erasable PROM)

Zapsaná data je možné vymazat působením UV záření (doba působení ~30 minut). Paměti realizovány speciálními unipolárními tranzistory schopnými udržet el. náboj až několik let).

Paměti EPROM jsou charakteristické malým okénkem v pouzdře IO². Pokud neprobíhá proces mazání paměti, bývá toto okénko přelepeno ochranným štítkem (UV záření ← sluneční záření).

EEPROM (Electrically Erasable PROM)

Konstrukcí podobný EPROM pamětem, oproti nim se však EEPROM maže elektrickými impulsy, doba mazání se pohybuje v řádu milisekund.

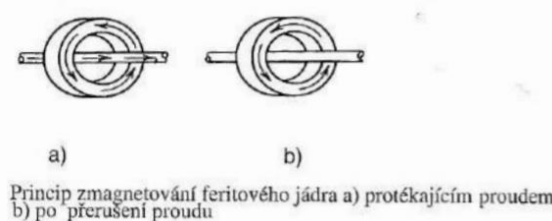
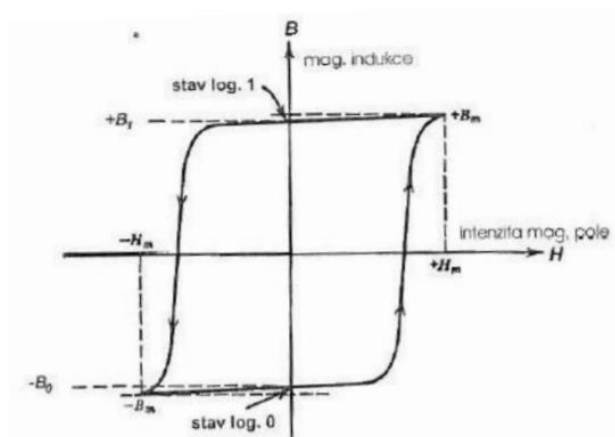
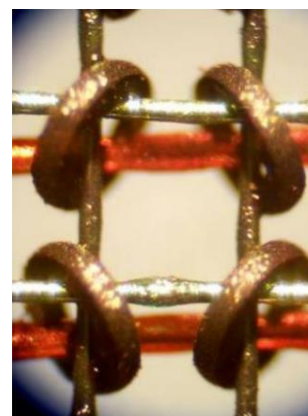
Flash ROM

Rychlejší paměť než předešlé typy, dá se s ní pracovat jako s RAM (ale po odpojení se informace nevymaže). Mazání se provádí elektrickou cestou, jejich programování a mazání je možné přímo v PC. Jsou schopny odolat velkým otřesům bez ztráty dat, jsou malé, a tedy vhodné do různých druhů přenosné elektroniky, mají extrémně krátkou vybavovací dobu, avšak jejich životnost je omezena na ~100 000 cyklů výmaz/zápis. *Využití zejména: flash disk, paměťové karty, SSD.*

Feritové paměti

Dlouho se používaly jako vnitřní paměti, informaci umožňují uchovat libovolně dlouho i po vypnutí od zdroje. Jako paměťový prvek je použito feritové jádro (miniaturní feritový kroužek) mající výhodné magnetické vlastnosti. Velikost jader se postupně zmenšovala ($\varnothing 1,27 \rightarrow 0,35$ mm). Každý bit feritové paměti tvořilo jedno samostatné jádro.

Jednotlivá feritová jádra byla „prošita“ soustavou velmi jemných vodičů. Způsob uspořádání jader určoval typ organizace paměti. Bloky pamětí se vyráběly v textilních závodech na tkalcovských stavech. Stav log. 0/1 jsou dány odlišnými hodnotami magnetické indukce při dané intenzitě magnetického pole.



Obrázek se čtyřmi feritovými jádry: čtecí vodič (svislý) společně s červeným čtecím (vodorovným spodním).

Vyrovnávací paměti

Paměti s kapacitou od desítek kB do desítek MB, slouží k vyrovnání rychlosti přenosu dat mezi zařízeními pracujícími různou přenosovou rychlostí, zapojují se např. mezi procesor a operační

² integrovaný obvod

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*.

Grafické (video) paměti

Ukládají obrazová data určená ke zpracování grafickým čipem pro zobrazení na displeji. Jsou umístěny přímo na grafické kartě. Videopaměti 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.

SSD

Médium postavené na principu vysokorychlostních polovodičových pamětí typu Flash ROM. Nabízí vysokou rychlost čtení i zápisu, nulovou hlučnost (neobsahuje žádné pohyblivé součásti), malou hmotnost, nízkou spotřebu energie, nízké ztrátové teplo, vysokou odolnost proti mechanickému poškození, stejný řadič jako u pevného disku (SATA).

Nevýhodou je vyšší cena oproti HDD, teoretická živostnost paměťové buňky (~100 000× přepis informace) a fakt, že po čase dochází k degradaci výkonu dle počtu použitých buněk.

Důvodem této degradace je to, že OS pouze smazané bloky 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 přepsat a modifikovat (nastavit na nulu), aby ji mohl přepsat. Problém řeší příkaz TRIM, který dokáže přímo předat informaci o volných buňkách řadiči SSD. Docílí se tak vyšší rychlosti SSD a prodloužení jeho životnosti.

Technologie paměťových čipů Flash ROM

SLC (Single-Level Cell)

Jedna paměťová buňka dokáže uchovat 1 bit (0/1) – vysoká přenosová rychlost R/W, nižší spotřeba energie, vyšší trvanlivost buněk, nevýhodou jsou výrobní náklady na jeden MB, proto se SLC technologie používá ve vysoce výkonných pamětech, kde je důležitá rychlost a spolehlivost.

MLC (Multi-Level Cell)

Jedna paměťová buňka dokáže uchovat 2 bity (00/01/10/11) – nižší přenosové rychlosti a nižší trvanlivost buněk než SLC, výhodou jsou nižší výrobní náklady. Technologie MLC se používá ve většině standardních paměťových zařízeních (např. SSD).

TLC (Triple-Level Cell)

Jedna paměťová buňka dokáže uchovat 3 bity – nižší přenosová rychlost, vyšší chybovost, nižší trvanlivost buněk než u SLC nebo MLC, paměťový čip je však pro určitou kapacitu fyzicky menší než čipy SLC/MLC, spotřebuje méně energie, levnější na výrobu. Používá se většinou v levných zařízeních, kde rychlost a spolehlivost není tak důležitá.

DMA (Direct Memory Access)

Přímý přístup do paměti. Způsob přímého přenosu dat mezi operační pamětí a I/O zařízeními. Data neprocházejí přes procesor a lze tak dosáhnout vyššího výkonu, protože procesor mezitím může pracovat na vykonávání jiných instrukcí. DMA se používá pro přenos vyšších objemů dat (např. řadič pevných disků, grafická karta, síťová karty, zvuková karta apod.). Pro DMA se používá sběrnice PCI, dříve se používala ISA.