

Paměti počítače

Michal Šerý

Principy počítačů

1 Dělení paměti

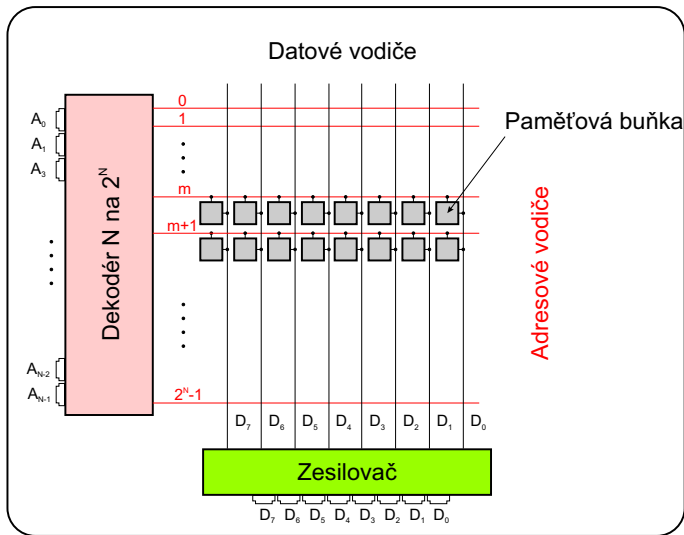
- RAM
- SRAM a DRAM
- DRAM - moduly

- Podle závislosti na napájení
 - ▶ Volatilní (některé polovodičové)
 - ▶ Nevolatilní (CD, HDD, děrné pásky, ...)
- Podle toho, zda můžeme provádět zápis
 - ▶ Pouze pro čtení (ROM)
 - ▶ Pro zápis a čtení (RWM)
- Podle vybavovací doby
 - ▶ Sekvenční (vybavovací doba závisí na poloze pam. místa: HDD, pásky)
 - ▶ S náhodným přístupem
- Podle organizace
 - ▶ standardní
 - ▶ LIFO - hrnec
 - ▶ FIFO - fronta
 - ▶ VRAM
 - ▶ ...

- Podle technologie
 - ▶ Mechanické
 - ▶ Elektromagnetické
 - ▶ Magnetické
 - ▶ Polovodičové
 - ▶ Optické
 - ▶ ...

- Podle použití
 - ▶ Operační paměť
 - ▶ Registry
 - ▶ BIOS
 - ▶ Registry
 - ▶ Storage (sklad)
 - ▶ Přenosná média
 - ▶ Cache

Paměť polovodičová

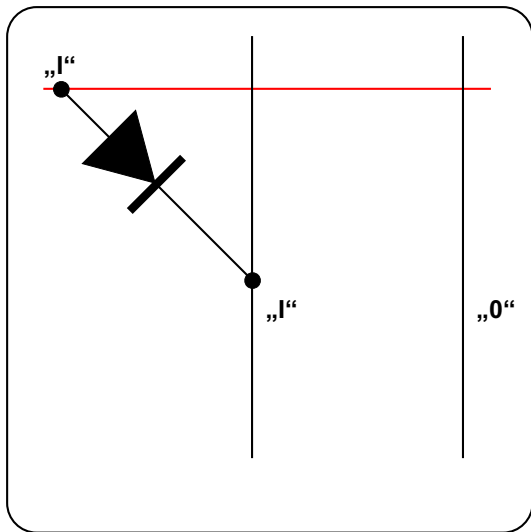


Obrázek: Obecná organizace polovodičové paměti

Paměti ROM (Read Only Memory) – pevné (permanentní) paměti, pouze ke čtení. Obsah paměti se po vypnutí napájecího napětí neztrácí. V počítačích se používaly k uložení BIOSu nebo na rozšiřujících kartách.

Data jsou do těchto pamětí pevně zapsána při jejich výrobě. Jedná se tedy o statickou, nonvolatilní paměť.

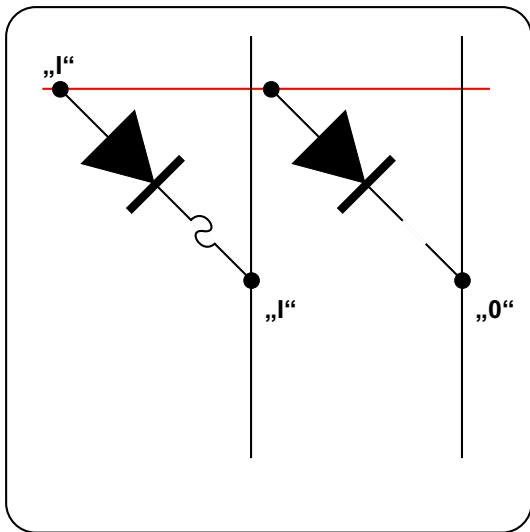
Výroba těchto pamětí je efektivní pouze u velkých výrobních sérií (cca 10 000 ks).



Obrázek: ROM

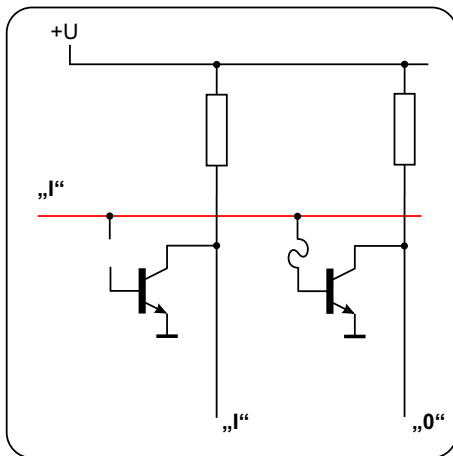
Pro realizaci malosériových projektů byly vytvořeny paměti typu PROM. Tyto čipy umožňují jeden zápis dat.

Buňka paměti PROM



Obrázek: PROM - diodová

Buňka paměti PROM

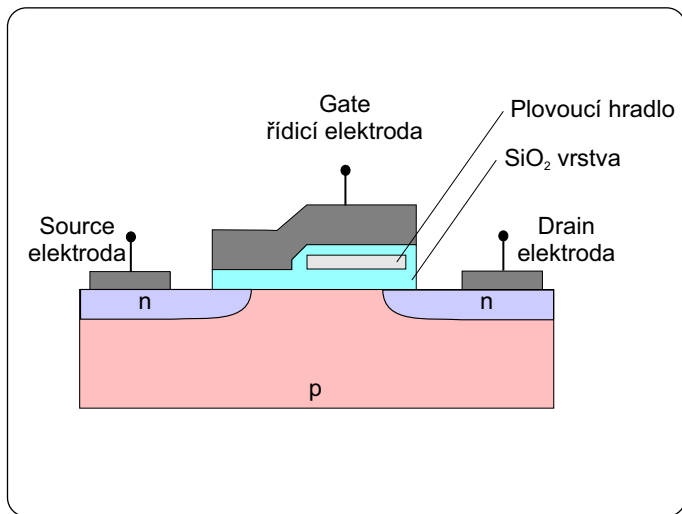


Obrázek: PROM - tranzistorová

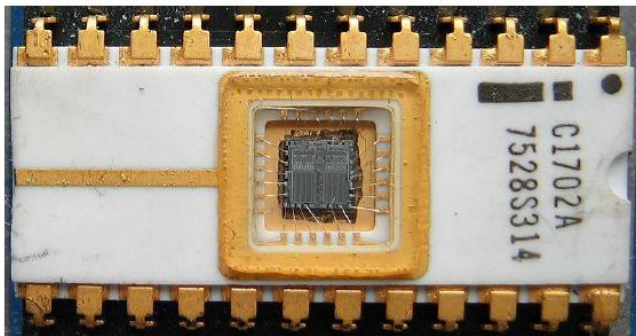
Dalším krokem ve vývoji jsou paměti typu EPROM. Tyto čipy umožňují opakovaný zápis dat. Mazání je provedeno pomocí ultrafialového světla ve speciálním mazacím zařízení. Vyznačují se okénkem z křemičitého skla. Hlavním konstrukčním prvkem datové buňky je speciální tranzistor s plovoucím hradlem. Tyto speciální unipolární tranzistory, které jsou schopny na svém přechodu udržet elektrický náboj po dobu až 10 let.

Programování: ve speciálním programátoru pamětí a zápis trvá 10 až 20 minut.

Mazání: asi 30 minut.



Obrázek: FET tranzistor

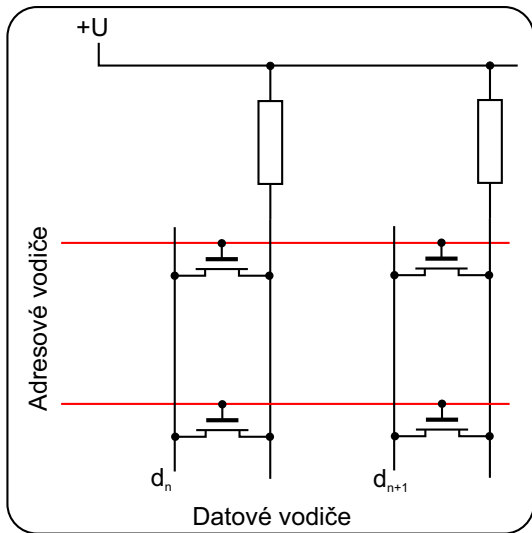


Obrázek: EPROM

Rozdělení paměti

Dalším krokem ve vývoji jsou paměti typu EEPROM (Electrically EPROM). Tento typ paměti má podobné chování jako paměti EPROM. Výhodou oproti EPROM pamětem je, že vymazání a programování se provádí elektricky přímo v systému, vymazání a naprogramování dat trvá méně než 1 minutu. Při výrobě pamětí EEPROM se používá speciálních tranzistorů vyrobených technologií MNOS (Metal Nitrid Oxide Semiconductor).

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. 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. Jednou z nevýhod těchto pamětí je, že počet zápisů je omezen



Obrázek: EEPROM

Dalším krokem ve vývoji jsou paměti typu FlashPROM. Zapisuje se do ní po blocích a programování celé paměti trvá jednotky sekund. Pracuje se s nimi jako s paměťmi typu RAM, ale po odpojení napětí se obsah nevymaže. Snese asi 1000 cyklů zápis-výmaz. Používá se k uložení například BIOSu.

Vývoj těchto pamětí postupně docílil zvýšení odolnosti a rychlosti zápisu a čtení. Díky tomu se začaly používat jako transportní médium (flash paměti - fotoaparáty, flashdisky, SSD, ...).

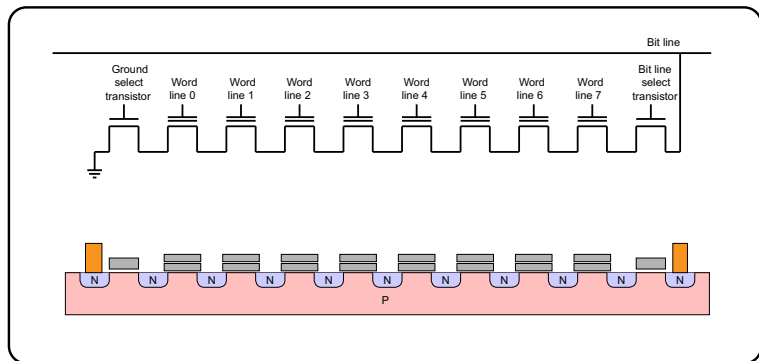
Paměti flash se vyrábějí ve dvou variantách označovaných jako NAND a NOR podle propojení jednotlivých paměťových buněk.

NAND

paměť tohoto typu se čte po blocích (stránkách).

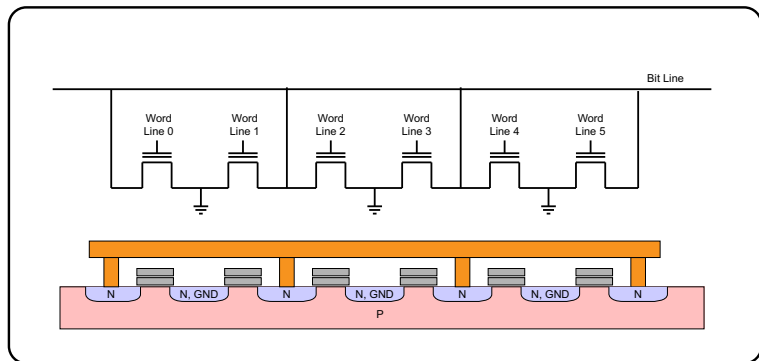
NOR

paměť tohoto typu se čte po slovech jako třeba RAM paměti.



Obrázek: Flash NAND

https://en.wikipedia.org/wiki/Flash_memory



Obrázek: Flash NOR

https://en.wikipedia.org/wiki/Flash_memory

Porovnání Flash pamětí

Vlastnost	NAND	NOR
Hlavní použití	ukládání souborů	operační paměť
Kapacita	velká	malá
Náklady na bit	menší	
Činný výkon	lepší	
Pohotovostní výkon		lepší
Rychlost zápisu	dobrá	
Rychlost čtení		dobrá
Zpracování na místě (XIP)	ne	ano

XIP (zkratka anglického eXecute In Place, doslova zpracování na místě) je označení technologie z oboru počítačů, která umožňuje provádění strojového kódu přímo z jeho uložení ve vnější paměti bez jeho kopírování do operační paměti.

https://en.wikipedia.org/wiki/Flash_memory

- NOR paměti jsou rychlejší na čtení než NAND, ale drahé a potřebují více času na smazání a zápis nových dat.
- NAND dosahují větších kapacit než NOR.
- NOR – jako pracovní paměti (OP)
- NAND – pro uchovávání dat (SSD)

- SLC – single-level cell 1 buňka 1 bit (mazání 100 000x)
- MLC – multi-level cell 1 buňka 2 bity (mazání 10 000x)
- TLC – triple-level cell 1 buňka 3 bity (mazání 1 000x)
- QLC – quard-level cell 1 buňka 4 bity (mazání 100x)

Číslo v závorce udává orientační hodnotu počtu smazání jednotlivých buněk paměti. Souvisí s tím životnost. Tento problém řeší výrobci zařízení různými SW (např.: přeadresovávání bloků) nebo HW (náhradní bloky) „triky“.

RAM

paměť s náhodným (libovolným) přístupem. Umožňuje čtení i zápis na libovolné pozici v paměti. Paměť je volatilní. Podle principu se rozdělují na statické (SRAM) a dynamické (DRAM).

SRAM

- uchování dat formou klopných obvodů
- pro každý bit nutný klopný obvod
- rychlá, větší spotřeba, dražší

DRAM

- data se uchovávají pomocí vybíjených kondenzátorů
- destruktivní čtení nutný refresh (obnova) zapsaných dat
- menší spotřeba, levnější
- delší vybavovací doba

SRAM - použití

- používají se pro realizaci cache pamětí (L1, L2, L3) mezi procesorem a operační pamětí,
- k realizaci registrů,
- bufferů,
- operační paměti jednočipových počítačů.

DRAM - použití

- operační paměti počítačů, serverů a pod.,
- paměti grafických karet.

SIMM

Single Inline Memory Module - 32 bit

DIMM

Dual In-line Memory Module - oboustrnné \Rightarrow 64 bit

DRAM

klasické paměťové čipy - asynchronní. SIMM poduly

SDRAM

Synchronous Dynamic Random Access Memory - synchronní. DIMM moduly. Přenos dat při náběžné hraně hodin.

DDRSDRAM - DDR

Double-Data-Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory. Evoluce SDRAM dochází k přenosu dat při každé změně hodinového signálu. Při adresaci se přečtou zároveň 2 paměťová místa a tudíž lze teoreticky zdvojnásobit přenosovou rychlost.

DDR2

Double-Data-Rate 2 Synchronous Dynamic Random Access Memory. Evoluce SDRAM dochází k přenosu dat při každé změně hodinového signálu. Při adresaci se přečtou zároveň 4 paměťová místa.

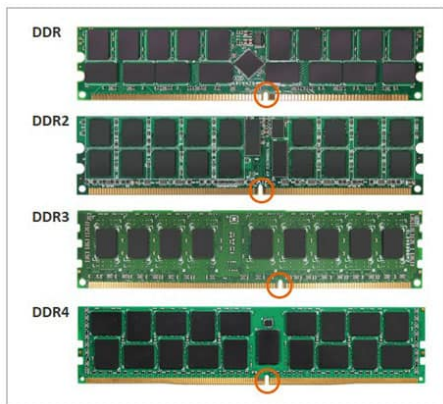
DDR3

Double-Data-Rate 3 Synchronous Dynamic Random Access Memory. Evoluce SDRAM dochází k přenosu dat při každé změně hodinového signálu. Při adresaci se přečte zároveň 8 paměťových míst.

DDR4

Double-Data-Rate 4 Synchronous Dynamic Random Access Memory. Částečné zrychlení buněk. Při adresaci se přečte zároveň 8 paměťových míst.

Obrázek DDR



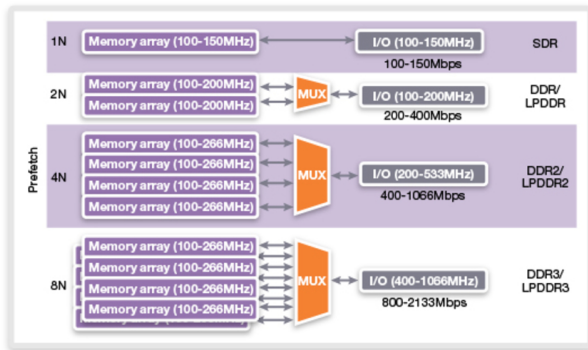
Obrázek: DDR - DDR4

<https://www.gamingscan.com/ddr3-vs-ddr4-vs-ddr5-ram/>

Paměť	rok	Napájení	Přenos	Předběžné načtení
SDR	1993	3.3 V	1.6 GB/s	1N
DDR (DDR1)	2000	2.5/2.6V	3.2 GB/s	2N
DDR2	2003	1.8V	8.5 GB/s	4 unit
DDR3	2007	1.3/1.5V	17 GB/s	8N
DDR4	2014	1.2V	25.6 GB/s	8N
DDR5	2019	1.1V	32 GB/s	8/16N

$N = 1 \text{ bit} / 1 \text{ NYBBLE} / 1 \text{ Byte}$ podle architektury čipu

<https://www.gamingscan.com/ddr3-vs-ddr4-vs-ddr5-ram/>

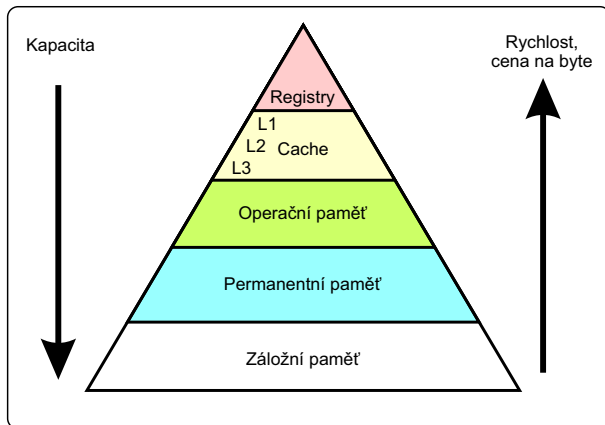


Obrázek: Prefetch DDR paměť

<https://www.synopsys.com/designware-ip/technical-bulletin/ddr4-bank-groups.html>

Pro použití operační paměti v počítači je důležitým parametrem dosažitelná přenosová rychlost (přenos). V počátku vývoje počítačů se toho dosahovalo zrychlováním paměťových buněk. Ovšem po přiblížení se k fyzikální hranici ($\pm 50\text{nm}$) se výrobci zaměřují hlavně na změnu organizace čtení - vyrovnávací registry (buffer). Vlastní zrychlování buněk přináší extrémní nároky na výzkum a vývoj.

Hierarchie pamětí v počítači



Obrázek: Hierarchie pamětí