

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačního inženýrství



Bakalářská práce

Vnitřní paměti v architektuře osobního počítače

Miloslav Kozel

© 2010 ČZU v Praze

PROHLÁŠENÍ O SAMOSTATNOSTI

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vnitřní paměti v architektuře osobního počítače" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 24.3.2010

Poděkování vedoucímu odborné práce

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu této bakalářské práce Ing. Davidu Buchtelovi za jeho pomoc při tvorbě této bakalářské práce.

Vnitřní paměti v architektuře osobního počítače (Internal Memory in Personal Computer Architecture)

Souhrn

Vnitřní paměť je velice důležitou součástí osobního počítače. Jeho činnost by bez ní prakticky nebyla možná.

Tato práce se zabývá rozdělením typů vnitřních pamětí a jejich využitím v architektuře osobního počítače. Dále si klade za cíl porovnat vlastnosti vybraných technologií integrovaných logických obvodů, na kterých jsou založeny vnitřní paměti.

Summary

Internal memory is a very important part of a personal computer. Its function is practically not possible without internal memory.

This work describes miscellaneous types of internal memories and their function in personal computer architecture. Objective of this work is comparison of characteristics different types of integrated logical circuits. Internal memories are based on this circuits.

Klíčová slova:

Vnitřní paměť, integrované logické obvody, technologie s unipolárními tranzistory, technologie s bipolárními tranzistory, statická paměť, dynamická paměť.

Key words:

Internal memory, integrated logical circuits, unipolar transistor technology, bipolar transistor technology, static memory, dynamic memory.

1. Úvod.....	7
2. Cíl práce a metodika.....	8
3. Typy vnitřních pamětí.....	9
3.2 Rozdělení vnitřních pamětí.....	10
3.2.1 Dělení dle přístupu k buňkám paměti.....	10
3.2.2 Dělení dle možnosti změny dat.....	11
3.2.3 Dělení dle realizace paměťové buňky.....	11
3.2.4 Dělení dle organizace paměti.....	12
3.2.5 Dělení z hlediska použití.....	12
4. Vývoj a využití vnitřních pamětí.....	13
4.1 Statická a dynamická paměť.....	13
4.2 Porovnání statické a dynamické paměti.....	14
4.3 Operační paměť.....	15
4.4 Paměť Cache.....	17
4.5 Registry.....	18
4.6 BIOS.....	20
4.7 Video paměť.....	21
5. Vlastní návrh řešení.....	22
5.1 Integrované logické obvody.....	22
5.2 Technologie s unipolárními tranzistory.....	23
5.2.1 NMOS.....	27
5.2.2 CMOS.....	28
5.2.3 Další technologie unipolárních tranzistorů.....	30
5.3 Technologie s bipolárními tranzistory.....	31
5.3.1 TTL.....	32
5.3.2 STTL.....	34
5.3.3 ECL.....	35
5.3.4 Další technologie bipolárních tranzistorů.....	36
5.4 Porovnání parametrů vybraných technologií.....	37
6. Závěr.....	39
7. Seznam Literatury.....	40

1. Úvod

V dnešní době se velice často k práci využívá osobních počítačů. Každý počítač se skládá z hardwaru a softwaru, tedy z fyzické a programové části.

V této práci se budeme zabývat jen konkrétní fyzickou částí a to vnitřní pamětí. Vnitřními pamětmi rozumíme především paměťové čipy integrované na základní desce počítače. Typickým příkladem vnitřních pamětí integrovaných na základní desce, jsou registry či paměť CMOS, na které jsou uložena data pro zavedení operačního systému. Dalším příkladem jsou operační paměti, které nejsou přímo integrovány na základní desce.

V literární rešerši provedeme rozdělení vnitřních pamětí z několika hledisek a jejich využití v rámci architektury osobního počítače. Poté v kapitole vlastní návrh řešení popíšeme jednotlivé vybrané technologie a následně porovnáme tyto technologie integrovaných logických obvodů, na kterých jsou založeny vnitřní paměti.

2. Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem této práce je provést porovnání vybraných technologií integrovaných logických obvodů, a to především jejich parametrů – rychlosti a spotřeby. Dále pak určit za jakých okolností je výhodnější využití technologií s unipolárními tranzistory a kdy je výhodnější použití technologií s tranzistory bipolárními.

2.2 Metodika práce

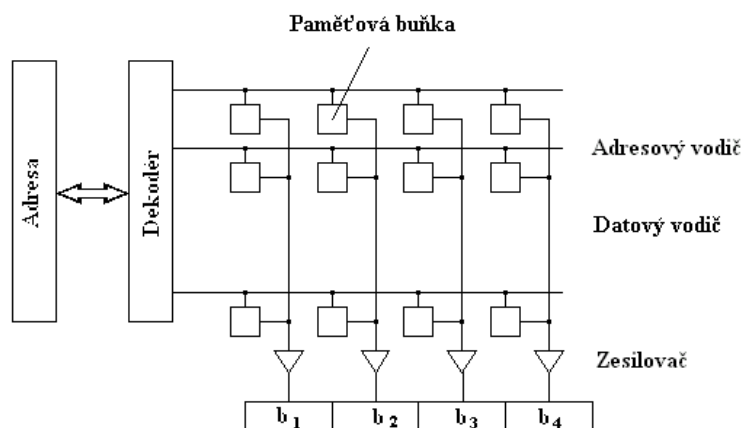
Tvorbě této bakalářské práce předcházelo shromáždění jak tištěných materiálů, tak i materiálů z online zdrojů. První část této práce (literární rešerše) je věnována rozdělení vnitřních pamětí z několika různých hledisek a využití těchto pamětí v architektuře osobního počítače.

Druhá část bakalářské práce je věnována dvěma konstrukčním způsobům výroby integrovaných logických obvodů. Prvním způsobem je konstrukce s využitím vlastností bipolárních tranzistorů a druhým způsobem je konstrukce za pomoci unipolárních tranzistorů. Mezi technologie, které využívají bipolární tranzistory patří např. TTL a příkladem technologie s užitím unipolárních tranzistorů je např. CMOS. Na konci této části bakalářské práce je číselné porovnání parametrů vybraných technologií.

3. Typy vnitřních pamětí

V této části bakalářské práce se budeme zabývat typy vnitřních pamětí, které lze rozdělit podle několika hledisek. Ale co to pojem vnitřní paměť znamená?

Vnitřní paměti jsou ty paměti, které jsou umístěny na základní desce mikropočítače nebo počítače [1]. Procesor má k těmto pamětem přímý přístup. Jsou to většinou nestálé paměti, což znamená, že jejich obsah se po vypnutí počítače vymaže. Je v ní uložen strojový kód právě probíhajících procesů a jsou v ní uložena také data, se kterými tyto procesy právě pracují. Vnitřní paměti se také označují jako interní.



Obr. 1 - obecné zapojení vnitřní paměti [7]

Na obrázku je vidět obecné zapojení vnitřní paměti. Každá jednotlivá paměťová buňka má kapacitu jeden bit, což znamená, že v ní může být uložena pouze logická 1 nebo logická 0. Každá buňka je připojena na adresový a datový vodič.

Při zápisu nebo čtení těchto buněk musím nejprve znát adresu. Tuto adresu dostane dekodér a podle ní vybere adresový vodič, na němž nastaví hodnotu logická 1. Tato hodnota pak projde (nebo neprojde) paměťovou

buňkou na datový vodič a poté je ještě zesílena zesilovačem. Na výstupu pak tedy dostaneme takovou sekvenci nul a jedniček, podle toho, jaké hodnoty jsou na určitých datových vodičích. [7]

3.2 Rozdělení vnitřních pamětí.

Vnitřní paměti lze dělit z mnoha různých hledisek, z nichž nejpoužívanější jsou: [1]

- z hlediska přístupu k buňkám paměti
- z hlediska možnosti změny zápisu dat
- z hlediska realizace paměťové buňky
- z hlediska typu organizace paměti
- z hlediska použití

3.2.1 Dělení dle přístupu k buňkám paměti

Z hlediska přístupu k buňkám paměti při čtení či zápisu se dále dělí na: [1]

- paměti s libovolným - náhodným přístupem **RAM** (Random Access Memory)
- paměti se sériovým přístupem **SAM** (Serial Access Memory) [1]
- paměti se speciálním přístupem, které se realizují z paměti RAM doplněných speciální logikou a to jsou zejména:
 - paměti adresovatelné obsahem – CAM (Content Adressable memory) [1]
 - paměti typu zásobník nebo LIFO (Last In – First Out) [1]

3.2.2 Dělení dle možnosti změny dat

Paměti lze rozdělit na 2 základní druhy a to:

- paměti typu **RWM** (Read Write Memory) - tyto paměti lze použít pro čtení i zápis dat. Mají však jednu velkou nevýhodu a to, že při vypnutí napájení mizí jejich obsah.
- pevné paměti typu **ROM** (Read Only Memory) – z těchto pamětí lze pouze číst data. Bývají to většinou paměti typu RAM a data v nich uložená při vypnutí počítače nemizí.

3.2.3 Dělení dle realizace paměťové buňky

Možnosti rozdělení z hlediska realizace paměťové buňky jsou rozsáhlé, a proto se omezím na rozdělení dvou základních typů pamětí: [1]

- paměti statické – tyto paměti jsou realizovány bistabilním klopným obvodem a data jsou v této paměti uložena trvale tzn. nepotřebují REFRESH.
 - paměti dynamické – zde se využívá parazitní kapacity řídicí elektrody tranzistoru MOSFET. Vzhledem ke svodům je třeba periodicky obnovovat elektrický náboj speciálními obvody tzn. potřebují REFRESH.
- [1]

3.2.4 Dělení dle organizace paměti

Každá paměť má různou organizaci. Samotný údaj o kapacitě paměti může být zavádějící, protože abych mohl sestavit paměť s potřebnou délkou slova, musím znát organizaci (strukturu) paměti. 16 Kbit paměť může být zcela běžně vyrobena jako: [1]

- 1 bit x 16K adres – 1 x 16K
- 4 bity x 4K adres – 4 x 4K
- 8 bitů x 2K adres – 8 x 2K

3.2.5 Dělení z hlediska použití

Vnitřní paměti můžeme dělit i z hlediska jejich použití v architektuře osobního počítače. Rozdělení těchto pamětí by mohlo vypadat například takto:

- operační paměť
- cache paměť procesoru
- registry procesoru
- registry chipsetu
- video paměť

Možností rozdělení vnitřních pamětí je velké množství a zde jsme postihli pouze základní typy rozdělení vnitřních pamětí.

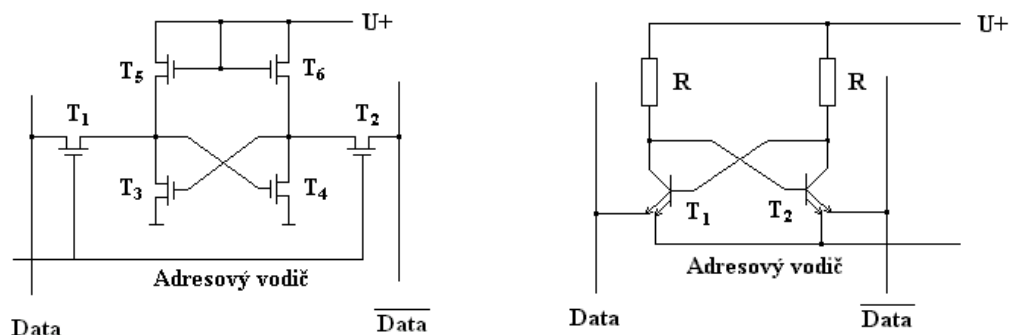
4. Vývoj a využití vnitřních pamětí

V této kapitole se budeme zabývat vývojem a využitím vnitřních pamětí. Rozebereme jednotlivé typy paměti podle použití a jejich vývoj, jak z hlediska historického, tak z hlediska jejich současného stavu v architektuře osobního počítače.

Před samotným popisem vnitřních pamětí, bychom měli širěji definovat rozdíl mezi statickou a dynamickou pamětí.

4.1 Statická a dynamická paměť

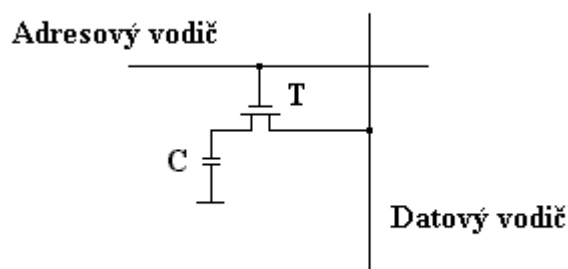
Základ statických unipolárních pamětí tvoří klopný obvod a adresové spínače. Na obrázcích je vidět zapojení statické paměťové buňky pomocí technologie MOS a technologie TTL.



Obr. 2 - zapojení technologií MOS a TTL (vpravo) [7]

Doba zápisu do buňky je proti době čtení delší o nabíjení parazitních kapacit klopného obvodu.[1] Doba přístupu statické paměti je asi 20 ns. Díky této své vlastnosti se statické paměti využívají především jako vyrovnávací paměť cache.

Oproti tomu dynamickou paměťovou buňku tvoří unipolární tranzistory a k záznamu informace se využívá kapacita řídicí elektrody tranzistoru.[1] Na obrázku můžeme vidět principiální zapojení jedné dynamické paměťové buňky.



Obr. 3 - zapojení DRAM technologií TTL [7].

Dynamické paměti mají dobu přístupu okolo 80 ns. Díky svým rozměrům a jednoduchosti zapojení jedné paměťové buňky, se využívá jako operační paměť.

4.2 Porovnání statické a dynamické paměti.

Statická paměť má oproti dynamické paměti výhodu v tom, že má kratší dobu přístupu. Její nevýhodou jsou naopak větší rozměry, větší energetické nároky, problematictější chlazení a menší pořizovací ceny. Z tohoto důvodu se tento typ paměti využívá téměř výhradně pro konstrukci vyrovnávací paměti typu cache.

Dynamická paměť se díky své nižší pořizovací ceně, snadnějšímu způsobu chlazení, miniaturním rozměrům a navzdory větší přístupové době používá například jako operační paměť.

Obě tyto paměti mají své výhody i nevýhody, a proto se každý typ využívá jiným způsobem.

4.3 Operační paměť

Její význam v architektuře osobního počítače je z dnešního hlediska naprosto nepostradatelný neboť výrazně urychluje práci počítače. Slouží jako prostředník mezi HDD a procesorem. Procesor nezískává data přímo z HDD, ale přes operační paměť, která má výrazně kratší přístupovou dobu a tím se celý proces zrychlí.

Důležitými parametry operační paměti jsou rychlost a kapacita, které ovlivňují výkon počítače. V dnešní době se zcela běžně setkáváme s kapacitami operační paměti v řádu GB, ale u starších druhů pamětí byli kapacity řádově desítky a poté stovky MB.

Stejně jako všechny technologie i technologie operační paměti prošla určitým vývojem. Nejprve Nyní se tedy podíváme na operační paměť, princip její funkce, historický vývoj a její využití v architektuře osobního počítače.

V operační paměti jsou uloženy data a programy, se kterými se právě pracuje, a to z důvodu krátké přístupové doby a její poměrně vysoké rychlosti. Je to dynamická paměť typu RWM.

si uvedeme některé typy paměťových modulů: [3]

- **DIP** (Dual in-line package) – byly použity např. u PC XT / AT286 a běžně měli 16 nebo 18 pinů.
- **SIPP** (Single in-line package) – použity u některých 80286 a 80386. Měli 30 pinů.
- **SIMM** (Single in-line memory module) – existovaly 30-ti pinové nebo 72-ti pinové. Používaly se počítačů 80286 – 80486.
- **DIMM** (Dual in-line memory module) – všechny novější paměti (DDR 2, DDR 3) používají tento modul.

Nyní si ukážeme některé technologie operačních pamětí: [3]

- **EDORAM** – její přístupová doba je okolo 60 ns. Je v provedení SIMM a DIMM modulů.
- **SDRAM** – jde o synchronní paměť a oproti EDORAM má vyšší výkon.
- **RDRAM** – nepříliš rozšířené z důvodu velkých nedostatků.
- **DDR** – 184 pinů. Používá modul DIMM. Její pracovní frekvence se pohybuje mezi 200 – 400 MHz a má kapacitu 64 MB – 2 GB.
- **DDR2** – následník DDR. Oproti DDR má vyšší propustnost a vyšší pracovní frekvenci 400 – 800 MHz. Její kapacita může být v rozmezí 128 MB až 8 GB.
- **DDR3** – opět oproti DDR2 vyšší pracovní frekvence 800 - 1600 MHz.

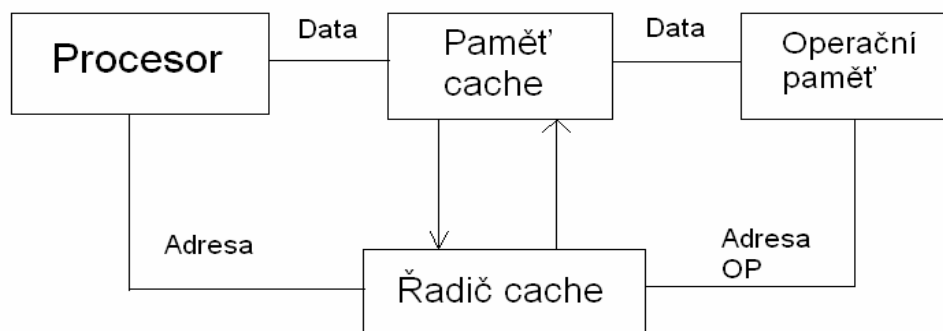
4.4 Paměť Cache

Paměť cache (vyrovnávací paměť) se řadí mezi paměti statické. Používá se pro urychlené práce mezi procesorem a operační pamětí, která je dynamická. Statická paměť má kratší dobu přístupu než paměť dynamická a to přibližně 20 ns. Dynamická paměť má dobu přístupu 80 ns a kratší [2].

Procesor pracuje sekvenčně, což znamená, že zpracovává instrukce podle pořadí adres směrem od nejnižší k nejvyšší. Existují i výjimky v podobě podmíněného skoku či volání podprogramu.

Pokud procesor pracuje s nějakou adresou, je vhodné další následující instrukce přesunout do paměti cache. [2] Procesor pak vybírá instrukce z paměti cache, což má za následek celkové urychlení výpočtu.

Tato paměť se používá i z jiných důvodů. Skoro pětina instrukcí je podmíněný skok (často vlastně mnohonásobně se opakující smyčka [2]), takže procesor může „brát“ data z této rychlé paměti, místo aby je, používal pomalejší operační paměť. Na obrázku je vidět obecné schéma zapojení paměti cache.



Obr. 4 - obecné zapojení funkce paměti cache

Paměť cache se začala poprvé používat u procesoru 80386, ale pouze jako externí paměť. Od procesoru 80486 byla již paměť cache jak interní

s řadičem, tak i externí. Je tu také možnost odpojit paměť cache. Procesor Pentium již má paměť cache oddělenou zvlášť pro data a zvlášť pro program.

Řadič paměti cache je tvořen tzv. asociativní pamětí. Vlastností této paměti je, že vyhledává podle obsahu. Klíčem do této asociativní paměti je adresa [2]. Nehledáme zde jedinou instrukci, ale celý blok instrukcí. Pokud je tato adresa nalezena v paměti cache, pak se její obsah předá do procesoru (tzv. cache line) [2]. V opačném případě se předá obsah adresy z operační paměti do cache, a poté do procesoru. [2]

Paměť cache je schopna splnit 80 – 90 % všech požadavků. V případě použití další paměti je možné splnit 90 % všech zbývajících požadavků.

Z dnešního hlediska rozlišujeme tři úrovně paměti cache: [2]

- **L1** – paměť první úrovně, která pracuje na frekvenci procesoru. Je zapojena mezi procesorem a sběrnicemi.
- **L2** – paměť druhé úrovně, která pracuje na frekvenci základní desky. Je připojena mezi procesorem a pamětí.
- **L3** – paměť třetí úrovně, která taktéž pracuje na frekvenci základní desky. Její používání je omezené.

4.5 Registry

Registry jsou malé paměti integrované přímo na základní desce, ke kterým má procesor přímý přístup. Registry jsou používány při provádění většiny aritmetických i logických operací. [2] Jako ukázkou typického registru můžeme zvolit registr příznaků.

U procesoru 8086 měl ten registr 16 bitů a byly v něm nastaveny stavové indikátory. Hodnota každého stavu mohla být buď H nebo L (1 nebo 0). Nyní si popíšeme tyto stavové indikátory: [2]

- AF – Auxiliary carry flag. Při přenosu bitu z dolní poloviny bytu nabývá hodnoty H. Využívá se pro aritmetické operace v kódu BCD.
- CF – Carry flag. Při přenosu z nejvyššího bytu nabývá hodnoty H. Využívá se pro sčítání nebo odečítání vícebitových dat či rotací. [2]
- OF – Overflow flag. Indikátor přetečení. Pokud délka výsledného operandu má větší délku než je délka cílového registru, pak se tento příznak nastaví na hodnotu H.
- PF – Parity flag. Jestliže máme sudou paritu výsledku, pak se tento příznak nastaví na hodnotu H.
- SF – Sign flag. Jestliže je výsledek provedené operace záporný, pak se tento bit nastaví na hodnotu H.
- ZF – Zero flag. Pokud máme výsledek operace nulový, bude v indikátoru nastavena hodnota H.
- DF – Direction flag – Pokud nabude hodnoty H pak, pak podmíní autodekrementaci registrů SI A DI při zpracování řetězců. To znamená jejich zpracovávání od vyšších adres k nižším. [2]
- IF – Interrupt-enable flag. Pokud je nastaven na hodnotu H, pak umožňuje procesoru přijmout maskovatelný požadavek přerušení.
- TF – Trap flag. Nastavením hodnoty H v tomto příznaku, má za následek přechod procesoru do krokového režimu pro účely ladění.

Processor 8086 měl v 16-ti bitovém registru pouze 9 příznaků. V novějších typech procesorů je tento registr doplněn o některé další „flagy“.

Jako ukázkou dalších registrů bychom pak mohli určit např. segmentové registry, datové registry atd.

4.6 BIOS

Speciálním případem vnitřní paměti je paměť CMOS umístěná přímo na základní desce. Tato paměť je typu ROM a je v ní uložen základní software počítače BIOS (nazývaný také jako „Firmware“). Tato paměť je energeticky nezávislá a jsou v ní uložena veškerá data o vnitřním uspořádání počítače.

4.7 Video paměť

Dalším typem vnitřních pamětí jsou video paměti. Protože dynamické paměti typu RAM (DRAM) nemají natolik široké přenosové pásmo, aby se udržela kvalita barev a rozlišení při adekvátní zobrazovací frekvenci, vyvinula se již zmíněná video paměť. [1]

- **Paměť VRAM** má dva přístupové porty. Jeden slouží pro neustálé obnovování obrazu a druhý slouží pro obnovování dat. Kvůli systému dvou portů se rozšířilo přenosové pásmo a tím se zvýšil i výkon.
- **WRAM** má také jako paměť VRAM dva přístupové porty. Nabízí však širší přenosové pásmo a systém dvojitého vyrovnávání dat, což značně urychluje obnovování obrazu.
- **SGRAM** je obdobou paměti SRAM s tím rozdílem, že paměť SRAM je konstruována pro nejvyšší možnou kapacitu paměti zatímco paměť SGRAM pro co nejvyšší možný přenos dat.

5. Vlastní návrh řešení

V této části bakalářské práce nejprve popíšeme různé vybrané technologie pro výrobu integrovaných logických obvodů používaných pro vnitřní paměti. Dále pak porovnáme vlastnosti těchto technologií a to především jejich rychlost (odezvu) a energetickou náročnost (příkon). Nejprve však rozebereme technologie integrovaných logických obvodů.

5.1 *Integrované logické obvody*

Integrované logické obvody lze rozdělit na 2 skupiny: [9] :

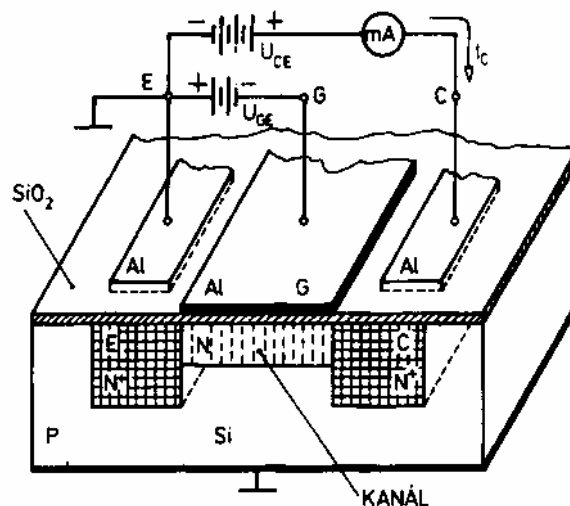
- **Hybridní** obvody v sobě zahrnují aktivní a pasivní součástky, které jsou vzájemně propojeny a zapouzdřeny na jedné nosné destičce (např. operační zesilovač). Jako aktivní součástky nemusí být použity jednotlivé prvky, ale mohou být použity celé monolitické obvody.
- **Monolitické** obvody jsou umístěny na jedné polovodičové destičce, kde jsou umístěny všechny prvky obvodu. Pomocí různých technologických procesů jsou pak prvky na této destičce propojeny a vytvořeny aktivní a pasivní součástky. Tyto obvody se používají ve větší míře než obvody hybridní.

Integrované obvody se liší také stupněm integrace, která závisí na počtu logických obvodů na jednom čipu. Pokud je na čipu méně jak 30 logických obvodů, pak se jedná o obvody s malou integrací (SSI). Jestliže je počet logických obvodů na čipu v rozmezí 30 – 1000, pak se jedná o čipy se střední integrací (MSI). Obvody s více než 1000 prvky se nazývají čipy s velkou integrací (LSI). Do 10 milionů obvodů se jedná o čipy s velmi velkou integrací (VLSI). Pokud je počet obvodů v rozmezí 10 milionů až 1

miliarda pak se jedná o čipy s ultra velkou integrací (ULSI). Nad hranici 1 miliardy se jedná o gigantickou integraci (GSI). [9]

5.2 Technologie s unipolárními tranzistory

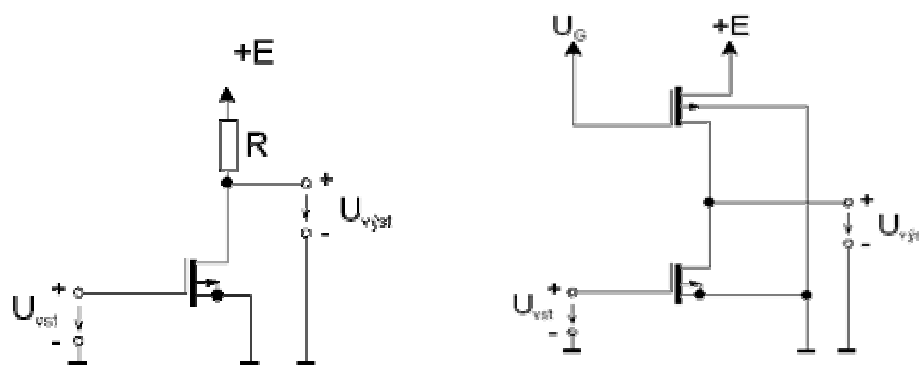
Nyní již přejdeme k technologii systémů MOS, které využívají ve svých logických obvodech vlastností tranzistorů MOSFET. Využívají se především tranzistory s indukovaným kanálem a to z důvodu polaritativy prahového napětí.



Obr. 5 - tranzistor MOSFET [4]

Na obrázku je vidět konstrukce a zapojení unipolárního tranzistoru MISFET (MOSFET) s vodivým kanálem typu N. Do povrchu slabě dotované základní destičky typu P jsou difúzí vytvořeny dva rovnoběžné příkopy se silnou koncentrací příměsí N+, které tvoří emitor a kolektor. Tranzistory s indukovaným kanálem pracují na stejném principu, jen mezi kolektorem a emitorem není vytvořen vodivý kanál. Při nulovém napětí mezi emitorem a bází tedy neprochází žádný proud mezi kolektorem a emitorem. [4]

Základním prvkem této technologií využívajících unipolárních tranzistorů je invertor, který je možné realizovat pomocí odporu nebo dalšího tranzistoru MOS. Technologie využívající unipolární tranzistory mají obecně poměrně nízkou energetickou náročnost. [4]



Obr. 6 - MOS s odporovým (vlevo) a tranzistorovým invertorem [10]

Prahové napětí je v tomto zapojení na ovládací elektrodě unipolárního tranzistoru (většinou značena jako G). Při tomto napětí prochází ovládací elektrodou malý proud (v řádech nA). Abychom dosáhli jednoduššího napájení je nezbytné, uzavřít unipolární tranzistor. Uzavřít ho musíme pomocí napětí stejné polaroty jako má napětí zdroje.

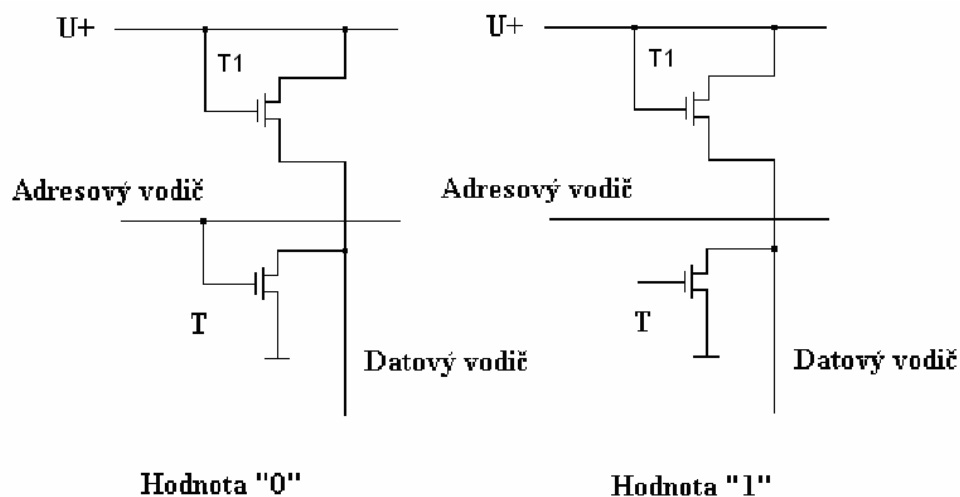
Napájecí napětí technologie MOS bývalo obvykle kolem 12V z důvodu poměrně vysokého prahového napětí (kolem 4V). Aby bylo možné snížit hodnotu napájecího napětí, bylo nezbytné snížit hodnotu prahového napětí. [10]

Aby bylo možné nížit hodnotu prahového napětí vznikly nové technologie (např. technologie MNOS, RMOS, CMOS atd.).

Dynamické paměťové buňky technologii MOS využívají parazitní kapacity mezi řídicí elektrodou a kanálem. Aby bylo možné udržet parazitní kapacitu na potřebné hodnotě, je nutné neustále tuto kapacitu nabíjet. Je-li však tranzistor v sepnutém stavu, tak neustále odebírá ze zdroje proud a tím zvyšuje energetickou náročnost paměťové buňky.

Z důvodu snížení energetické náročnosti se začali využívat unipolární tranzistory s obohacenými kanály typu P a N, což umožnilo realizovat komplementární obvody typu CMOS.

Pomocí unipolárních tranzistorů se vyrábí paměťové buňky jak pevných pamětí (např. ROM), tak i pamětí s měnitelným obsahem (RAM). Na obrázku je znázorněno principiální zapojení jedné pevné paměťové buňky typu ROM pomocí unipolárních tranzistorů (lze ji také zapojit pomocí bipolárních tranzistorů viz dále).



Obr. 7 - Paměťová buňka ROM ve stavu log. 0 (vlevo) a log. 1. [7]

Paměť ROM je předem definovaná výrobcem a uživatel ji tedy nemůže měnit, proto může mít paměťová buňka pouze jeden neměnný stav.

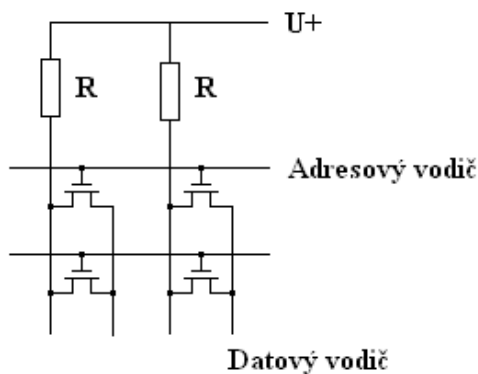
Pokud je řídicí elektroda tranzistoru T spojena s adresovým vodičem, tak je tranzistor otevřený a v této paměťové buňce je tedy permanentně uložena hodnota logická 0. Jestliže řídicí elektroda tranzistoru T není spojena s adresovým vodičem, tak je tranzistor uzavřený a je tedy permanentně ve stavu logická 1. Tranzistor T_1 slouží pouze jako rezistor. Paměť ROM je energeticky nezávislá paměť a proto slouží pouze pro čtení. [7] Další paměťové

buňky, jež se zapojují pomocí technologie MOS jsou paměti *PROM*, *EPROM*, *EEPROM*, *FLASH*.

Paměť **PROM** (Programmable read only memory) je v podstatě stejná jako paměť ROM s tím rozdílem, že zde naprogramování paměťových buněk neprovádí výrobce, ale uživatel, avšak může být naprogramována pouze jednou.

Paměť **EPROM** (Erasable programmable read only memory) je paměť programovatelná uživatelem a má tu výhodu, oproti paměti PROM, že je mazatelná. Mazání této paměti se provádí ultrafialovým zářením.

Paměť **EEPROM** (Electrically erasable programmable read only memory) je paměť velice podobná paměti EPROM s tím rozdílem, že mazání této paměti se provádí elektrickým polem místo ultrafialového záření.



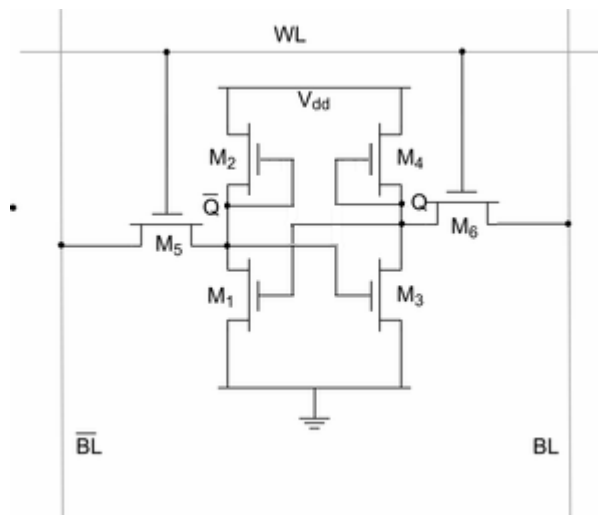
Obr. 8 - Zapojení paměti EEPROM [7]

Na obrázku je vidět zapojení paměti EEPROM pomocí unipolárních tranzistorů. Tyto tranzistory jsou vyrobeny technologií MNOS (Metal Nitrid Oxide Semiconductor).

Paměť **FLASH** má podobnou strukturu jako paměť EEPROM. Tato paměť zažila v posledních letech velký „BOOM“ a prakticky nahradila diskety.

5.2.1 NMOS

Technologie NMOS využívá ve svém zapojení unipolárních tranzistorů s kanálem N. Na obrázku je vidět zapojení jedné statické paměťové buňky technologií NMOS.

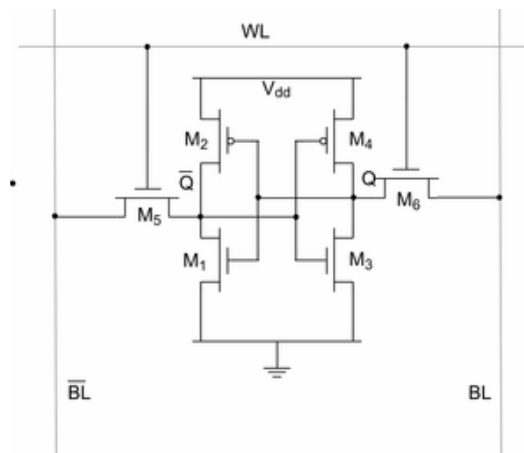


Obr. 9 - Statická paměťová buňka realizovaná technologií NMOS [8]

s ochuzeným kanálem jsou jejich specifické vlastnosti. Těmito tranzistory protéká elektrický proud i v případě nulového budícího napětí a uzavírají se až při záporných hodnotách elektrického napětí. V této technologii slouží tranzistory s ochuzeným kanálem M2 a M4 jako zátěž. V kombinaci s tranzistory M1 a M3 tvoří klopný obvod a zbylé dva tranzistory (M5 a M6) slouží jako vazební zesilovače. Alternativou je technologie PMOS, která využívá unipolárních tranzistorů s vodivým kanálem typu P. Tranzistory s vodivým kanálem typu P jsou však asi 3x pomalejší než tranzistory s vodivým kanálem typu N. Z technologie NMOS vychází technologie HMOS, která využívá stejných principů zapojení, ale Tato buňka je realizována pomocí šesti unipolárních tranzistorů. Dva z těchto tranzistorů, a to tranzistory M2 a M4, mají kanál N ochuzený a zbylé čtyři tranzistory mají kanál obohacený. Důvodem proč se používají tranzistory došlo zde k zmenšení rozměrů tranzistorů. [8]

5.2.2 CMOS

Technologie CMOS využívá jako invertoru unipolární tranzistor opačné polarity a řídicí elektrody obou dvou MOS tranzistorů jsou vzájemně propojeny. Konstrukce této technologie je taková, aby v jedné chvíli byl otevřen pouze jeden unipolární tranzistor. V podstatě tyto tranzistory fungují jako spínače, které přepínají výstup obvodu buď k zemi, nebo na napájecí napětí E. Spotřeba tohoto obvodu v klidovém stavu je téměř nulová. Díky této technologii se zjednodušily obvody, a proto je možné vytvářet pomocí CMOS obvody s velmi velkou integrací. Obvody vytvořené technologií CMOS mohou mít vstupní napětí v rozmezí 3V – 16V. Nejčastěji se však používá takové vstupní napětí, aby obvody této technologie byly slučitelné s obvody TTL. [9]



Obr. 10 - Zapojení statické paměťové buňky technologií CMOS [8]

Toto zapojení statické paměťové buňky je realizováno, stejně jako u NMOS pomocí šesti tranzistorů. Technologie CMOS a NMOS se až tolik neliší. Rozdíl je v jiném zapojení tranzistorů M2 a M4, které i zde slouží jako zátěž. Kvůli záporné zpětné vazbě těchto dvou tranzistorů je urychleno překlápění bistabilního klopného obvodu, za předpokladu, že se zapisuje opačná hodnota než je v daném okamžiku nastavena. Díky specifickému zapojení má technologie CMOS velice důležitou vlastnost, a to že pokud se v daném

okamžiku nemění logická hodnota v buňce, má prakticky nulový odběr. To je dáno tím, že vždy alespoň jeden tranzistor zůstává uzavřený. Tato technologie vyniká především svou nízkou spotřebou. [8]

Obě předešlá zapojení brali v potaz pouze statické paměťové buňky. V počítačích se ale využívají i dynamické paměťové buňky. Ty se mohou taktéž realizovat pomocí unipolárních tranzistorů, avšak s tím rozdílem, že u statických paměťových buněk je logická hodnota uložena pomocí nastavení bistabilního klopného obvodu, zatímco u dynamických paměťových buněk se využívá kapacity kondenzátoru. Celá buňka je sestavená tak, že když přijde na vstup hodnota logická 1, tak se tranzistory otevřou a může se nabít (popř. vybit při čtení) kondenzátor. Kondenzátor se vlivem prostředí a své poměrně malé kapacity sám pomalu vybíjí a tím přechází ze stavu logické 1 do stavu logické 0. Tento efekt není žádoucí, a proto je nutné, aby byly informace neustále obnovovány tzv. refresh. Tato obnova dat je poměrně časově náročná. V následující tabulce jsou uvedeny parametry dvou vybraných technologií CMOS: [9]

Technologie CMOS		
Typ technologie	Odezva (rychlost)	Odběr
CMOS s malým odběrem	95 ns	10 nW
CMOS slučitelná s TTL	50 ns	10 nW

Tab. 1 – parametry technologií CMOS[9]

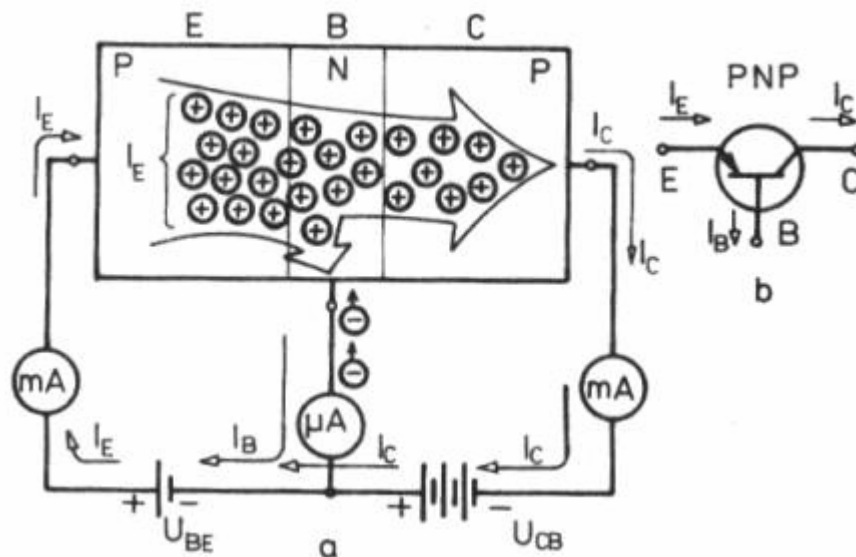
5.2.3 Další technologie unipolárních tranzistorů

Nyní si uvedeme příklady dalších technologií, které využívají ve své konstrukci unipolárních tranzistorů. [9]

- **Technologie HMOS** má základ v technologii NMOS a funguje na stejném principu, a rozdíl je ve zmenšení rozměrů. Tím se dosáhlo větších rychlostí obvodů vyrobených touto technologií, ale snížila se spolehlivost. V návaznosti na technologii HMOS vznikly technologie HMOS II a HMOS III. [9]
- **Technologie SOI a SOS** tato technologie využívá místo křemíkové destičky destičku safírovou. Díky tomu je možné vyrábět obvody s vyšším stupněm integrace. [9]

5.3 Technologie s bipolárními tranzistory

Paměťové buňky systémů bipolárních tranzistorů využívají dva typy těchto tranzistorů, a to buď tranzistory PNP nebo NPN. Obecně vzato jsou technologie využívající bipolární tranzistory rychlejší, ale na úkor zvýšené spotřeby energie. Na obrázku je znázorněna činnost a schematická značka tranzistoru PNP. [4]



Obr. 11 - Schematická značka a princip činnosti tranzistoru typu PNP[4]

Tranzistor na obrázku je konstruován dvěma látkami s nevlastní vodivostí typu P a jednou látkou s nevlastní vodivostí typu N. V látce s nevlastní vodivostí typu P jsou většinové nosiče (majoritní nosiče) náboje díry, zatímco u látky typu N jsou to elektrony. Minoritní nosiče náboje jsou pro látku P elektrony a pro látku N díry. [4] Tranzistor má tři elektrody a to kolektor (C), báze (B) i emitor (E). Ke své činnosti využívá vlastností přechodu P-N.

Asi nejznámější technologií využívající bipolárních tranzistorů je technologie TTL (tranzistorově tranzistorová logika).

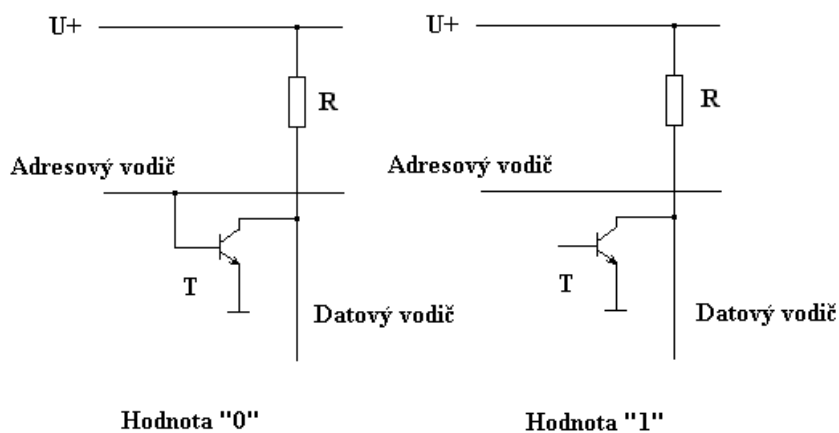
5.3.1 TTL

Jak již bylo řečeno, technologie TTL využívá ke své činnosti bipolárních tranzistorů. Základním prvkem této technologie je hradlo NAND. Specifické pro konstrukci hradla NAND v technologii TTL je využití multiemitorových tranzistorů, který se vyrábí planární technologií. Obvody této technologie používají kladnou logiku. To znamená, že hodnota logická 1 je dána určitou úrovní napětí a hodnota logická 0 je dána nulovou úrovní napětí (popř. velikostí napětí, která je menší než velikost napětí pro logickou 1). Obvody TTL mají stabilní vstupní napětí a to 5V. [9] Nyní si uvedeme některé technické parametry technologie TTL.

Technické parametry	
Odezva (rychlost)	22 ns
Odběr jednoho členu	10 mW

Tab. 2 - Parametry technologie TTL [9]

Teď si uvedeme příklady paměťových buněk vytvořených technologií TTL. Na schématu je vidět zapojení jedné buňky ROM.

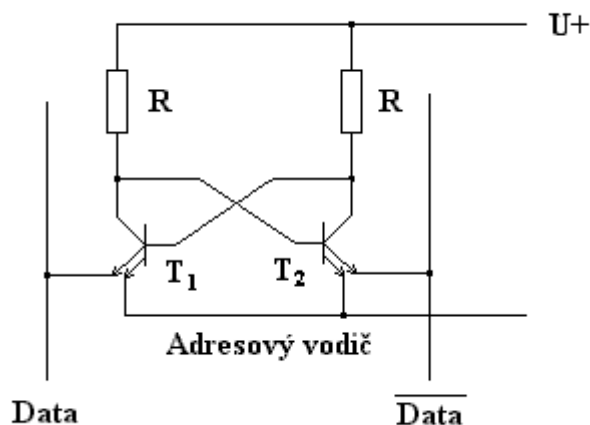


Obr. 12 - Paměťová buňka ROM technologií TTL[7]

Není velký rozdíl ve funkci paměťové buňky zapojené technologií MOS a TTL. Pokud je báze tranzistoru připojena k adresovému vodiči, tranzistor je otevřen a paměťové buňce je uložena hodnota logická 0. Jestliže báze tranzistoru není připojena k adresovému vodiči, tranzistor je uzavřen a v paměťové buňce je uložena hodnota logická 1. [7]

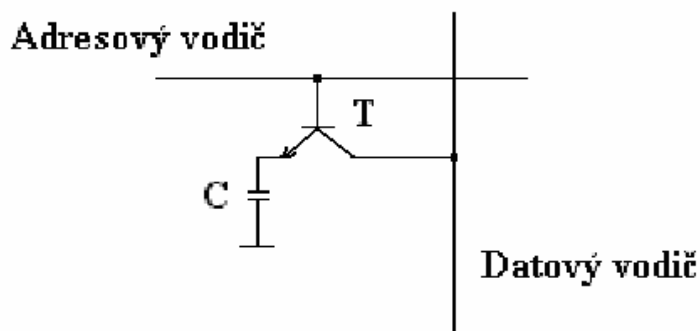
Pomocí bipolárních tranzistorů je možné realizovat také paměť PROM. Tato paměť je statická a také energeticky nezávislá. Tuto vlastnost má společnou s pamětí ROM. Rozdíl v těchto paměťových buňkách je, že paměť ROM je předem definována výrobcem, zatímco paměť PROM programuje uživatel (toto naprogramování je možné provést pouze jednou – není možnost smazání). [7]

Stejně jako bylo možné zapojit paměti ROM a PROM pomocí unipolárních i bipolárních tranzistorů, tak i paměti s náhodným přístupem (RAM), je možné zapojit oběma způsoby. Na následujícím schématu je zapojení jedné paměťové buňky SRAM.



Obr. 13 - SRAM technologií TTL[7]

Kombinace tranzistorů T1 a T2 funguje jako klopný obvod a rezistory R slouží jako zátěž. I dynamická paměťová buňka je realizovatelná technologií TTL. Schéma zapojení jedné paměťové buňky je na dalším obrázku.



Obr. 14 - DRAM technologií TTL[7]

Pokud na přijde po adresovém vodiči signál, způsobí to otevření tranzistoru T a následném nabití kondenzátoru C. Jak již bylo zmíněno, paměti DRAM vyžadují REFRESH, z důvodu samovolného vybíjení kondenzátoru.

5.3.2 STTL

Technologie STTL vychází z technologie TTL, ovšem s tím rozdílem, že ve své konstrukci využívají Schottkyho diodu a Schottkyho tranzistory. Použití těchto prvků urychlilo činnost obvodů vyrobených touto technologií.[9] V následující tabulce jsou uvedeny některé technické parametry technologie STTL.

STTL	
Odezva (rychlost)	5 ns
Odběr jednoho členu	20 mW

Tab. 3 - Technické parametry technologie STTL[9]

5.3.3 ECL

Technologie ECL je jen z části založená na technologii TTL, a proto nejsou tyto obvody přímo slučitelné s obvody TTL. Hlavní odlišnost spočívá v rozdílném způsobu funkce tranzistorů. Zatímco u technologie TTL pracují tranzistory v oblasti jejich nasycení u technologie ECL tomu tak není. V mikropočítačové technice se obvody vyrobené prakticky nevyužívají z důvodu velké spotřeby, ceny a rozměrů obvodů. [9] Na druhou stranu jsou obvody této technologie velice rychlé. Byly vyvinuty i alternativy této technologie, a to ECL 2 a ECL 3. Rozdíly mezi těmito třemi technologiemi je pouze v poměru rychlost/výkon. V tabulce jsou uvedeny některé technické parametry těchto technologií.

Technologie	Odezva (rychlost)	Odběr jednoho členu
ECL	2 ns	25 mW
ECL 2	4 ns	20 mW
ECL 3	1 ns	60mW

Tab. 4 – parametry technologie ECL [9]

5.3.4 Další technologie bipolárních tranzistorů

Nyní si ještě uvedeme některé další technologie, jež využívají ve své konstrukci bipolárních tranzistorů. [9]

- **Technologie DTL** se dnes využívá jen pro speciální účely a jejím základem tohoto systému je hradlo AND s invertorem.
- **Technologie LSTTL** (lower power STTL) je technologie založená na STTL, ale dosáhlo se zde snížení energetické náročnosti na úkor rychlosti.
- **Technologie ASTTL** (advanced STTL) má poměrně malou energetickou náročnost a je jednou z nejrychlejších technologií TTL. Svůj základ má také v technologii STTL.
- **Technologie ALSTTL** (advanced low STTL) je jednou z nepoužívanějších technologií. Je to z toho důvodu, má velice nízkou energetickou náročnost a zároveň obvody této technologie jsou poměrně rychlé.
- **Technologie IIL** (integrated injection logic) tato technologie umožňuje vytvářet čipy s vysokými stupni integrace, protože tranzistory mezi sebou nepotřebují žádnou izolaci. Obvody této technologie mají poměrně nízkou energetickou náročnost.

5.4 Porovnání parametrů vybraných technologií

Nyní provedeme vlastní porovnání vybraných technologií. Hlavními kritérii budou odezva (rychlost) jednoho členu a jeho energetická náročnost (odběr). V následující tabulce jsou znázorněny společně technologie využívající unipolární i bipolární tranzistory.

Název technologie	Odezva (rychlost)	Odběr (příkon)
CMOS	95 ns	10 nW
CMOS slučitelná s TTL	50 ns	10 nW
TTL	22 ns	10 mW
STTL	5 ns	20 mW
ECL	2 ns	25 mW
ECL2	4 ns	20 mW
ECL3	1 ns	60 mW

Tab. 5 – porovnání parametrů vybraných technologií

Z tabulky vyplývá, že z námi vybraných technologií co se týče rychlosti (odezvy) nejlépe vyhověla technologie ECL 3. Naopak nejhůře jsou na tom obvody s unipolárními tranzistory (CMOS).

Naopak z hlediska odběru jednoho členu (příkonu) jsou technologie s unipolárními tranzistory (CMOS) na předních příčkách, zatímco technologie ECL 3 má odběr nejvyšší. V následující tabulce jsou technologie seřazeny dle rychlosti (od nejrychlejší po nejpomalejší) a dle odběru (od nejmenšího po největší).

Odběr (příkon)	Odezva (rychlost)
CMOS	ECL3
CMOS slučitelná s TTL	ECL
TTL	ECL2
STTL	STTL
ECL2	TTL
ECL	CMOS slučitelná s TTL
ECL3	CMOS

Tab. 6 – řazení technologií dle parametrů.

Z této tabulky je patrné, že technologie s unipolárními tranzistory mají obecně nižší spotřebu na úkor snížené rychlosti, zatímco obvody založené na bipolárních tranzistorech mají odběr vyšší za účelem vyšší rychlosti.

6. Závěr

Při volbě technologie pro integrovaný logický obvod je třeba vzít v úvahu, jaké vlastnosti budeme od tohoto obvodu vyžadovat. Každá z technologií má své specifické vlastnosti a různé parametry.

Obecně vzato technologie, které využívají unipolárních tranzistorů, mají menší odběr (spotřebu) a tudíž nízkou energetickou náročnost. Proto jsou tyto technologie užívané v obvodech, od kterých požadujeme nízkou energetickou zátěž.

Technologie s bipolárními tranzistory mají sice obecně vyšší spotřebu, ale zato mají menší odezvu (jsou rychlejší) než technologie s unipolárními tranzistory.

Pokud by nám nezáleželo na ceně výroby a spotřeby obvodu, ale pouze na rychlosti, tak z výše zmíněných technologií by byla nejvhodnější technologie ECL. V osobních počítačích se technologie ECL nevyužívá právě kvůli rychlosti a energetické náročnosti.

Pokud bychom chtěli využít technologii s co nejmenší spotřebou, bylo by vhodné využít k tomu jednu z technologií využívajících unipolárních tranzistorů. Nejvhodnější by v tomto případě bylo využití technologie CMOS, která je slučitelná s obvody TTL.

V osobních počítačích je vhodnější využití technologie CMOS, která má sice menší rychlost, ale daleko menší energetické nároky, což znamená, větší úsporu energie. V dnešní době se u osobních počítačů hledí spíše na nízké náklady na provoz, než na výkon.

7. Seznam Literatury

- 1) HRÁZSKÝ, Josef. *Elektronické počítače*. 1. vydání. Praha: Střední průmyslová škola elektrotechnická, 2005. 184 s.
- 2) HRÁZSKÝ, Josef – ŠKOP, Miroslav. *Programování v JSA*. 1. vydání. Praha: Střední průmyslová škola elektrotechnická, 2006. 144 s.
- 3) PETŘÍČEK, Lukáš. *Vývoj modulů DRAM a operační paměti*. [online] [cit. 27. 1. 2009]. URL: http://www.svethardware.cz/art_doc-53D8F3993772ECFBC1257205005DA285.html.
- 4) MAŽÁTKO, Jan. *Elektronika*. 5. vydání. Praha: Idea servis, 2002. 327s. ISBN 80-85970-42-2
- 5) HORÁK, Jaroslav. *Hardware: učebnice pro pokročilé*. 4. aktualizované vydání. Praha: Computer Press, 2007. 360 s. ISBN 978-80-251-1741-5.
- 6) MESSMER, H. - DEMBOWSKI, K. *Velká kniha hardware*. 1. vydání. Praha: Computer Press, 2005. 1224 s. ISBN: 80-251-0416-8
- 7) PELIKÁN, Jaroslav. *Vnitřní paměti*. [online] [cit. 23. 3. 2010]. URL: <http://www.fi.muni.cz/usr/pelikan/ARCHIT/TEXTY/INTPAM.HTML>
- 8) TIŠNOVSKÝ, Pavel. *Statické a dynamické paměti*. [online] [cit. 10. 3. 2010]. URL: <http://www.root.cz/clanky/staticke-a-dynamicke-pameti>
- 9) *Technologie číslicových obvodů*. [online] [cit. 12. 3. 2010]. URL: <http://poli.cs.vsb.cz/edu/arp/down/technologieco.pdf>
- 10) *Integrované logické systémy* [online] [cit. 23. 3. 2010]. URL: http://www.vossost.cz/svab/elektross/skripta/kap6/6_2_4.html