



Elektronika a Mikroelektronika A4B34EM

10. přednáška

- Paměti



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Paměti

- Paměť RAM (Random Access Memory)
 - Protiklad paměti se sériovým přístupem (t.j. např. páska)
 - Statická RAM (Static Random Access Memory -SRAM)
 - Data uložena dokud neodpojíme napájení Vdd
 - 6-tranzistorů na buňku
 - Rychlejší
 - Diferenciální
 - Dynamické RAM (Dynamic Random Access Memory -DRAM)
 - Vyžadují periodickou obnovu dat
 - Menší plocha (1 nebo 3 tranzistory)
 - Pomalejší
 - Výstup není diferenciální
 - Umožňují čtení i zápis
- Paměť ROM (Read-Only Memory ROM)



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Vysvětlení zkratk

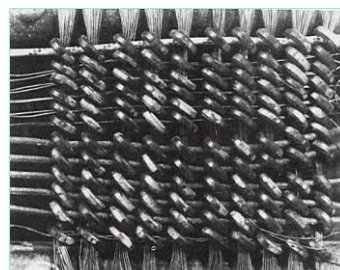
- **FIFO** first-in first-out
- **LIFO** last-in first-out
- **CAM** contents-addressable memory (associative memory)
- **NVRWM** nonvolatile read-write memory
- **EPROM** erasable programmable read-only memory
- **E²PROM** electrically erasable read-only memory
- **RAM** random access memory
- **SRAM** static RAM
- **DRAM** dynamic RAM



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



- Feritová paměť z IBM 405



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Klasifikace polovodičových pamětí

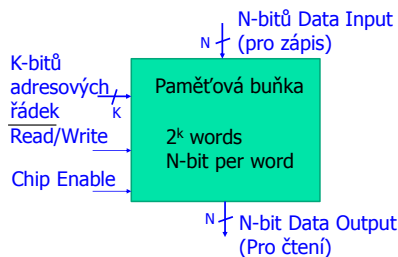
Paměti RWM		Nevolatilní Read-Write Memory	Paměti ROM
S náhodným přístupem	Se sériovým přístupem	EPROM E ² PROM FLASH	Programované maskou Programovatelné (PROM)
SRAM DRAM	FIFO LIFO Posuvný registr CAM		



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Základní Architektura pamětí



- Příklad: 2MB paměť, adresována po bytech
 - $N = 8$ (kuli adresování bytů)
 - $K = 21$ (1 slovo (word) = 8-bitů)

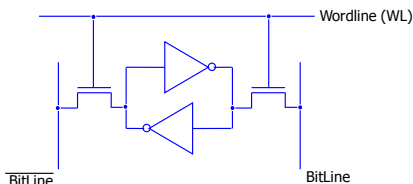


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Statické paměti

Static Random Access Memory (SRAM)



- Typická konstrukce jednoho bitu je pomocí 6ti tranzistorů (6T SRAM Cell)
- Při čtení jsou přístupové linky (Bitline) „před-nabity“ na Vdd (log.1) a teprve potom je WL=1
- Při zápisu je na linku Bitline přivedena logická hodnota, kterou chceme zapsat a potom je nastaven WL=1

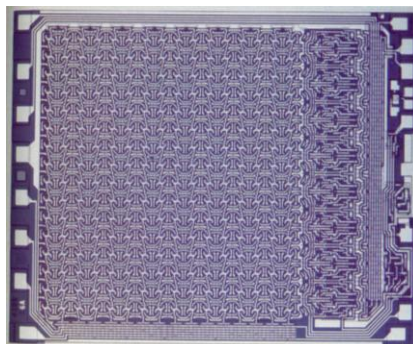


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První 256-Bitová Statická RAM - 1970

Fairchild 4100



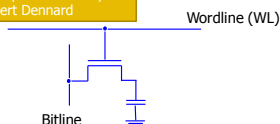
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Dynamické paměti

Dynamic Random Access Memory (DRAM)

Vynálezcem dynamické paměti RAM byl v roce 1967 Robert Dennard



- Paměťová buňka obsahuje pouze **1-tranzistor** a kapakitor
- Při zápisu je na bitline nastavena logická hodnota, kterou chceme zapsat a potom se nastaví WL=1
- Při čtení je přístupová linka (Bitline) „před-nabita“ na Vdd (log.1) a potom se nastaví WL=1
- Logická informace se s časem degraduje (vybíjení kapakitoru). Proto tyto paměti vyžadují tzv. refreshing

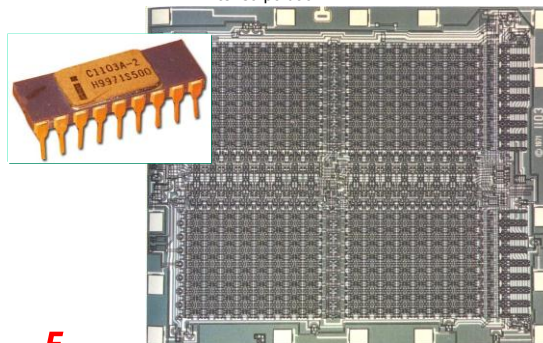


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První 1,024 Bitový paměťový čip - 1970

Intel Corporation DRAM



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Velikosti pamětí

- Kapacita paměti je popsána jako:

■ # adres x Velikost slova

■ Příklady:

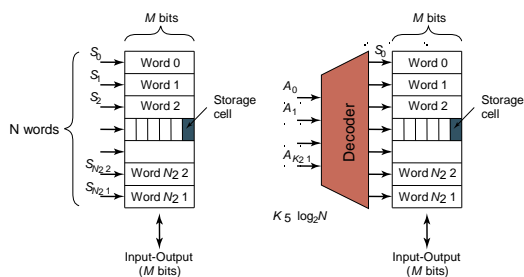
Paměť	# adres	# datových linek	# adr. linek	# bytů
1M x 8	1,048,576	8	20	1 MB
2M x 4	2,097,152	4	21	1 MB
1K x 4	1024	4	10	512 B
4M x 32	4,194,304	32	22	16 MB
16K x 64	16,384	64	14	128 KB



Jiří Jakovenko – katedra mikroelektroniky ČVUT-FEL



Architektura pamětí: Dekodéry



Architektura pro N x M paměť
Má mnoho adresových signálů:
N slov == N adresových vodičů

Dekodér redukuje počet adresových vodičů
 $K = \log_2 N$



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Iří Jakovenco – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FFI



Il'ij Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FFI



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



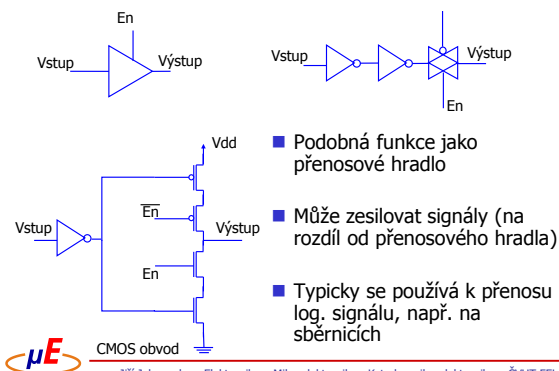
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FFI



11. říj. 2017 11:00:00 A0
 Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FFI



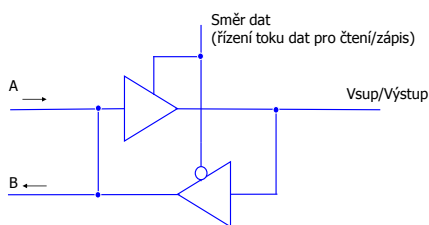
Třístavový Buffer



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



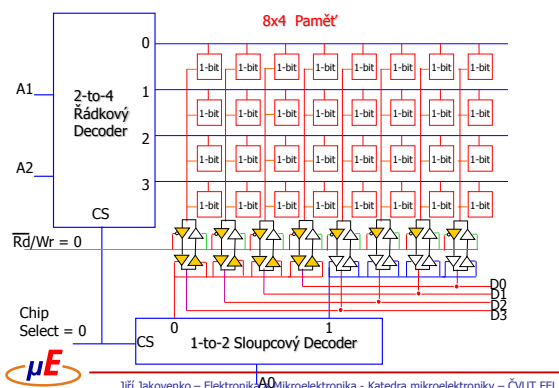
Dvousměrná sběrnice s užitím třístavového Bufferu



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



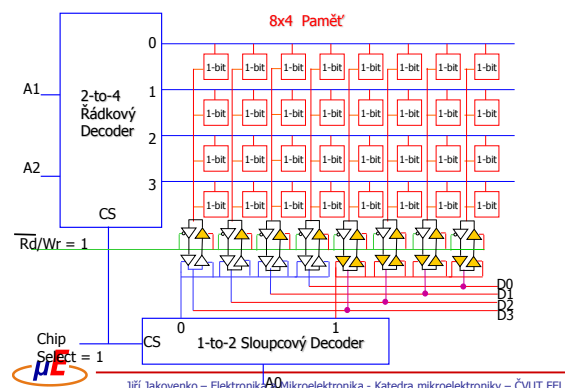
Paměť – čtení/zápis



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Paměť – čtení/zápis

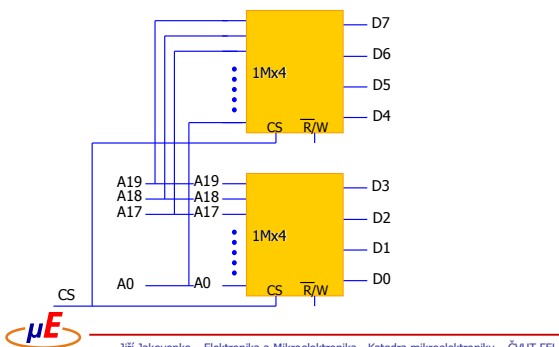


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Hierarchické spojování pamětí

- Hierarchie 1Mx8 použitím 1Mx4 paměťových čipů

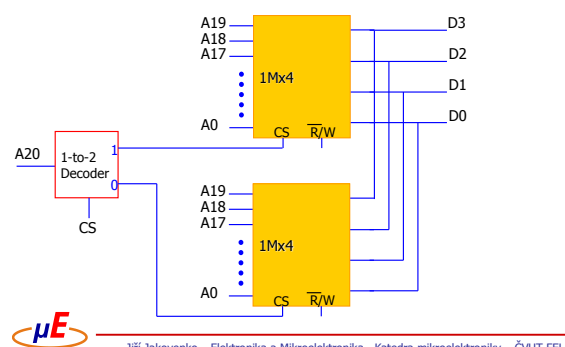


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Hierarchické spojování pamětí

- Hierarchie 2Mx4 použitím 1Mx4 paměťových čipů

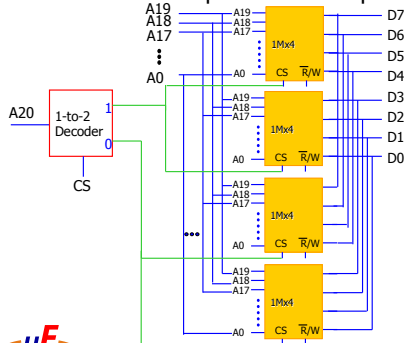


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Hierarchické spojování pamětí

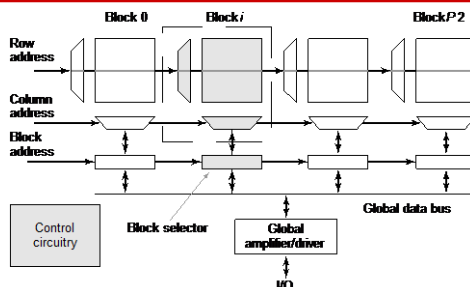
- Hierarchie 2Mx8 použitím 1Mx4 paměťových čipů



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Hierarchické spojování pamětí



Výhody:

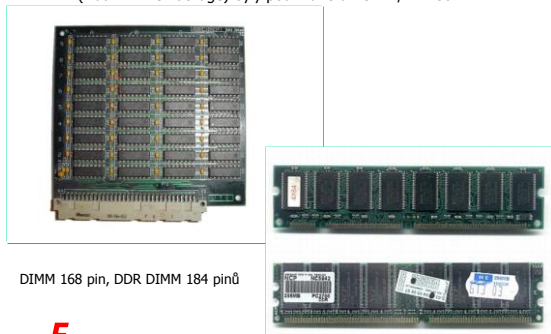
- Kratší doba zápisu uvnitř bloku
- Aktivuje se pouze 1 paměťový blok => úspora energie



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



- DIP (Dual In-line Package) byly používány u PC XT / AT286



DIMM 168 pin, DDR DIMM 184 pinů

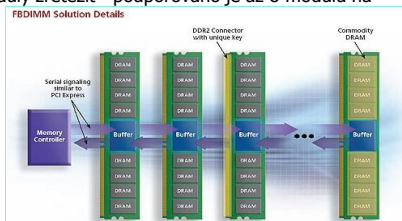


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Fully Buffered DIMM (FB-DIMM)

- Je založená na principu rychlého sériového rozhraní, které spojuje veškeré moduly (na jednom paměťovém kanálu).
- Na každém modulu paměti je přidán AMB čip (Advanced Memory Buffer), který zajišťuje spojení s řadičem paměti, případně s dalším modulem.
- Takto lze moduly zřetěžit - podporováno je až 8 modulů na kanál.



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Druhy pamětí

- ROM
- SRAM
- DRAM
- EPROM
- EEPROM
- FLASH

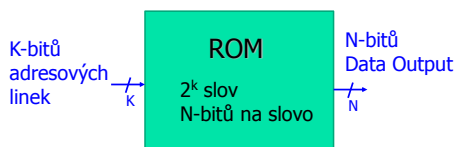


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Paměť ROM Read Only Memory (ROM)

- Informace je uchována permanentně
- Tzv. Non-volatile memory – nepotřebuje napájení k uchování informace
 - Odpojení od napájení nezničí uchované informace

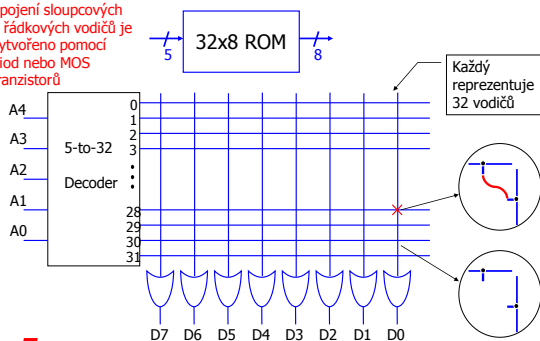


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



32 x 8 ROM

Spojení sloupkových a řádkových vodičů je vytvořeno pomocí diod nebo MOS tranzistorů

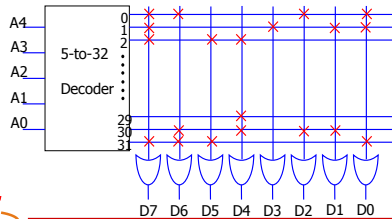


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Naprogramování 32x8 ROM paměti

A4	A3	A2	A1	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1
0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0
...
1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Příklad: Vyhledávací tabulka

- Navrhněte Vyhledávací tabulku pro funkci $F(X) = X^2$
- Použijte ROM paměť

X	$F(X)=X^2$
0	0
1	1
2	4
3	9
4	16
5	25
6	36
7	49



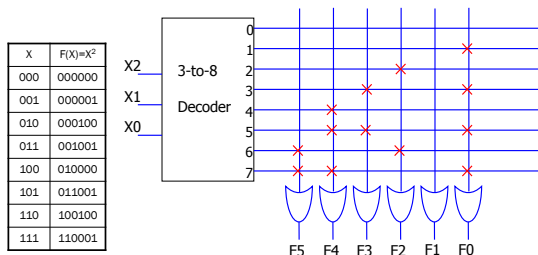
X	$F(X)=X^2$
000	000000
001	000001
010	000100
011	001001
100	010000
101	011001
110	100100
111	110001



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Vyhledávací tabulka pro mocninu použitím ROM paměti



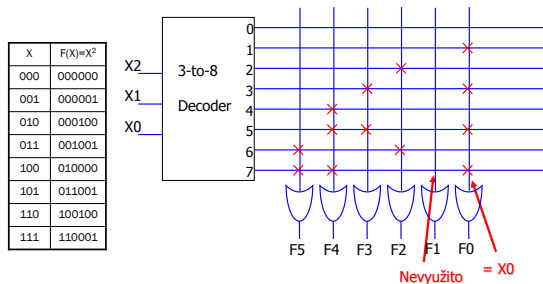
X	$F(X)=X^2$
000	000000
001	000001
010	000100
011	001001
100	010000
101	011001
110	100100
111	110001



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Vyhledávací tabulka pro mocninu použitím ROM paměti



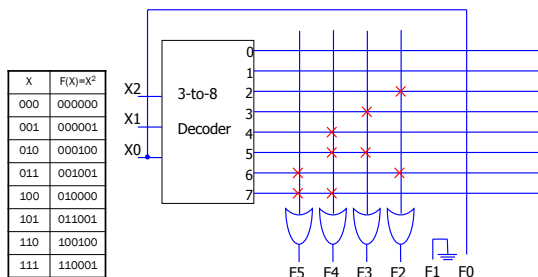
X	$F(X)=X^2$
000	000000
001	000001
010	000100
011	001001
100	010000
101	011001
110	100100
111	110001



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Vyhledávací tabulka pro mocninu použitím ROM paměti



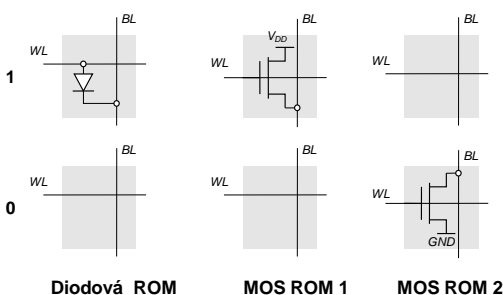
X	$F(X)=X^2$
000	000000
001	000001
010	000100
011	001001
100	010000
101	011001
110	100100
111	110001



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Obvodová realizace ROM pamětí



Diodová ROM

MOS ROM 1

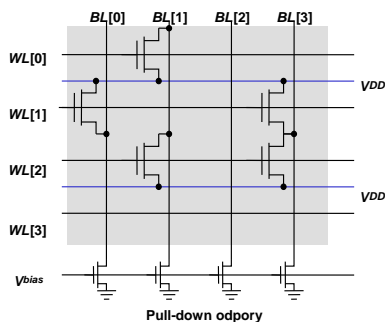
MOS ROM 2



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



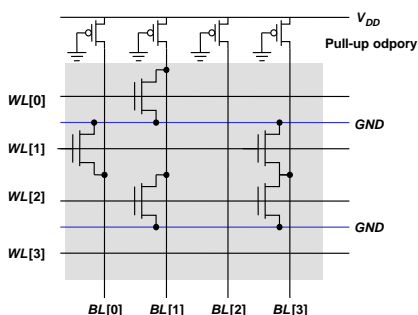
MOS OR ROM



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



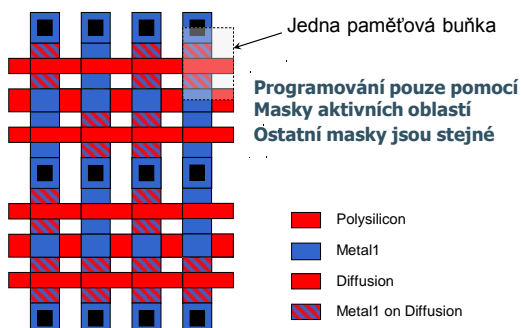
MOS NOR ROM



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



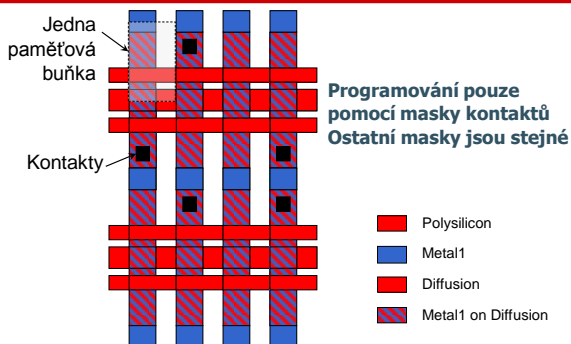
MOS NOR ROM Layout



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



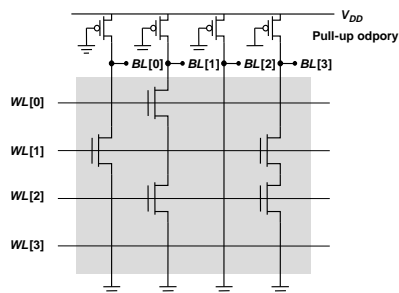
MOS NOR ROM Layout



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



MOS NAND ROM

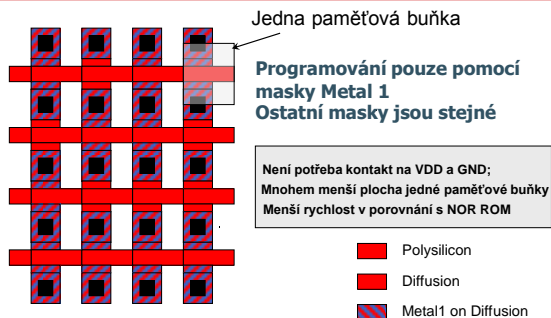


Všechny vertikální linky (word) jsou na logické jedničce kromě vybrané řádky

Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



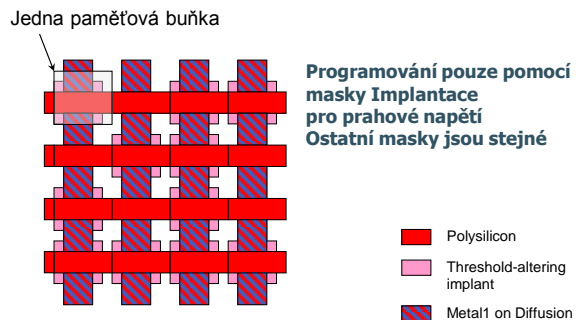
MOS NAND ROM Layout



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



NAND ROM Layout

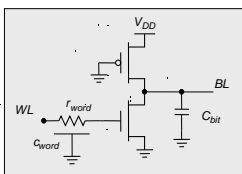


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Náhradní obvodový model pro MOS NOR ROM

Model pro NOR ROM



- Parazitní vlivy pro Word line**
 - Kapacita vodiče a Hradla tranzistoru
 - Parazitní odpor Hradla tranzistoru (polysilicon)
- Parazitní vlivy pro Bit line**
 - Odpor není dominantní (metal)
 - Drain a Gate-Drain kapacita

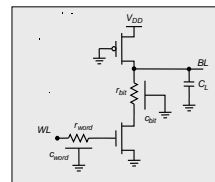


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Náhradní obvodový model pro MOS NAND ROM

Model pro NAND ROM



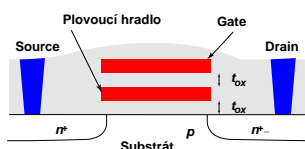
- Parazitní vlivy pro Word line** (podobné jako pro NOR ROM)
 - Kapacita vodiče a Hradla tranzistoru
 - Parazitní odpor Hradla tranzistoru (polysilicon)
- Parazitní vlivy pro Bit line**
 - Dominantní je odpor kaskádně zapojených tranzistorů
 - Drain/Source a Gate-Drain kapacita



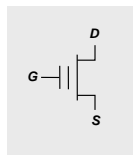
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Struktura EPROM



Řez tranzistorem



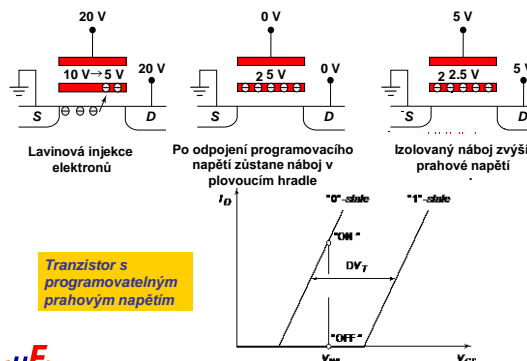
Schematický symbol



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



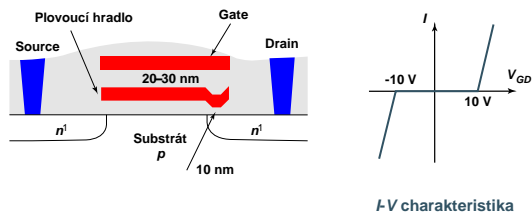
Programování plovoucího hradla



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



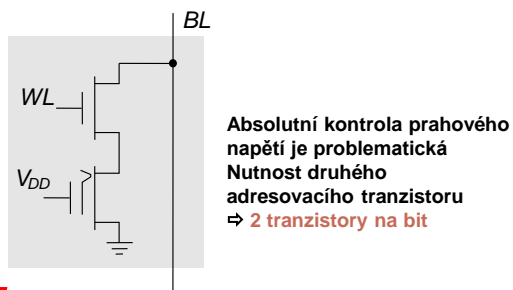
Struktura EEPROM



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



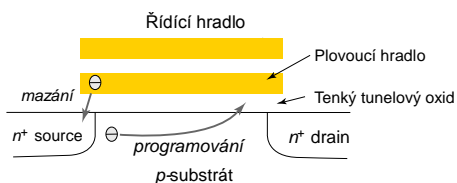
Jedna buňka EEPROM



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Flash EEPROM



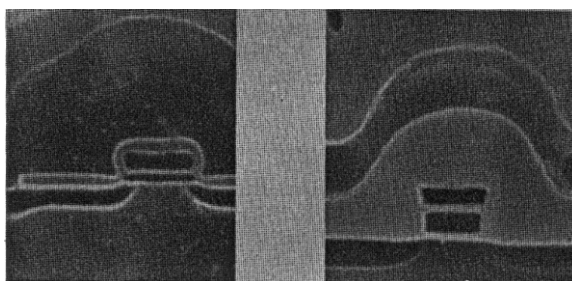
Mnoho dalších možností ...



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Fotografie reálné struktury



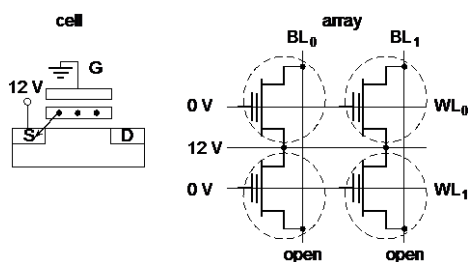
Flash

EPROM

Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



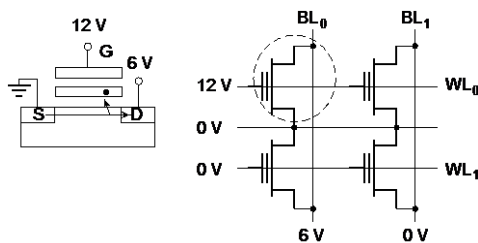
Činnost paměti NOR Flash — Mazání



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



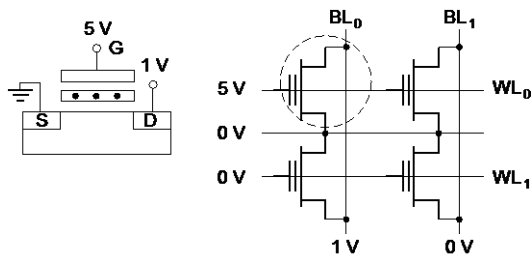
Činnost paměti NOR Flash — Zápis



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



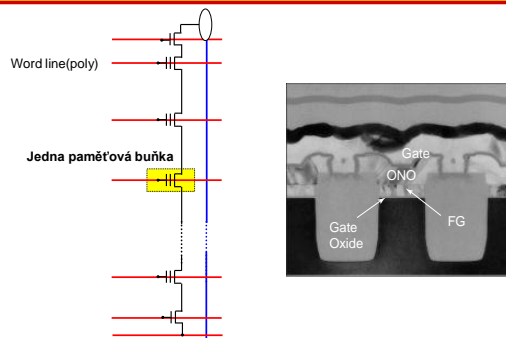
Činnost paměti NOR Flash - čtení



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Paměť NAND Flash



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Paměti Read-Write (RAM)

□ STATICKÉ (SRAM)

Data jsou uchována až do vypnutí napájení
Velké (6 tranzistorů/buňka)
Rychlé
Diferenciální

□ DYNAMICKÉ (DRAM)

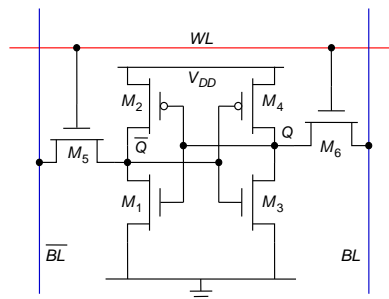
Nutnost periodického obnovení informace
Malé (1-3 tranzistory/buňka)



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



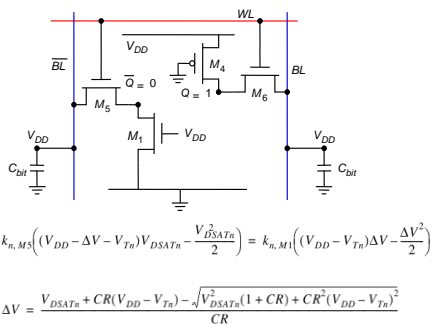
6ti-tranzistorová CMOS SRAM buňka



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



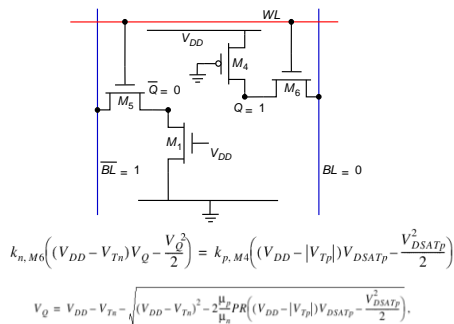
CMOS SRAM - čtení



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



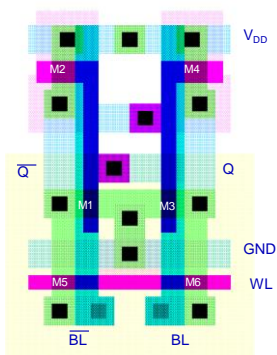
CMOS SRAM - zápis



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



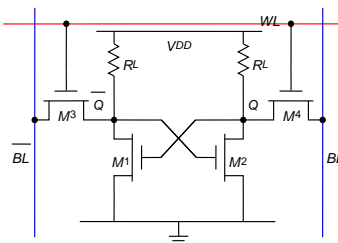
6T-SRAM — Layout



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



SRAM s odporovou zátěží



Statické energetické ztráty – vyšší



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



SRAM porovnání vlastností

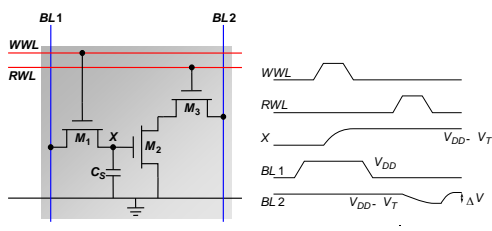
	Complementary CMOS	Resistive Load	TFT Cell
Number of transistors	6	4	4 (+2 TFT)
Cell size	58.2 μm^2 (0.7- μm rule)	40.8 μm^2 (0.7- μm rule)	41.1 μm^2 (0.8- μm rule)
Standby current (per cell)	10^{-15} A	10^{-12} A	10^{-13} A



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



3-Tranzistorová DRAM paměť



Čtení je nedestruktivní

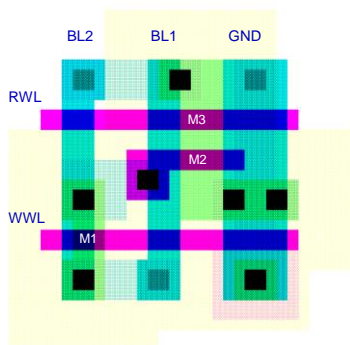
Hodnota napětí v bodě X při zápisu na log. "1" = $V_{WWL} - V_{TN}$



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



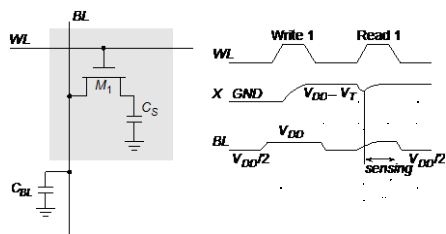
3T-DRAM — Layout



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



1-Tranzistorová DRAM Paměť



Zápis: Kapacitor CS je nabíjen či vybíjen při WL = 1

Čtení: Náboj na kapacitoru CL je redistribuován mezi CL a CBL

$$\Delta V = V_{BL} - V_{PRE} = (V_{BIT} - V_{PRE}) \frac{C_{S,PRE}}{C_{S,PRE} + C_{BL}}$$

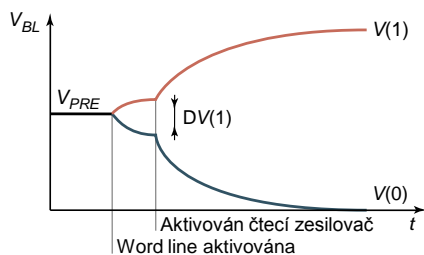
Úbytek napětí při čtení je malý; typicky okolo 250 mV.



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



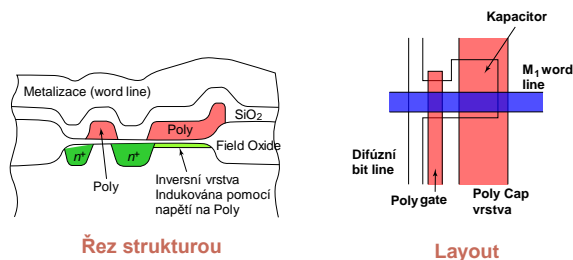
Princip činnosti čtecího zesilovače



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



1-T DRAM Paměť



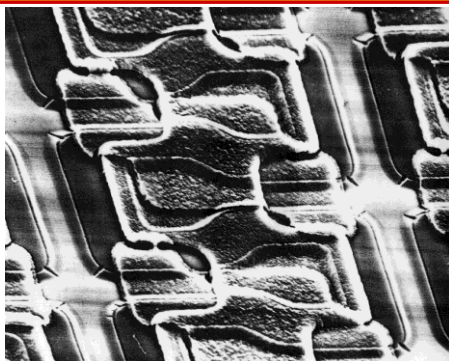
Kapacitor je mezi difúzní a Poly vrstvou
Zabírá velkou plochu



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



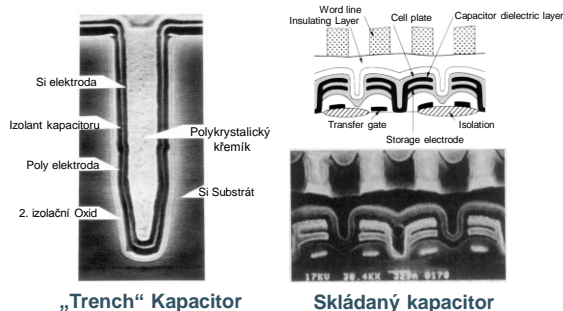
1-T DRAM Paměť pod mikroskopem



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Pokročilá 1T DRAM paměťová struktura



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Programovatelné logické obvody PLD

Základem je univerzální logická struktura (matice AND propojená s maticí OR)
Logická funkce je vytvořena pomocí programovatelných propojek, jejichž přerušením se odpojí logické signály.

Velice rychlý návrh a realizace

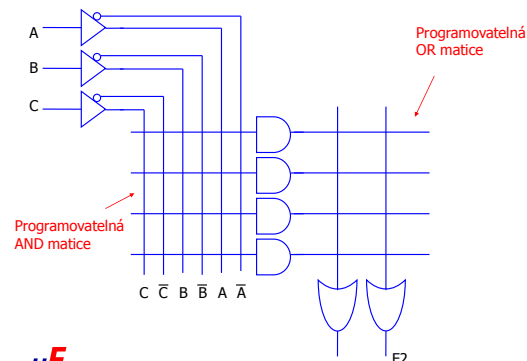
- **PROM** – Programmable Read Only Memory
- **PAL** – Programmable Array Logic
- **PLA** – Programmable Logic Array
- **FPGA** – Field programmable Gate Array



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



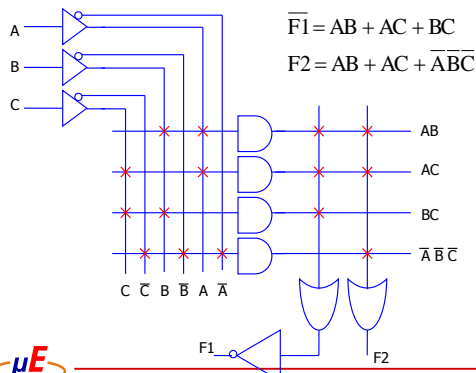
Programmable Logic Array (PLA)



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Příklad PLA



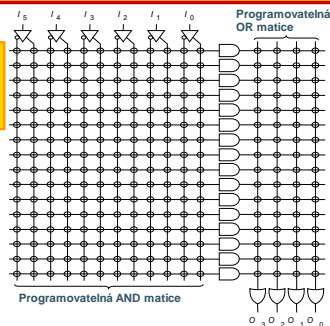
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



PLA – Programmable Logic Array

- Velká flexibilita avšak pro většinu aplikací nepraktická
- Použití – složité stavové automaty

- ✦ Programovatelná propojka
- ✦ Fixní propojka

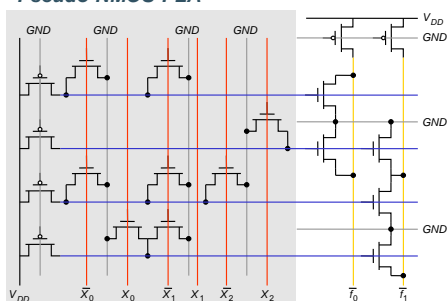


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



PLA – Programmable Logic Array

Pseudo-NMOS PLA



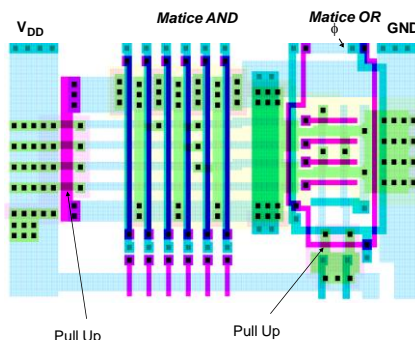
Matice AND

Matice OR

Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



PLA Layout



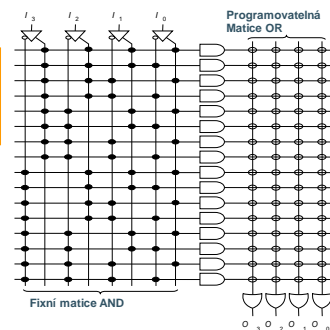
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



PROM – Programmable Read Only Memory

Výhodné pouze tehdy, užívají-li se všechny kombinace vstupní matice. Např. převodníky kódů, stavové automaty

- ✦ Programovatelná propojka
- ✦ Fixní propojka



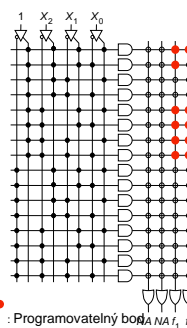
PROM



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



PROM - Programování

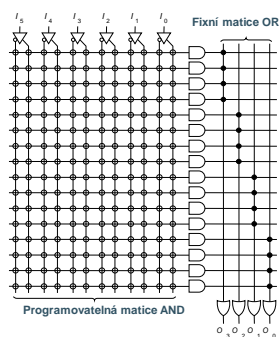


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



PAL – Programmable Array Logic

Rozměr matice AND je mnohem menší, než v případě PROM



PAL

Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL