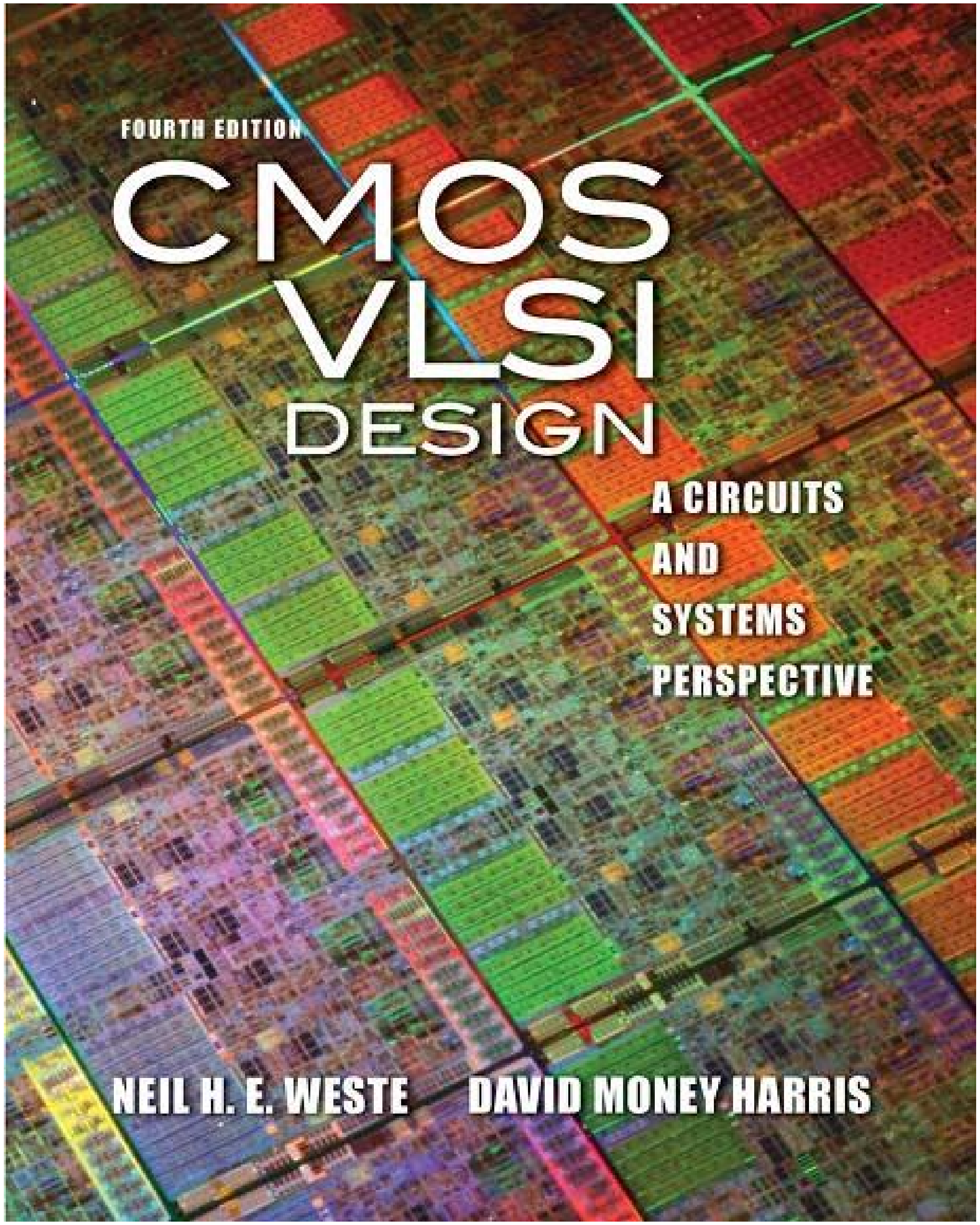


Introduction

About The Slides

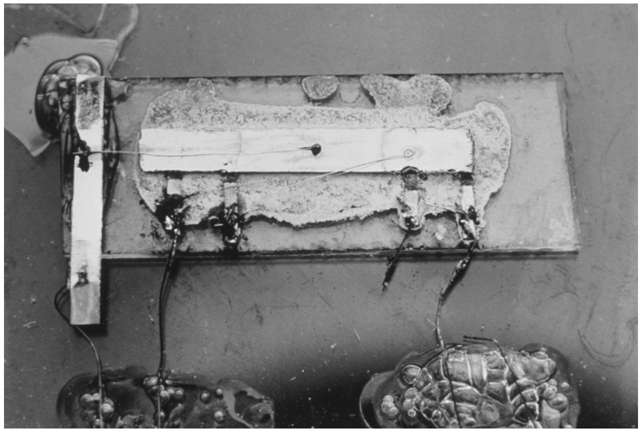
- Lecture notes ©2011 David Money Harris:
- These notes may be used and modified for educational and/or non-commercial purposes so long as the source is attributed.
- This is precisely what I have done (MS)

Outline

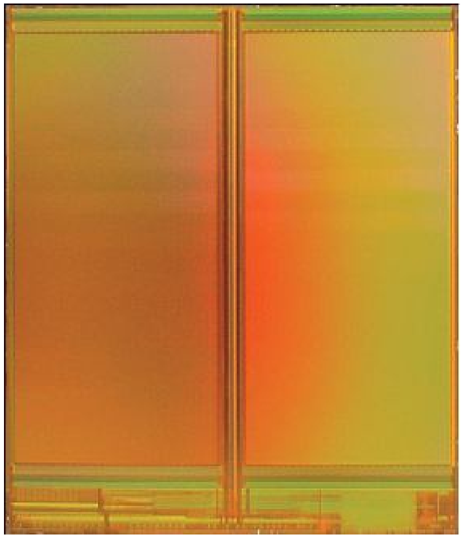
- A Brief History
- Introduction to MOSFETs
- Introduction to CMOS Gates
- Introduction to levels of abstraction

A Brief History

- 1958: First integrated circuit
  - Flip-flop using two transistors
  - Built by Jack Kilby at Texas Instruments
- 2010
  - Intel Core i7 μprocessor
    - 2.3 billion transistors
  - 64 Gb Flash memory
    - > 16 billion transistors



Courtesy Texas Instruments



[Trinh09]

چرا مهم ← برخی توان‌ها کوچک میشه برخی توان‌ها بزرگ ← طراح خوب مداری میتونه نشان دهد مجبور برنده باشیم

Growth Rate

- 53% compound annual growth rate over 50 years
  - No other technology has grown so fast so long
- Driven by miniaturization of transistors
  - Smaller is cheaper, faster, lower in power (if designed carefully!)
  - Revolutionary effects on society

میخوایم نسبت P رو ثابت نگه داریم

dynamic Power → $P_d = fCV_{DD}^2$ → $V_{DD} \xrightarrow{\frac{1}{\sqrt{2}}}$ کوچک میشه step بالایی

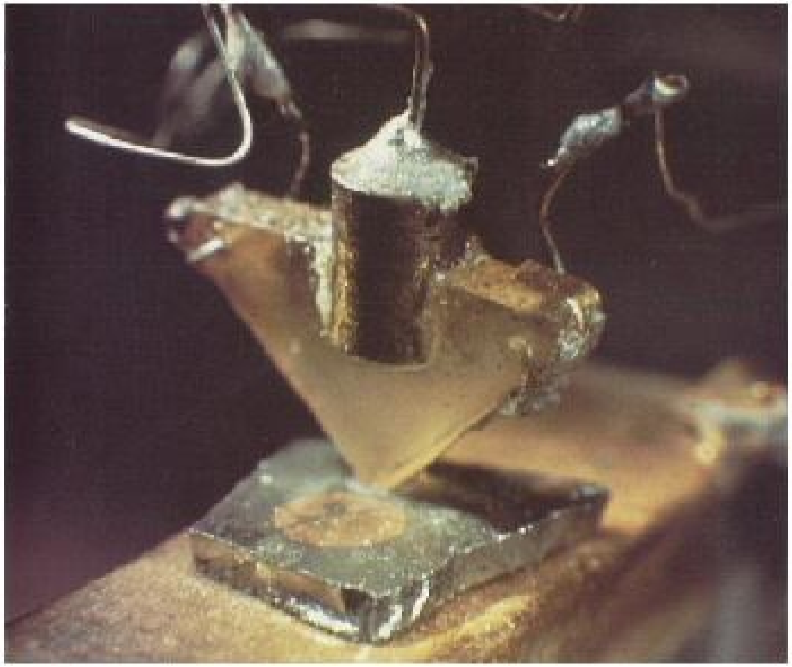
static Power → کوچک شدن ترانزیستور بزرگ‌تر میشه

short circuit Power → rise time, fall time, frequency

فرکانس کاری میاد ← rise & fall رو کوچک میکنیم ولی فرکانس کاری بزرگ میشه

Invention of the Transistor

- Vacuum tubes ruled in first half of 20th century
  Large, expensive, power-hungry, unreliable
- 1947: first point contact transistor
  - John Bardeen and Walter Brattain at Bell Labs
  - See *Crystal Fire*
    by Riordan, Hoddeson



AT&T Archives.
Reprinted with
permission.

امکان فشرده سازی کم

Transistor Types

- Bipolar transistors

باید جریان بدی تا جریان بگیری
که جریان یعنی توان

  - npn or pnp silicon structure
  - Small current into very thin base layer controls large currents between emitter and collector
  - Base currents limit integration density
- Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors
  - nMOS and pMOS

که براساس میدان کار میکنه و نه جریان

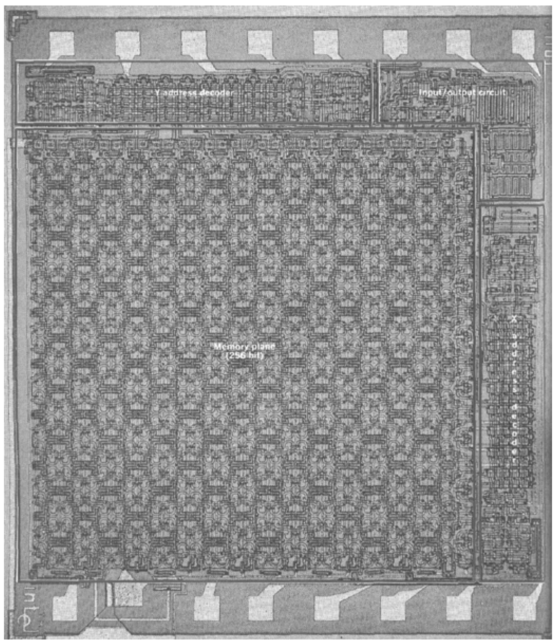
  - Voltage applied to insulated gate controls current between source and drain

و نه جریان
مصرف توان کم نسبت به بایپولار داره

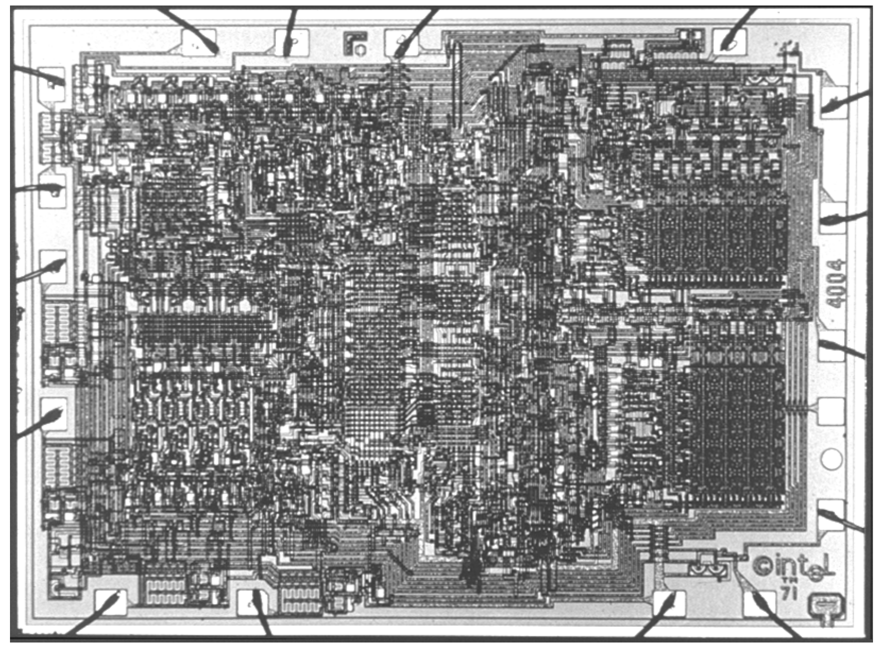
  - Low power allows very high integration

MOS Integrated Circuits

- 1970's processes usually had only nMOS transistors
  - Inexpensive, but consume power while idle



[Vadasz69]



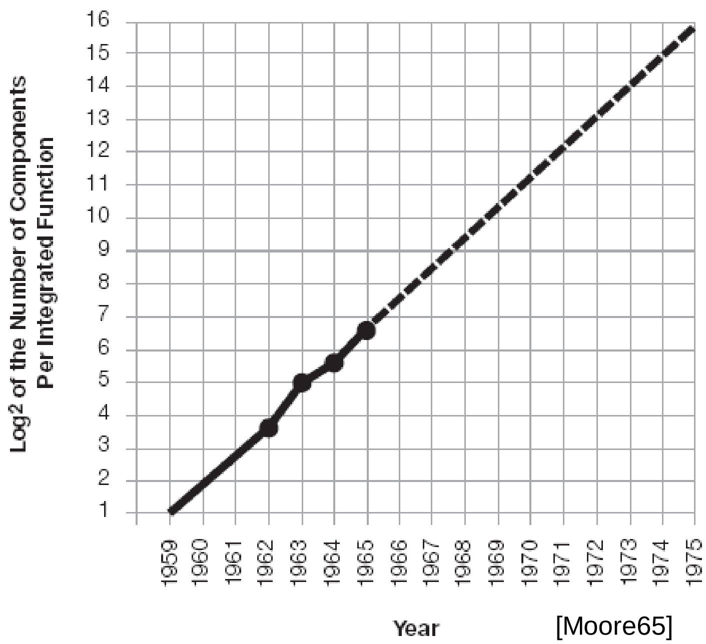
Intel Museum.

Intel 1101 256-bit SRAM   Intel 4004 4-bit μProc

- 1980s-present: CMOS processes for low idle power

Moore's Law: Then

- 1965: Gordon Moore plotted transistor on each chip
  - Fit straight line on semilog scale
  - Transistors counts have doubled every 26 months



[Moore65]

Electronics Magazine

<u>Integration Levels</u>

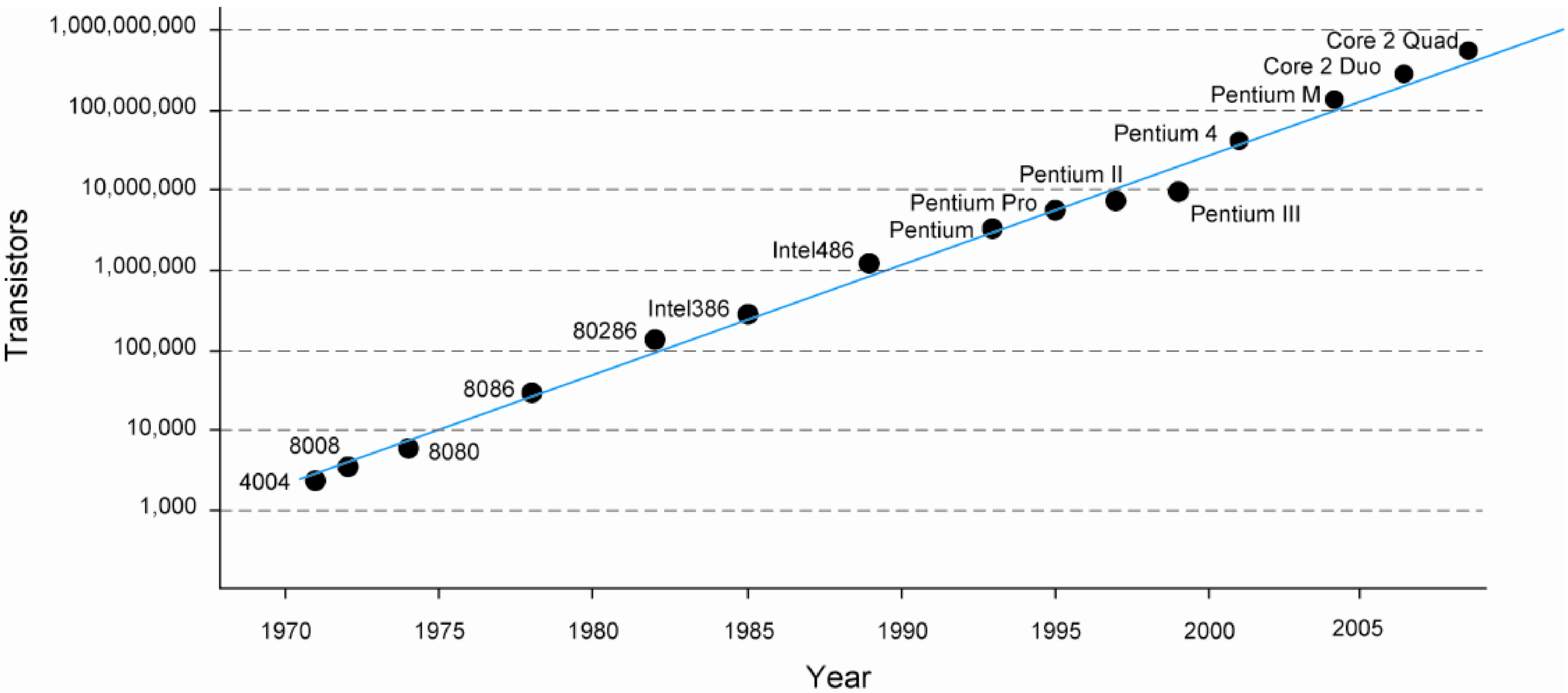
SSI: 10 gates

MSI: 1000 gates

LSI: 10,000 gates

VLSI: > 10k gates

And Now…

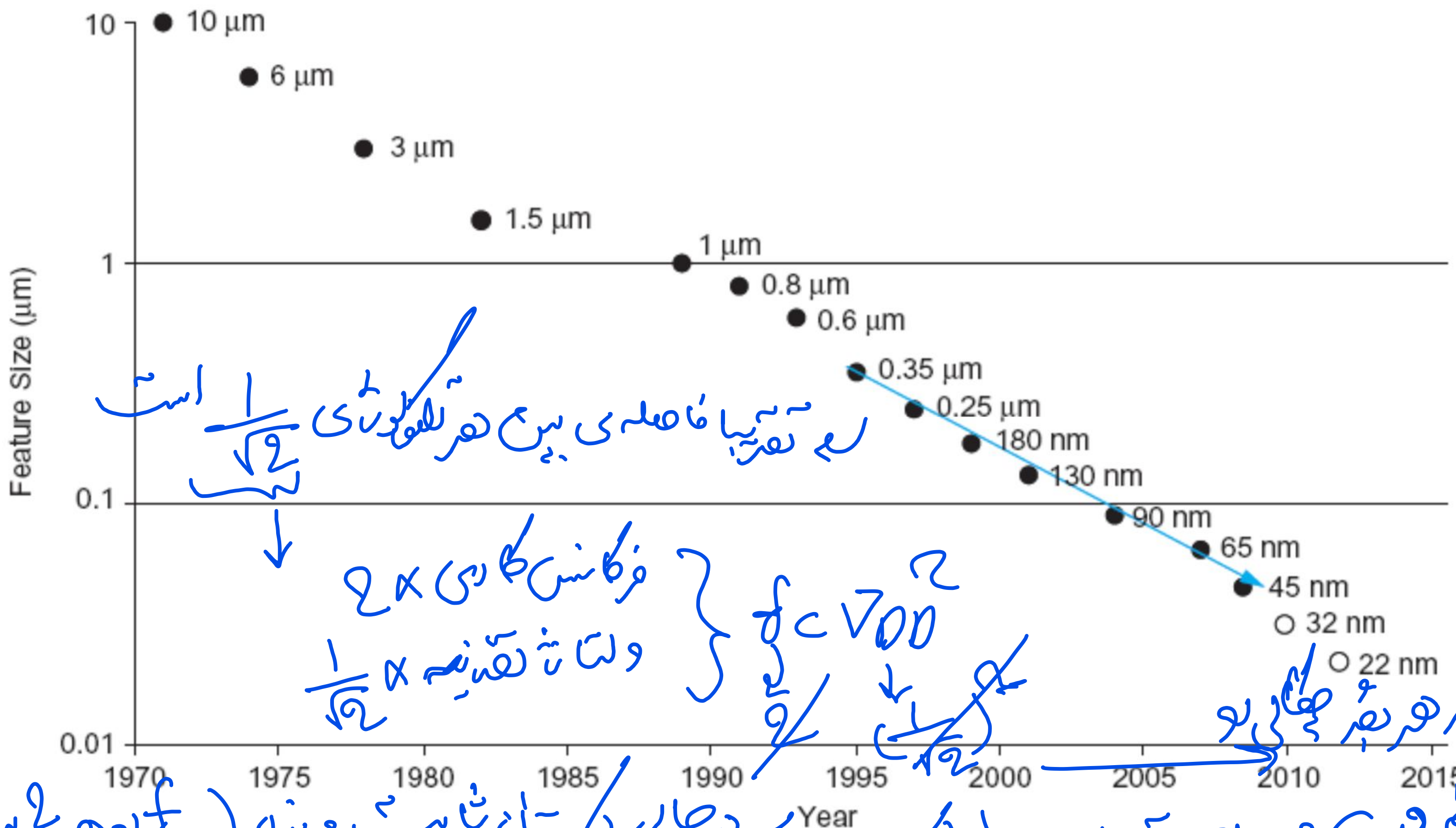


1,000,000,000
100,000,000
10,000,000
1,000,000
100,000
10,000
1,000
Transistors
4004
8008
8080
8086
80286
Intel386
Intel486
Pentium
Pentium Pro
Pentium II
Pentium III
Pentium 4
Pentium M
Core 2 Duo
Core 2 Quad
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
Year

← کوچکترین بعدی که Tr بیش‌اندازه داشته باشه

Feature Size

- Minimum feature size shrinking 30% every 2-3 years



تقریبا فاصله‌ی بین هر تکنولوژی $\frac{1}{\sqrt{2}}$ است

2x فرکانس کاری

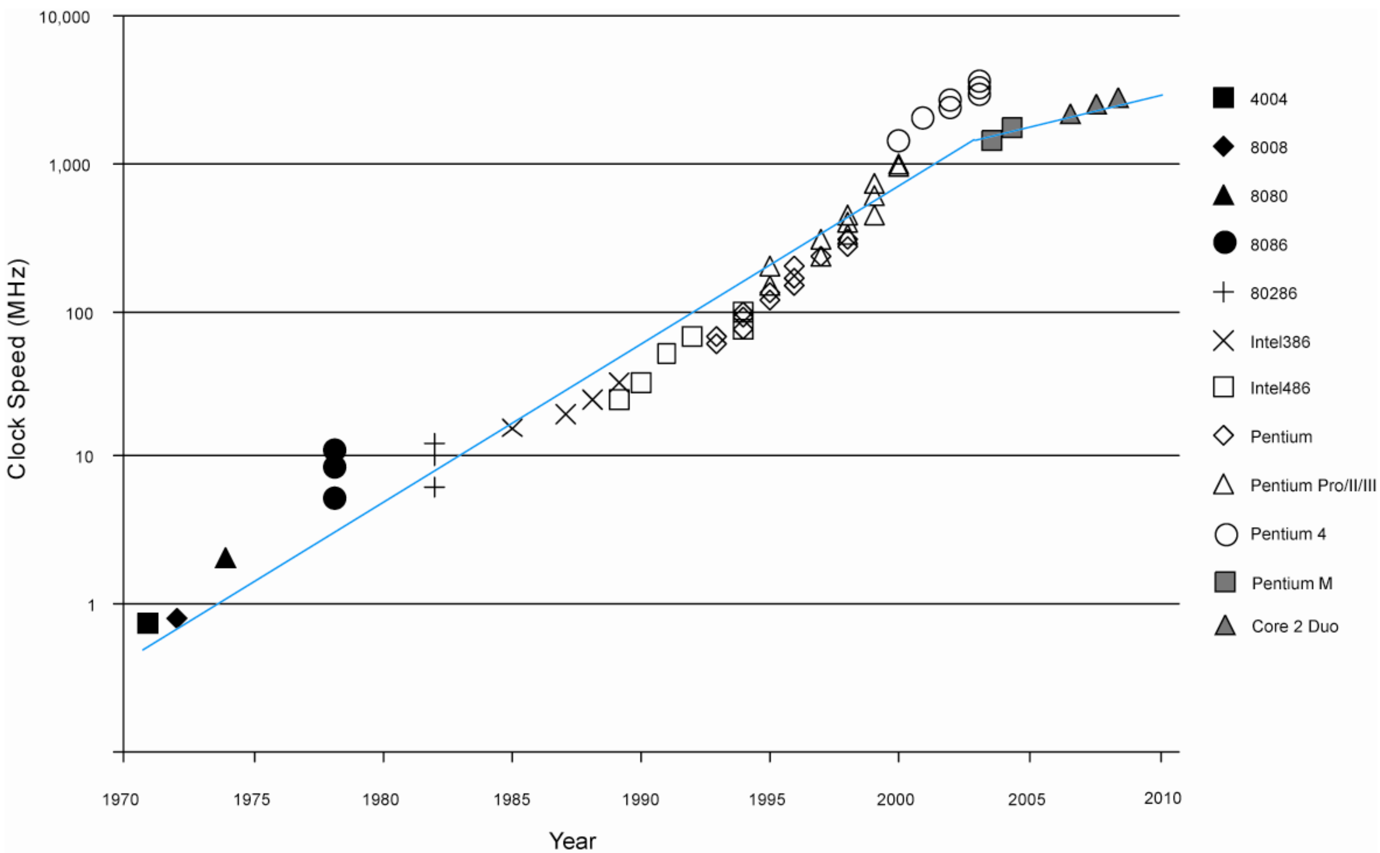
$\frac{1}{\sqrt{2}}$x ولتاژ تغذیه

$f C V_{DD}^2$

پس توانستیم در هر تکنولوژی $\frac{1}{\sqrt{2}}$ برابر کنیم پس مساحت رو نصف کردیم در حالی که توان ثابت مونده (هم f 2 برابر کردیم)

Corollaries

- Many other factors grow exponentially:
  - Clock frequency, processor performance, power

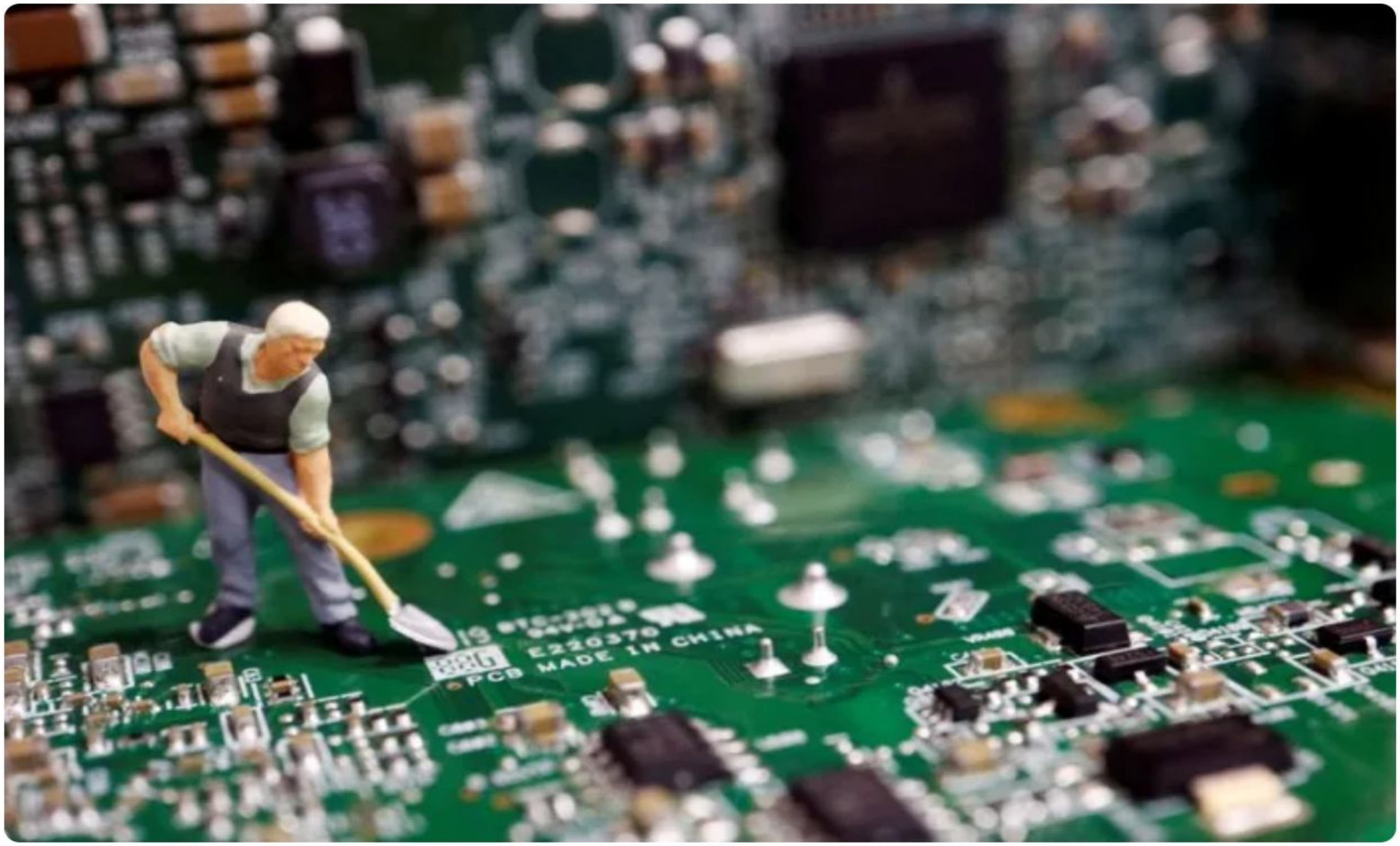


HW vs. SW?

- Integrated circuits: many transistors on one chip.
- *Very Large Scale Integration* (VLSI): Millions of transistors!
- Software technological advances require a hardware platform to execute
- Hence:

REUTERS

U.S. will be short 67,000 chip workers by 2030, industry group says



FILE PHOTO: Illustration picture of semiconductor chips

36

Max A. Cherney

Tue, July 25, 2023 at 12:35 PM GMT+3:30 · 2 min read

Coping with Complexity

- How to design System-on-Chip?
  - Many millions (even billions!) of transistors
  - Tens to hundreds of engineers
- Structured design:
  - Levels of abstraction
- Design partitioning
- Hardware Description Languages (HDL's)
- Synthesis tools

Structured Design

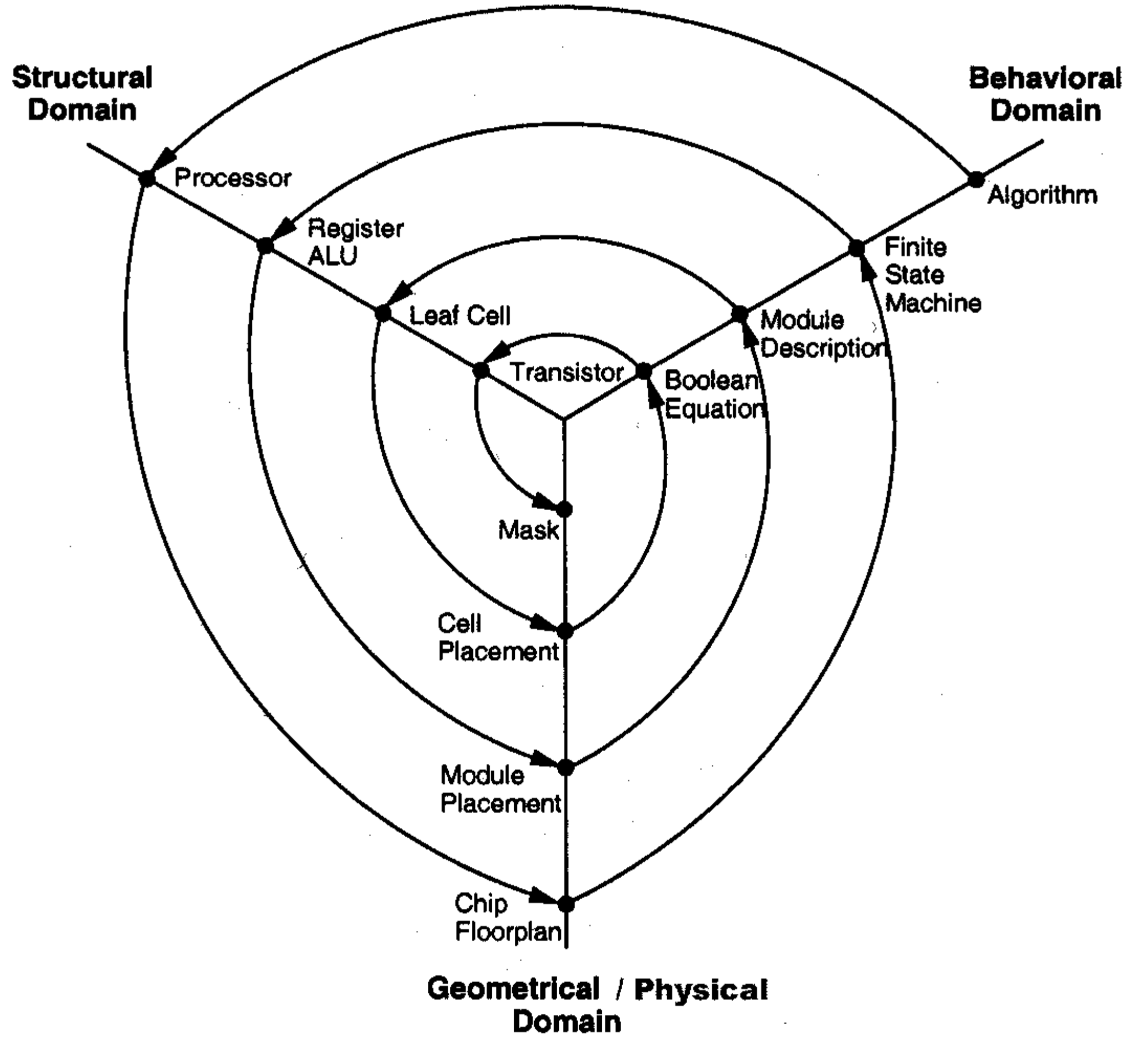
- **Hierarchy**: Divide and Conquer
  - Recursively system into modules
- **Regularity**
  - Reuse modules wherever possible
  - Ex: Standard cell library
- **Modularity**: well-formed interfaces
  - Allows modules to be treated as black boxes
- **Locality**
  - Physical and temporal

چیزایی که بیشتر به هم مرتبطن رو کنار هم قرار بدیم

Design Partitioning

- **Architecture**: User's perspective, what does it do?
  - Instruction set, registers
  - MIPS, x86, Alpha, PIC, ARM, …
- **Microarchitecture**
  - Single cycle, multcycle, pipelined, superscalar?
- **Logic**: how are functional blocks constructed
  - Ripple carry, carry lookahead, carry select adders
- **Circuit**: how are transistors used
  - Complementary CMOS, pass transistors, domino
- **Physical**: chip layout
  - Datapaths, memories, random logic

Gajski Y-Chart



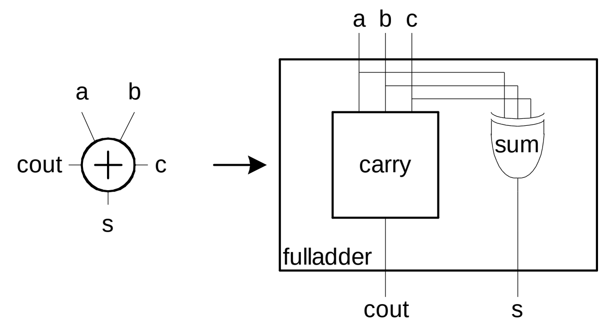
HDLs

- Hardware Description Languages
  - Widely used in logic design
  - Verilog and VHDL
- Describe hardware using code
  - Document logic functions
  - Simulate logic before building
  - Synthesize code into gates and layout
    - Requires a library of standard cells

Verilog Example

```
module fulladder(input  a, b, c,
                 output s, cout);

  sum       s1(a, b, c, s);
  carry     c1(a, b, c, cout);
endmodule
```



برخلاف نرم افزار اگر جای این دو تا رو عوض کنیم تفاوتی ایجاد نمیشه
چون قطعات داریم میگیم رو چی کجا باشه

```
module carry(input  a, b, c,
             output cout)

  assign cout = (a&b) | (a&c) | (b&c);
endmodule
```

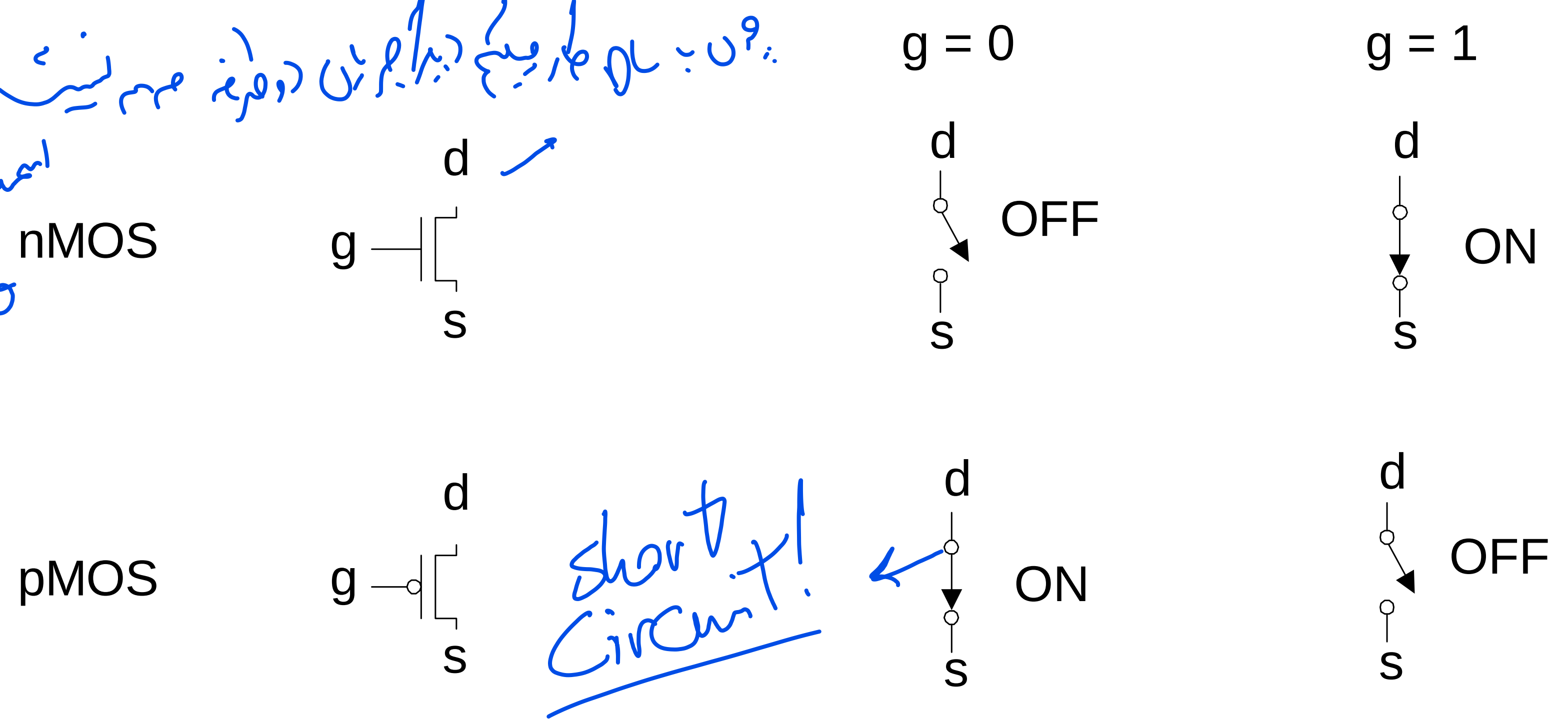
تابع منطقی Combinational (ترکیبی) ← و نه ترتیبی

جهت واقعی جریان ها از s به d هست ولی جهت قراردادی جریان از d به s هست

Transistors as Switches

- We can view MOS transistors as electrically controlled switches
- Voltage at gate controls path from source to drain

چون به d ما ولتاژ دادیم جریان دو طرفه مهم نیست پس یکی رو drain اسمشو میذاریم و اون یکی رو source



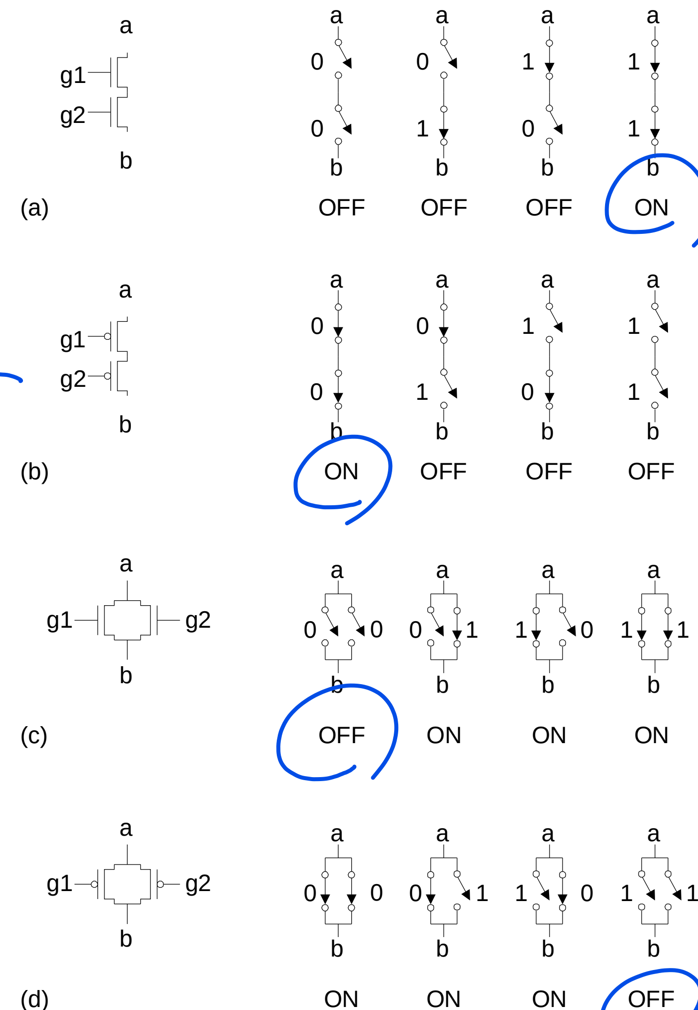
اگه جفت ۱ برابر یک شد و از حالات دیگه متفاوت شد پس AND یا NAND ساختیم و اگر جفت ۰ برابر یک مهم تر شد پس OR یا NOR ساختیم

Series and Parallel

- nMOS: 1 = ON
- pMOS: 0 = ON
- *Series*: both must be ON
- *Parallel*: either can be ON

AND

جفت صفر جدا شد <= OR یا NOR



مرتبط بهم نیستن

دو NMOS سری متناظر است با دو PMOS موازی

و دو PMOS سری متناظر است با دو NMOS موازی

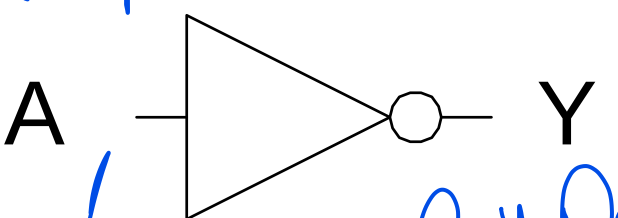
شبکه Pull Up! ← روشن می‌کند مدار

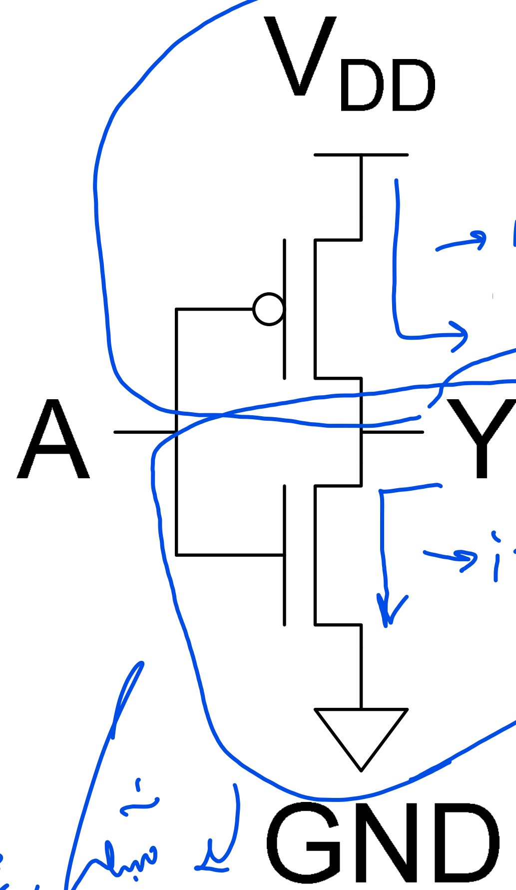
CMOS Inverter

A	Y
1	0
0	1

اگر هردو nmos روشن بودن VDD به GND اتصال کوتاه پیدا کرده و مدار می‌سوزه (زمانی که A=1 است)

اگر A=0 بود هر دو خاموش و High Impedance میشه





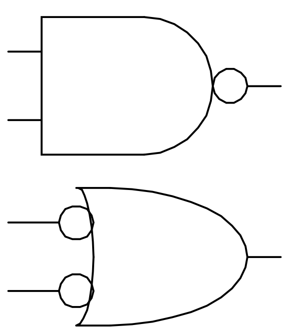
شبکه Pull Down! ← خاموش کردن

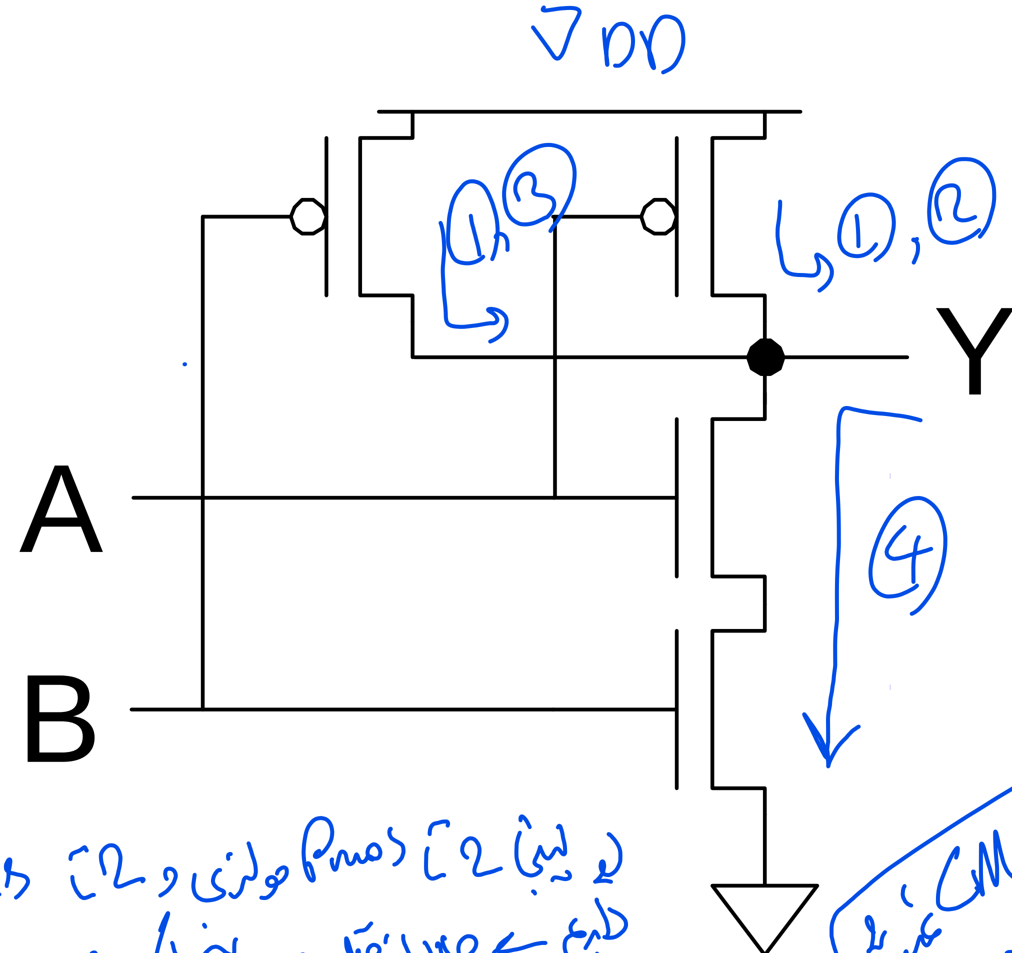
Inverting ← NAND, NOR } non-Inverting ← AND, OR یعنی 2تا ورودی 1 بدیم 1 بگیریم و 2تا ورودی 0 بدیم 0 بگیریم

NAND تو CMOS nmos سری

CMOS NAND Gate

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0





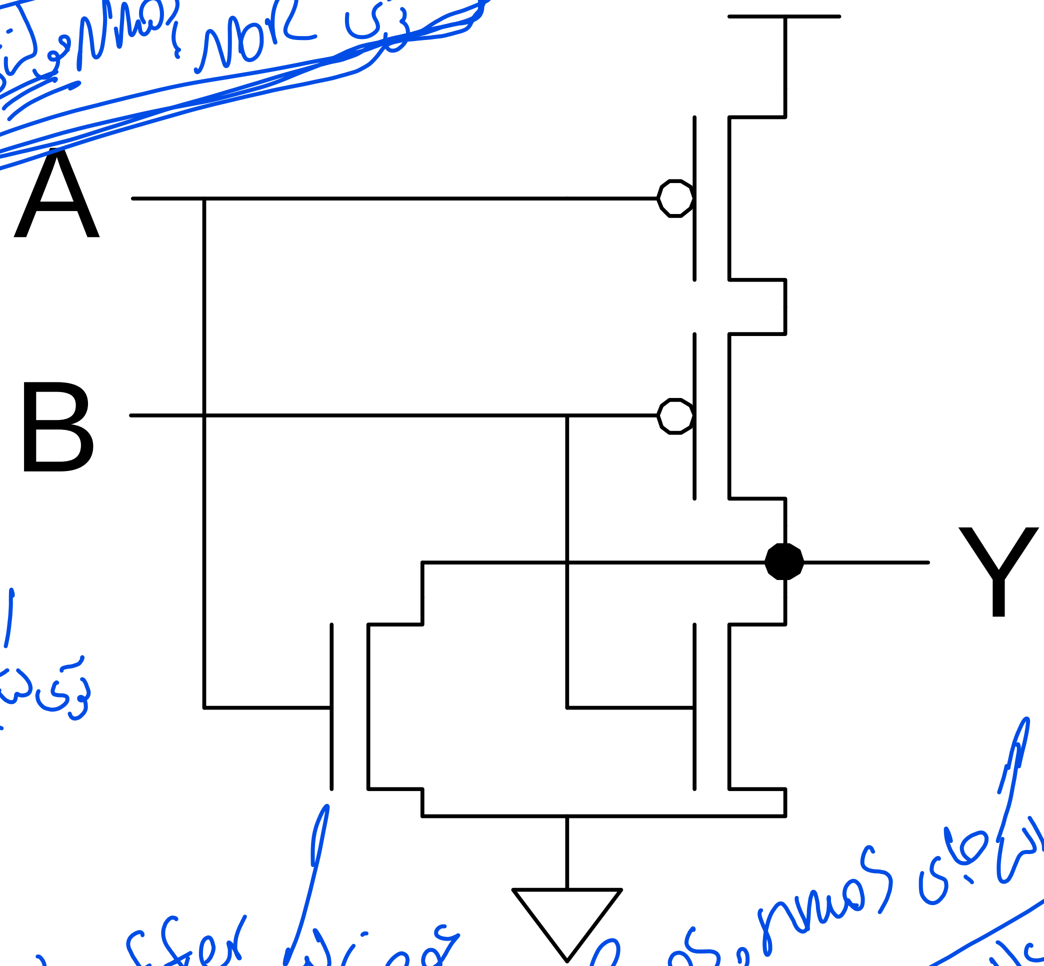
یعنی 2تا pmos موازی و 2تا nmos سری داریم ← معادل از قبل میدونیم که pmos های موازی به nmos های سری متناظر هستن

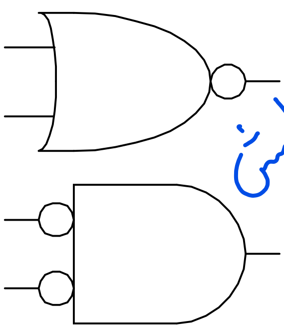
با CMOS نمیشه بصورت مستقیم non-Inverting ساخت

CMOS NOR Gate

A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

توی NOR ، nmos ها موازی هست





توی کتاب مرجع سوال شده بولینش هم هست

اگر به جای nmos, pmos و pmos ها nmos عوض کنیم buffer ساختیم

سوال امتحانی

3-input NAND Gate

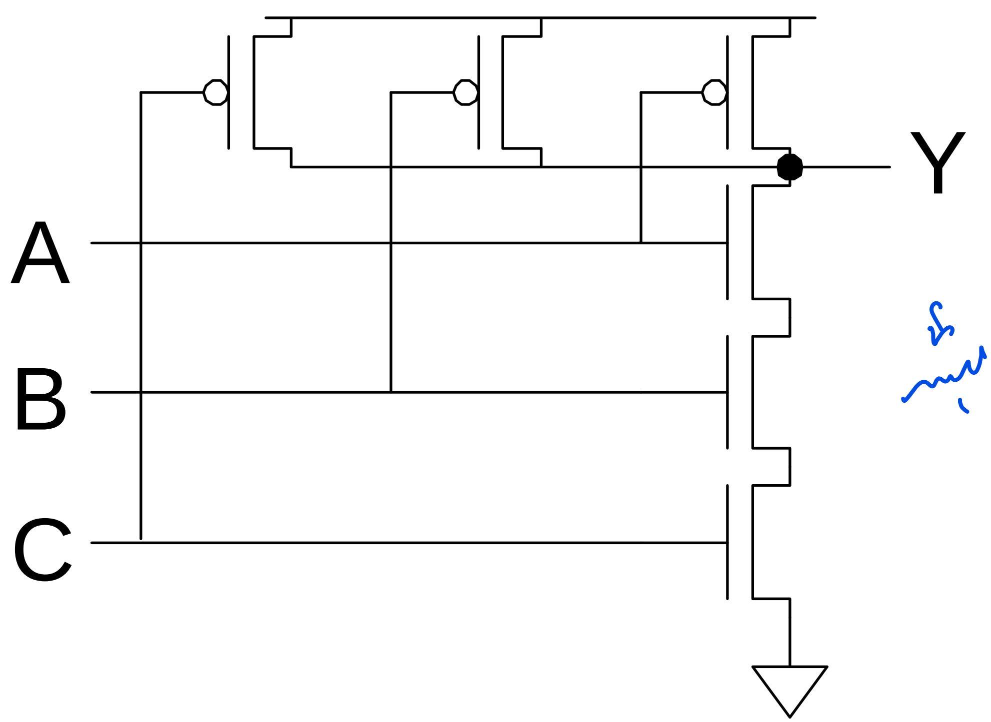
- Y pulls low if ALL inputs are 1
- Y pulls high if ANY input is 0

در NAND حتی اگر یکی از ورودی ها هم صفر باشه خروجی 1 میشه

یعنی اگر یکی صفر باشه لازمه تا خروجی 1 بشه

1 حالت: $\boxed{(1,1,1) \Rightarrow 0}$

7 حالت: $(0,1,1) \Rightarrow 1$ … $(0,0,0) \Rightarrow 1$



Switch Level → همه چی عالی ; Tr Level → ملاحظات غیرخطی لحاظ شده

Summary

- MOS transistors act as electrically controlled switches
- Build logic gates out of switches
- In reality, MOS transistors are stacks of gate, oxide, silicon
- Next set of slide:
  – Moving from switch level to transistor level

دوتا هادی با یه عایق بینشون میشه یه خازن ← حالا ما توی ~~A~~ یه هادی داریم یه عایق

و یه نیمه‌هادی ← که وقتی که نیمه‌هادی رو به هادی تبدیل میکنیم خازن ایجاد میشه