

# Лекция 2

Любая достаточно развитая технология  
неотличима от магии.

Arthur Clarke

# Компьютер

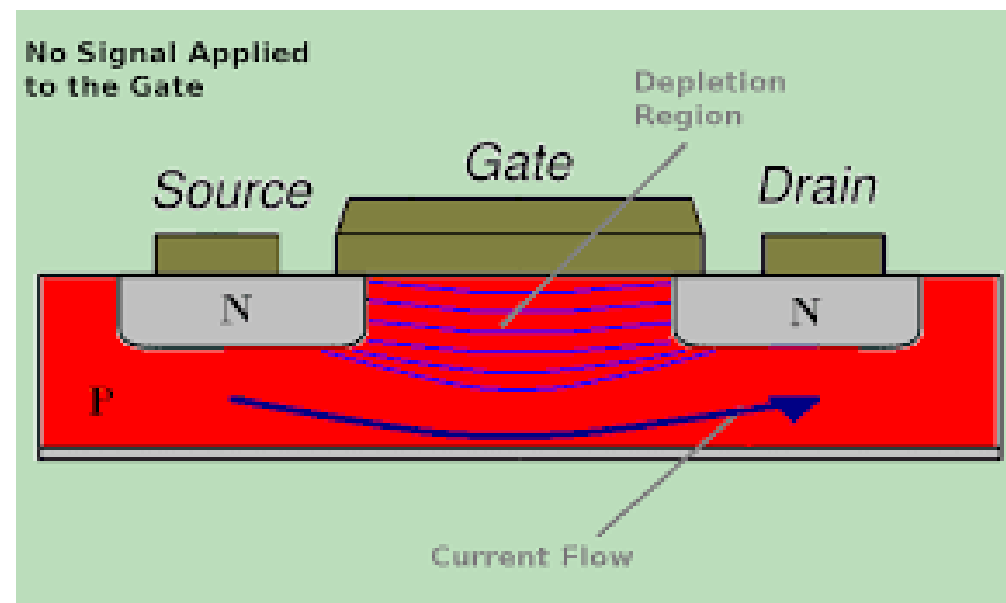
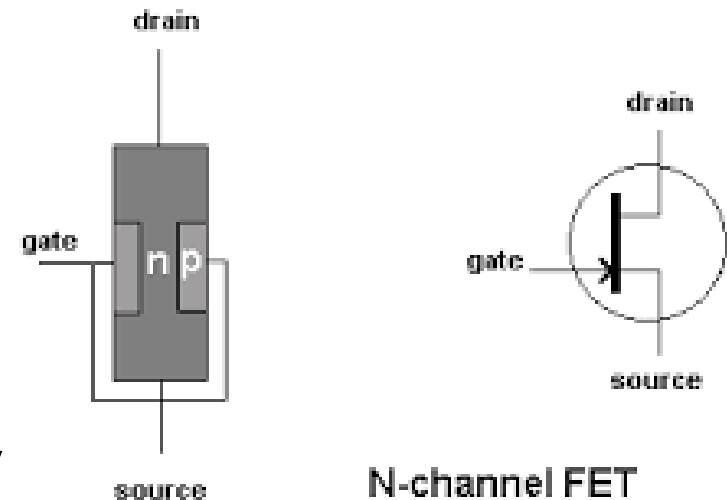
- «Обывательский» взгляд: клавиатура — процессор — монитор — магия!
- Структурная схема: процессор — память — внешние устройства — less magic
- Программная модель: система команд процессора, datasheet внешних устройств — almost no magic
- Инженерная модель: электрическое устройство — all magic revealed

# Транзистор

- Первый транзистор — 1947 (Бардин, Бреттейн, Шокли)
- Нобелевская премия по физике 1956 г
- Одно из важнейших изобретений 20 века
- Типы транзисторов:
  - Биполярный (bipolar junction transistor — BJT)
  - Полевой (Field-effect transistor — FET)

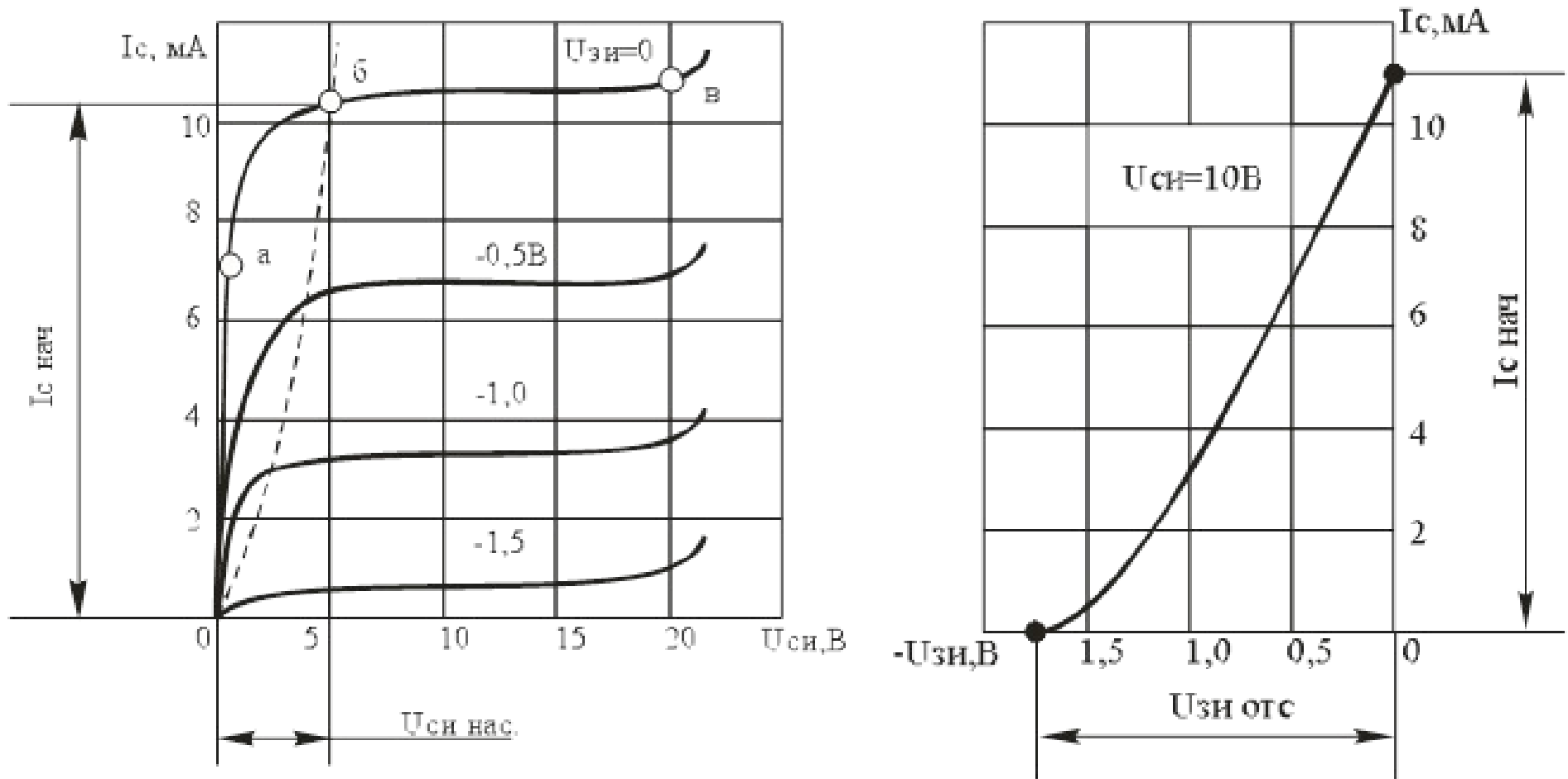
# Полевой транзистор

- Затвор - «кран»
- Исток -> Сток
- N — электроны перемещаются навстречу току
- Затвор изолирован (ток не течет через затвор)



# Полевой транзистор

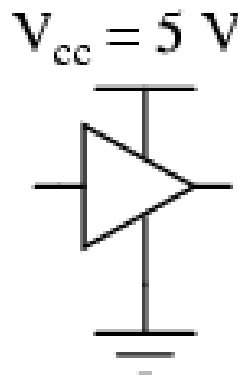
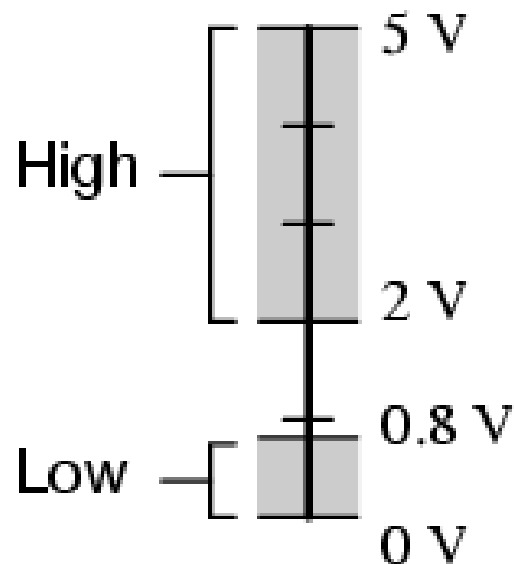
- Слева — ВАХ исток-сток при фикс. напряжении затвор-исток



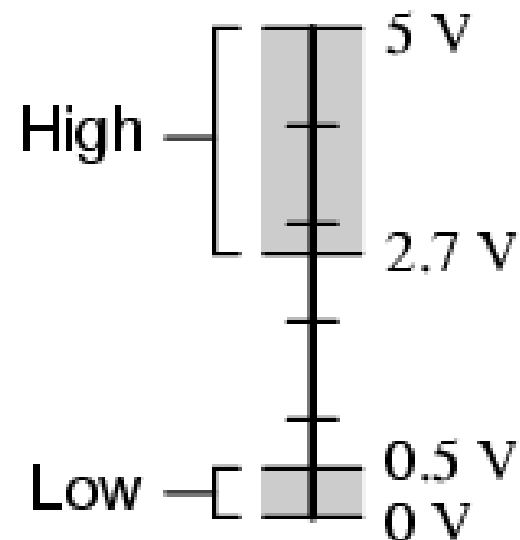
# Передача сигнала

- В цифровой электронике сигнал передается изменением напряжения. Два уровня напряжения:  $V_0$  и  $V_1$ .

- Acceptable TTL gate input signal levels*

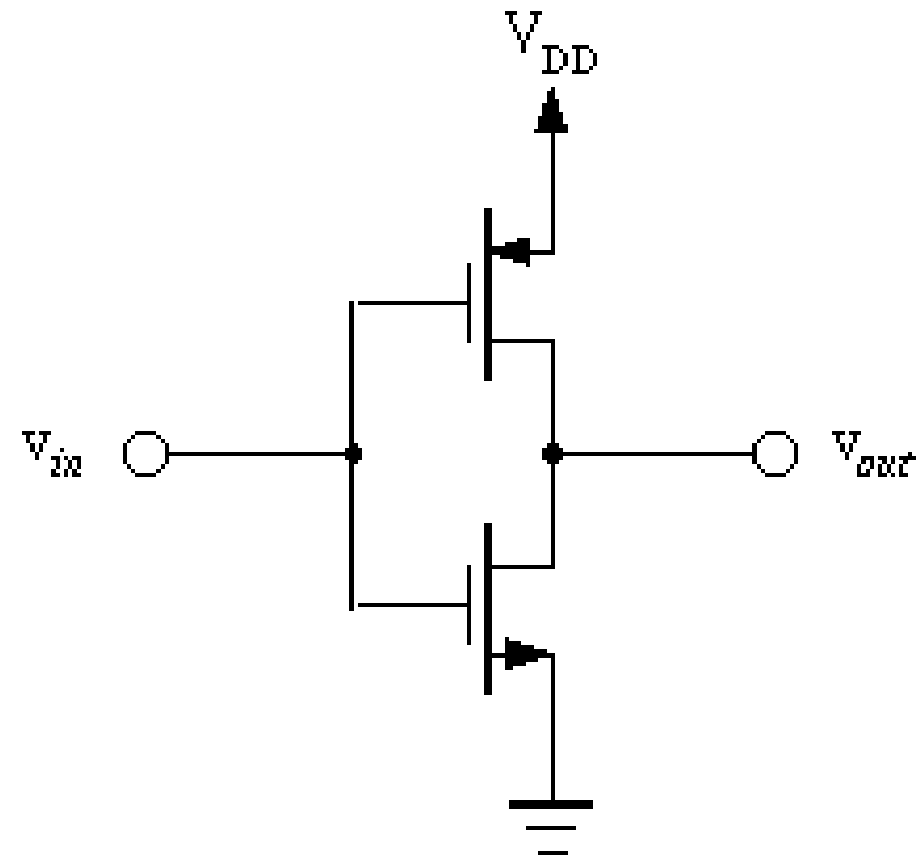


- Acceptable TTL gate output signal levels*



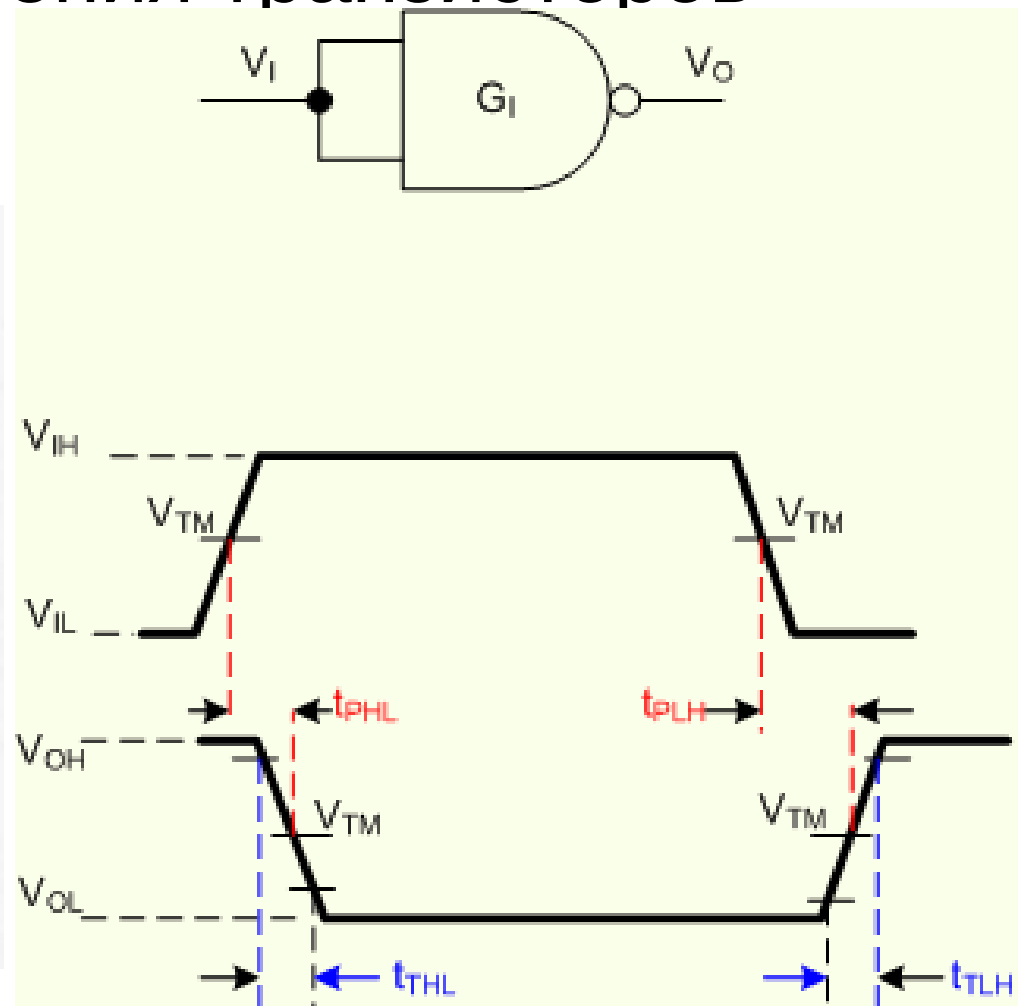
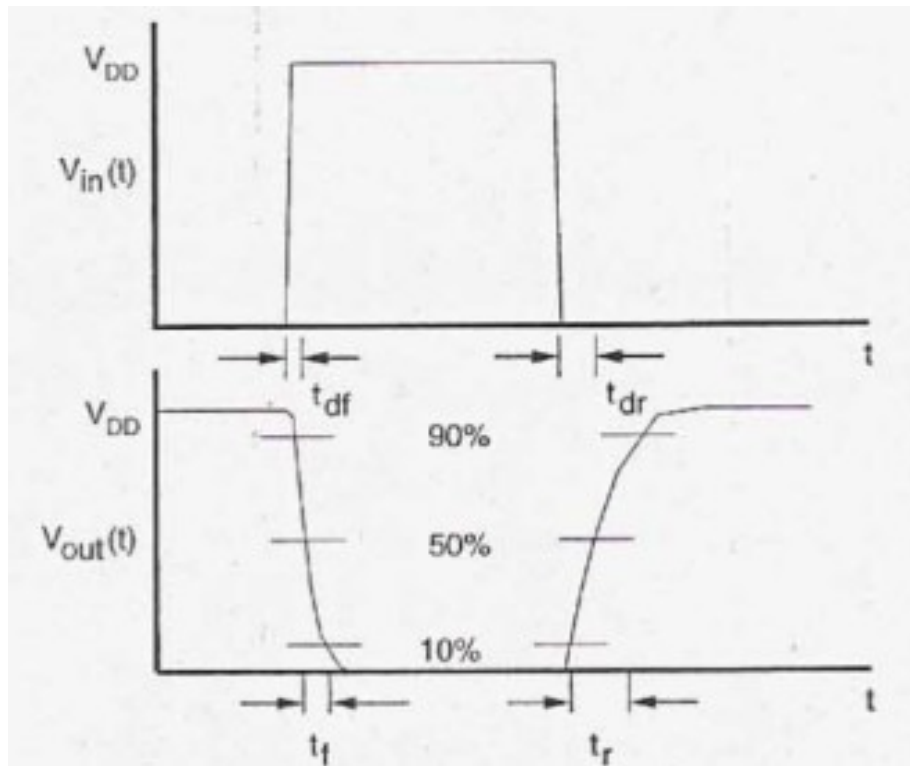
# Цифровая схема

- Шина питания ( $V_{CC}$ ) (5V, 3.3V, ...)
- Земля (GND, 0V)
- Входы
- Выходы
- Пример - инвертор



# Задержка распространения (propagation delay)

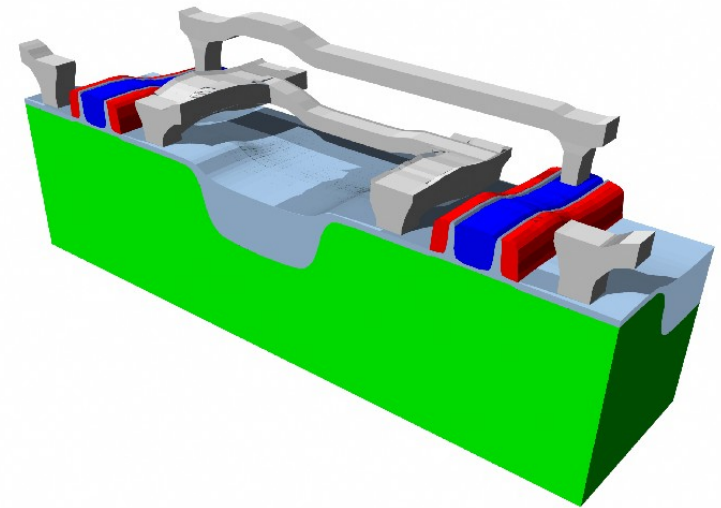
- Скорость передачи ЭМ сигнала в носителе
- Скорость переключения транзисторов





# Характеристики инвертера

- $T_f$  — время падения напряжения на выходе от «1» до «0»:
  - $T_f \sim k_1 \cdot C / V$
- Рассеиваемая мощность:
  - $W \sim k_2 \cdot C \cdot V^2 \cdot f$



# Подключение компонентов

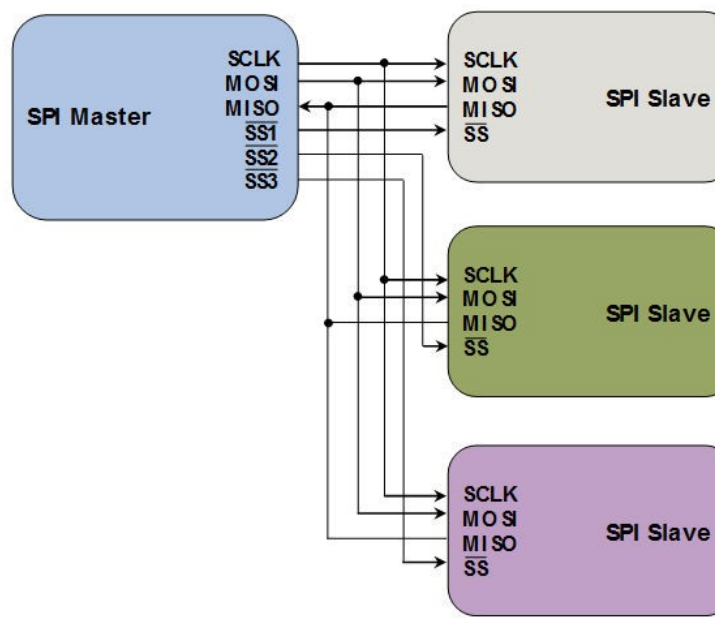
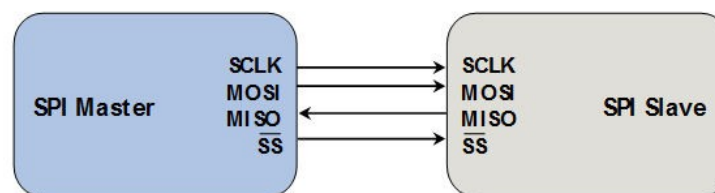
- Point-to-point: RJ45 Ethernet, RS232, SPI

- RX, TX разведены
- Асинхронные
- Гальванически развязываются
- Гибкий протокол

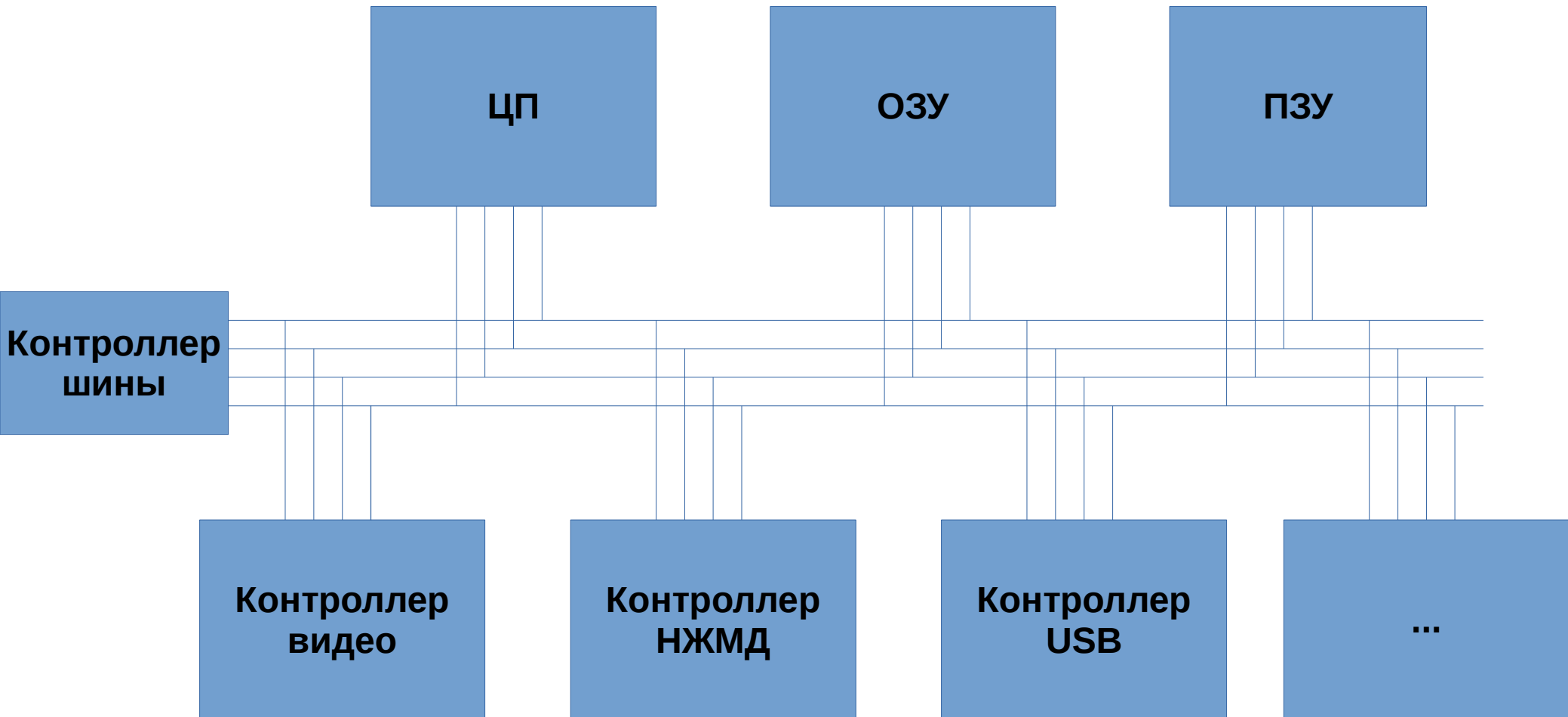
- Но!

- +1 провод на устр
- последовательный

Figure 1 : Two SPI busses topologies. The upper figure shows a SPI master connected to a single slave (point-to-point topology). The lower figure shows a SPI master connected to multiple slaves.



# Шина (Bus)

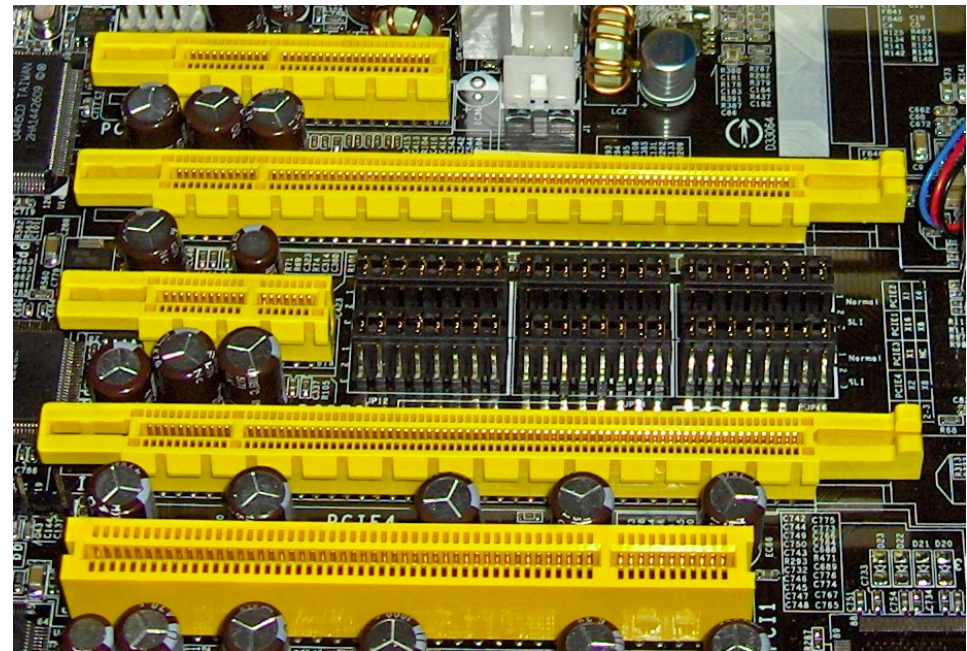


# Шина

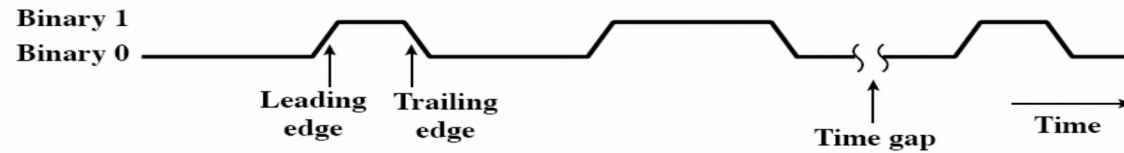
- Стандартизованный интерфейс подключения устройств
- Стандартизация по электричеству: напряжение, сопротивление, потребляемые токи, уровни 0 и 1
- Стандартизация по временным отрезкам (timings): тактовая частота, переходные режимы и т. д.
- Примеры: PCI, USB, SATA

# Шина

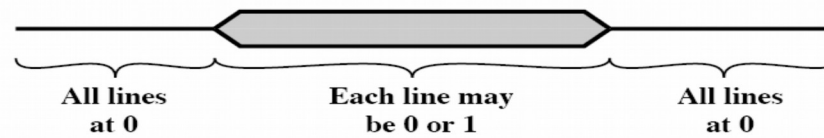
- Необходимость синхронизации (тактовые импульсы)
- Необходимость адресации устройств на шине
- Необходимость арбитража шины



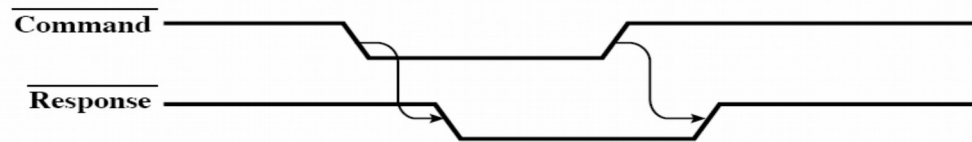
# Timing diagrams



(a) Signal as a function of time



(b) Groups of lines

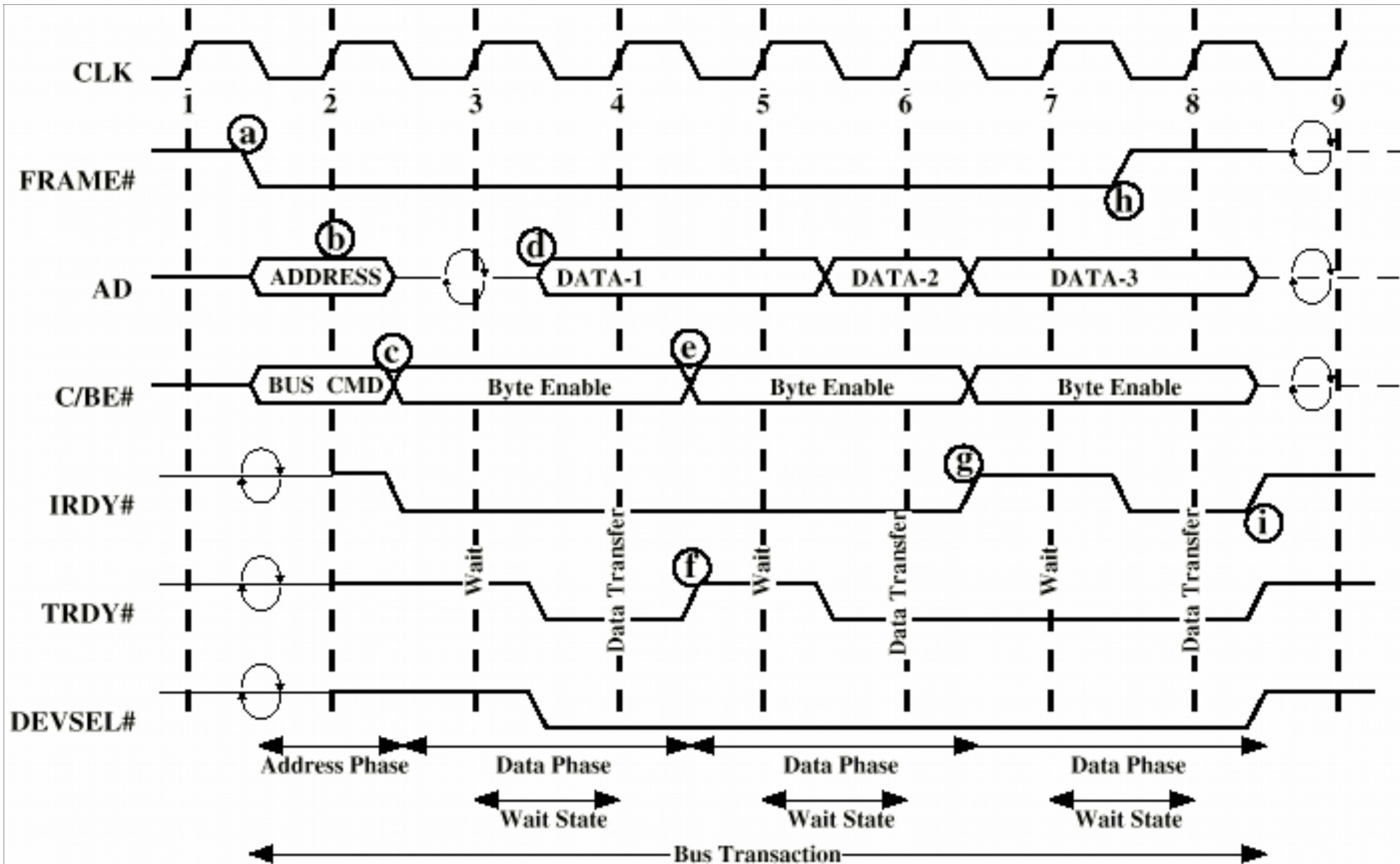


(c) Cause-and-effect dependencies



(d) Clock signal

# PCI Read timing

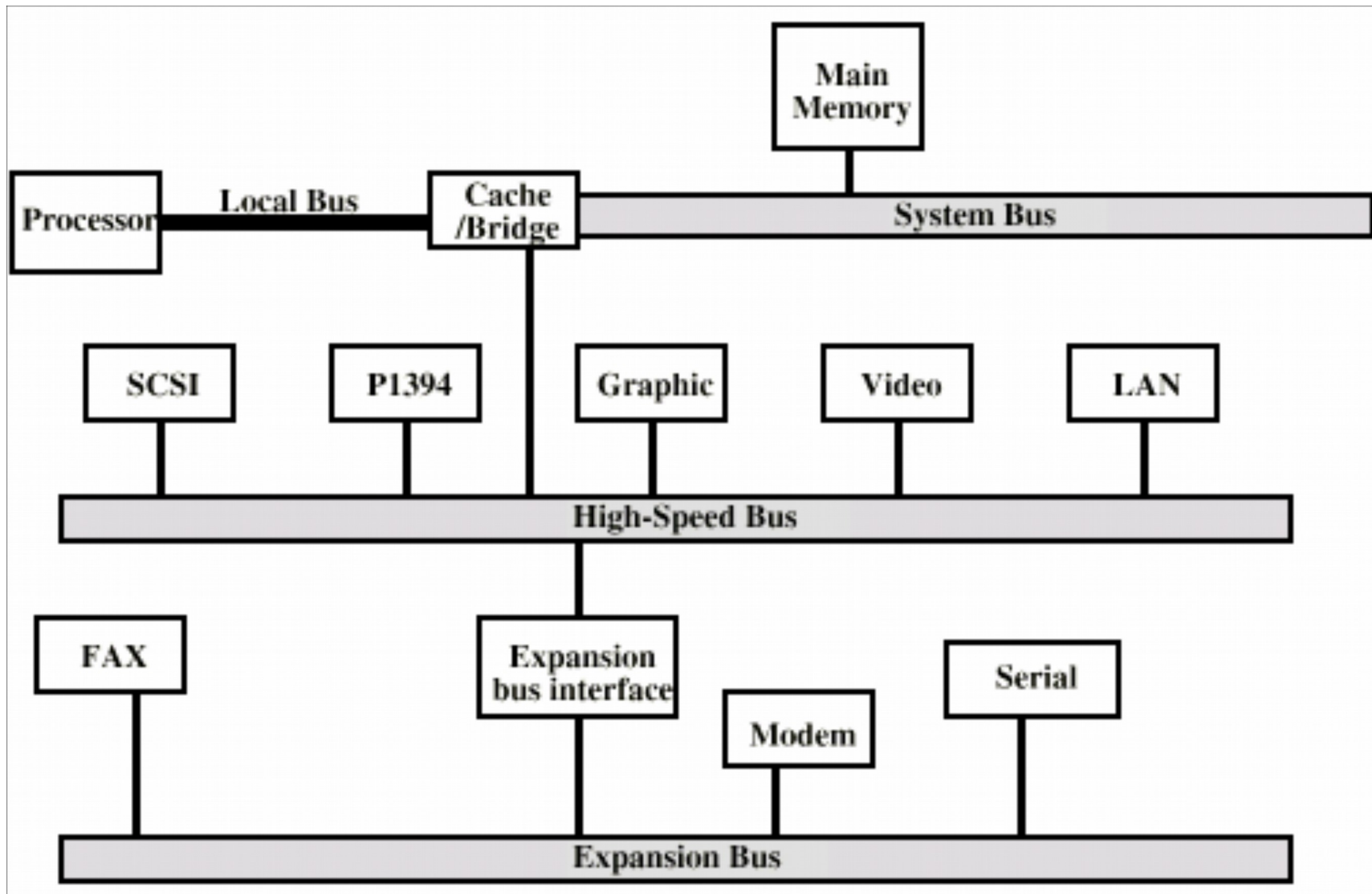


# Шина: недостатки

- Быстрые и медленные устройства на одной шине: работа со скоростью медленного устройства
- При большом количестве устройств — накладные расходы на арбитраж растут
- Электрические проблемы (помехи, и т. п.) при увеличении длины проводов
- 
-

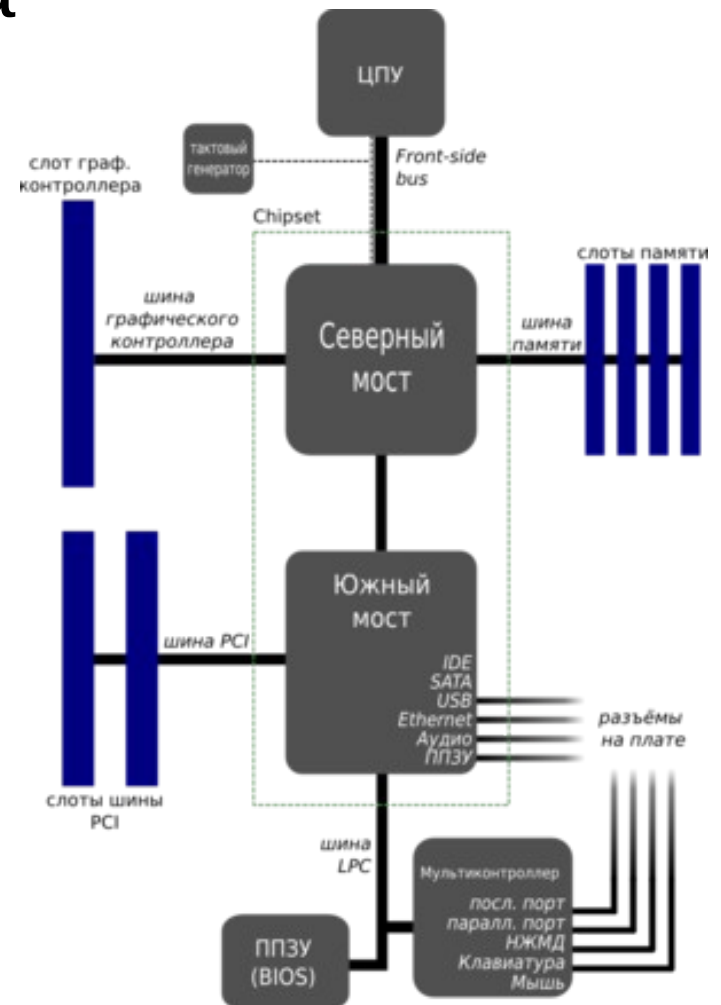


# Иерархия шин



# Современная архитектура PC

- FSB — частота процессора
- PCIe (2.0) — 2.5 ГГц
- Шина памяти — 800 МГц
- PCI — 33 МГц

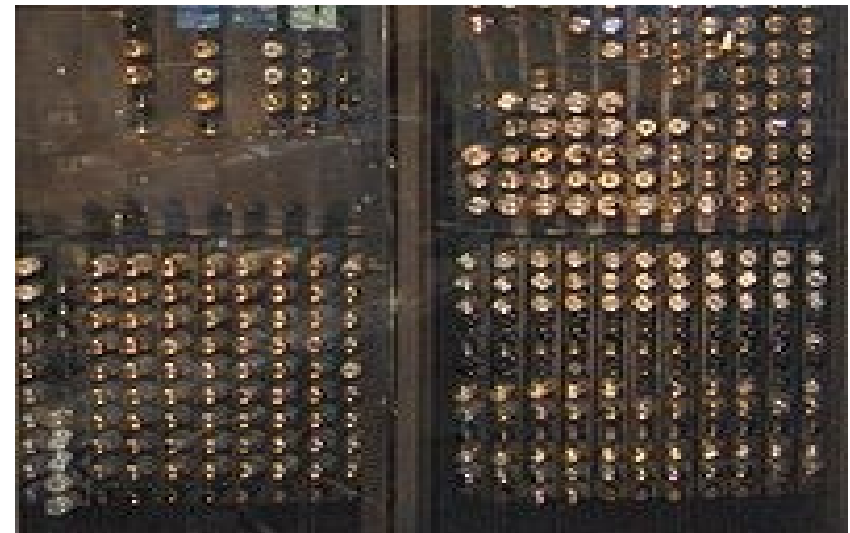


# Исторический обзор

- 1-е поколение (ламповые)
- 2-е поколение (транзисторные)
- 3-е поколение (интегральные схемы)
- 4-е поколение (СБИС)

# Электронные устройства: ENIAC

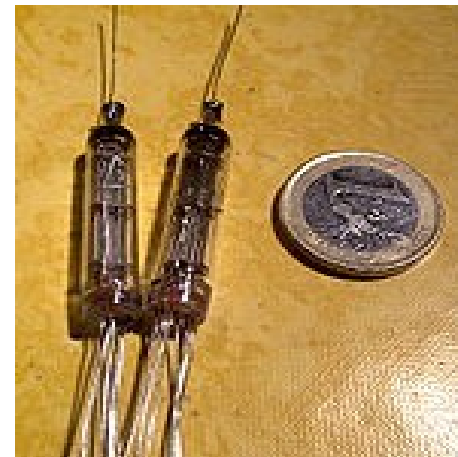
- 14.02.1946,  
СТОИМОСТЬ ~  
\$5000000,
- 17468 ламп
- 5000 оп/сек
- 1 лампа выходила  
из строя раз в два  
дня, для замены  
требовалось 15  
мин.



Мощность 116 мегаватт

# ЭВМ «Стрела»

- 1953 г
- 2000 оп/с,
- 6200 ламп
- Память 2048 43-битных слова
- Ввод с перфокарт, вывод на перфокарты и принтер



# Транзисторные ЭВМ: БЭСМ-6

- 1966 г.
- Тактовая частота — 10 МГц
- Быстродействие — 1 млн. оп/сек (6 млн. оп/сек на Байконуре)
- До 32768 48-битных ячеек ОЗУ
- Выпускалась 1968-1987

# IBM/360

- Элементная база:  
интегральные схемы
- Анонсирована: 7 апреля  
1964 года
- Семейство ЭВМ,  
совместимых по набору  
инструкций и  
периферии
- Производительность:  
0.034 — 1700 MIPS
- Память: 8 КiB — 8 MiB



# Особенности IBM/360

- 8-битный байт
- Память, адресуемая по байтам, а не по словам
- 32-битные слова
- Двоичная арифметика с дополнением до 2
- Стандарт операций с плавающей точкой (предшественник IEEE-754)



# PDP-11

- Семейство Мини-ЭВМ
- Выпускалось 1970-1997
- Разрядность — 16 бит, в серии VAX — 32 бита
- Ортогональный набор инструкций
- Общая шина
- 16-битные слова хранятся в порядке младший байт, старший байт (little endian)

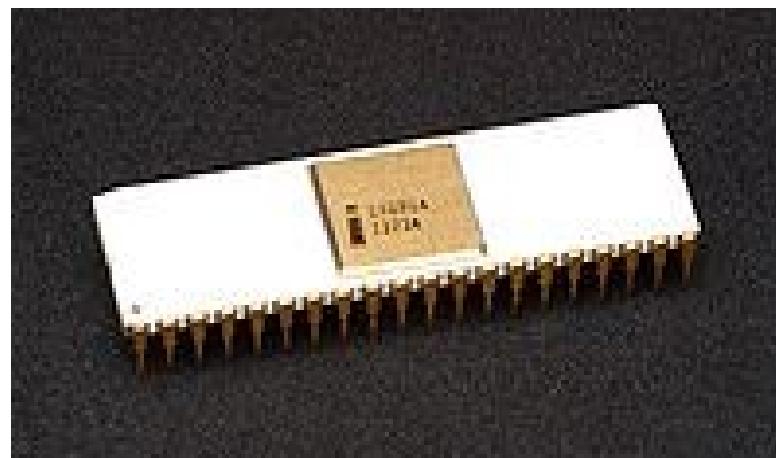
# Микропроцессоры на СБИС: Intel 4004

- 1971 год
- 10 мкм (0.01 мм)  
pMOS
- 2300 транзисторов
- Такт. Част. 740 КГц
- Произв. 92 000  
инстр./сек



# Intel 8080

- 1974 год
- Такт. Част. 2 МГц
- До 500 000 оп/сек
- Разрядность 8 бит
- ~6 000 транзисторов
- 6 мкм nMOS



# Персональные компьютеры: Apple

- 1976
- Процессор 6502@1МГц
- 4 Кб ОЗУ
- Экран 40x24 символа



# Микропроцессоры сегодня

- Intel Xeon Haswell
- Тактовая частота:  
3.5 ГГц
- 5 560 000 000  
транз.



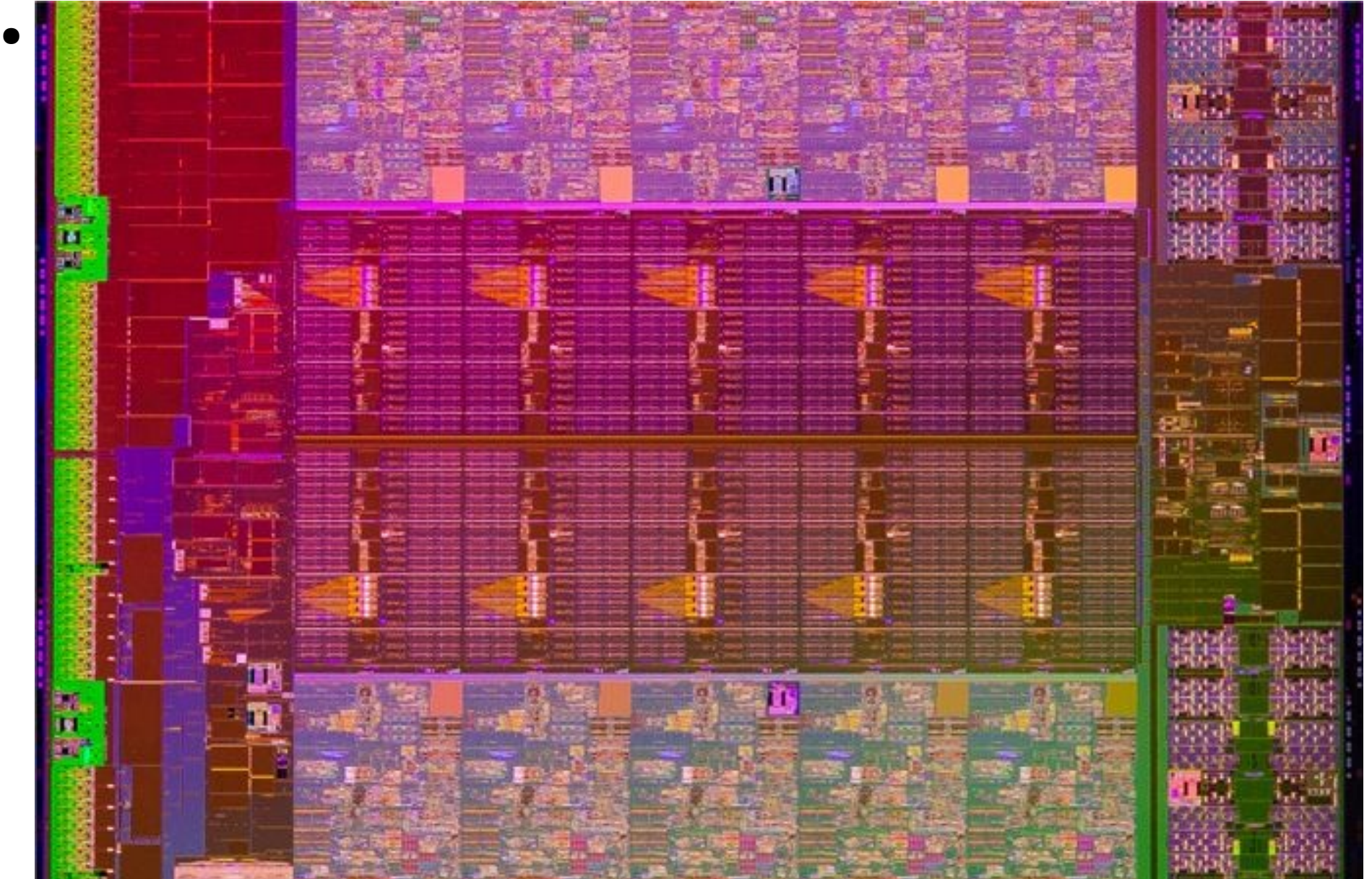
# Пример корпуса ИС

- В корпусе — кристалл полупроводника с элементами, к которому подведены контакты





# Ivy Bridge processor



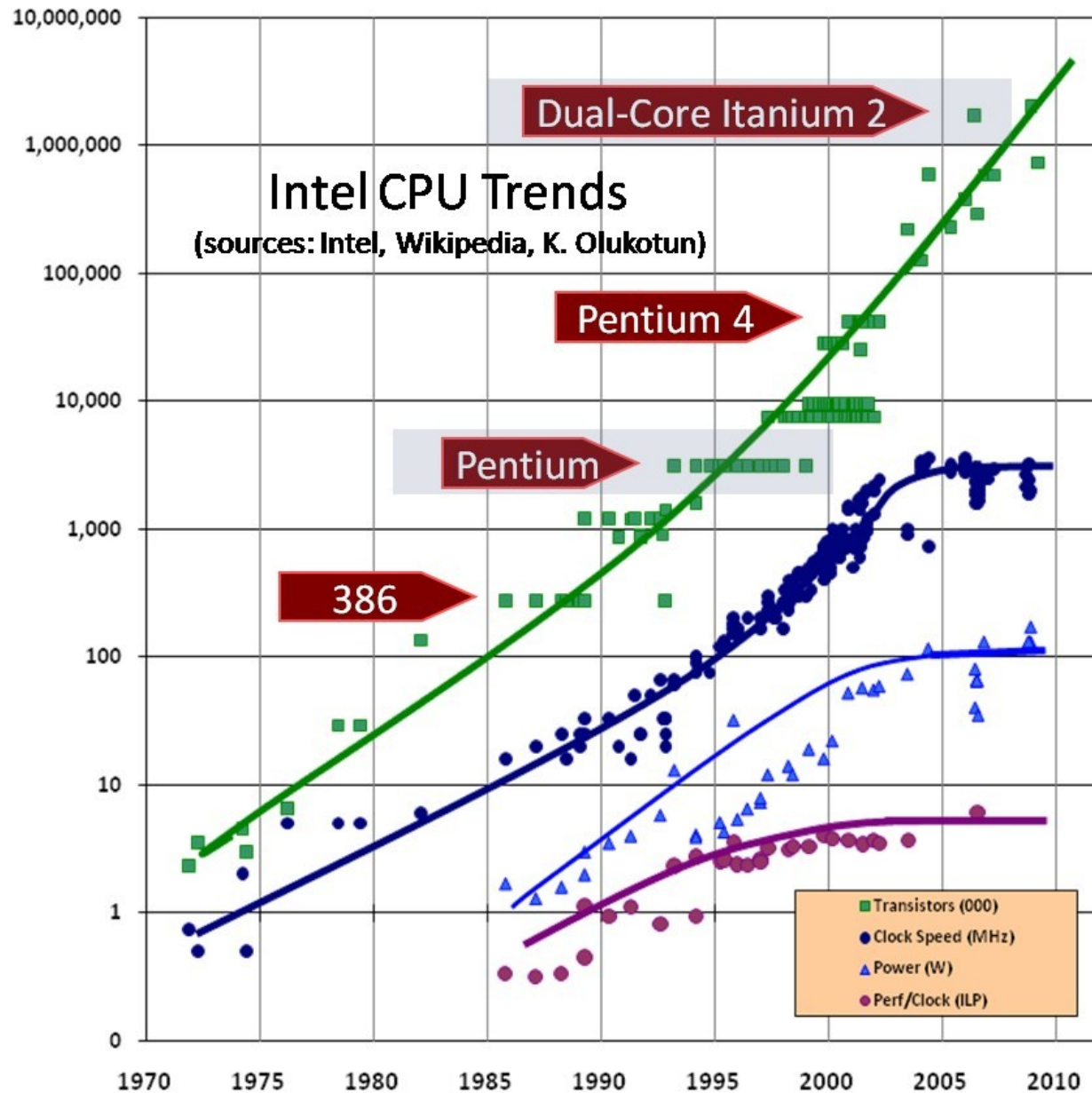
		voltage	power	clock khz	техн. Nm	trans. Cnt	die
1971	i4004	15V	1W	740	10000	2300	12
1974	i8080	+5V, ...	1,3W	2000	6000	6000	
1978	i8086	+5V	2,5W	5000	3000	29000	33
1982	i80286	+5V	3,3W	8000	1500	134000	
1985	i386	+5V	1,5W	16000	1000	275000	
1989	i486	+5V	3,5W	20000	1000	1000000	
1993	Pentium	+5V	14,6W	60000	800	3100000	294
1995	Pentium Pro	+3,3V	35W	166000	500	5500000	307
1997	Pentium II	+2,8V	33W	233000	350	7500000	195
1999	Pentium III	+2,0V		450000	250	9500000	128
2001	Pentium 4	+1,605- 1,75V	48,9W	1300000	180	42000000	217
2004	P 4 Prescott	+1,287- 1,400V	89W	2800000	90	125000000	112
2006	P Core Duo			1860000	65	291000000	143
2008	Core i7				45	731000000	263
2011	Sandy Bridge		130W	3300000	32	2270000000	434
2014	Ivy Bridge		150W	3300000	22	4310000000	541



# Обозначения на таблице

- Voltage — напряжение питания
- Power — потребляемая мощность (пиковая)
- Clock — Тактовая частота (кГц)
- Техп. — «техпроцесс», то есть линейный размер одного транзистора на кристалле (нм)
- Trans. Cnt — число транзисторов на кристалле
- Die — площадь кристалла (мм<sup>2</sup>)

# Закон Мура



# Характеристики процессоров

- Скорость переключения:
  - $T_f \sim k_1 * C / V$
- Рассеиваемая мощность:
  - $W \sim k_2 * C * V^2 * f$