

# Логические элементы

# Транзистор — основа устройства компьютера

## Число транзисторов в процессорах

- Intel Pentium II: 7 млн.
- ARM Cortex A9: 15 млн.
- Core i7 (4 ядра) 731 млн.

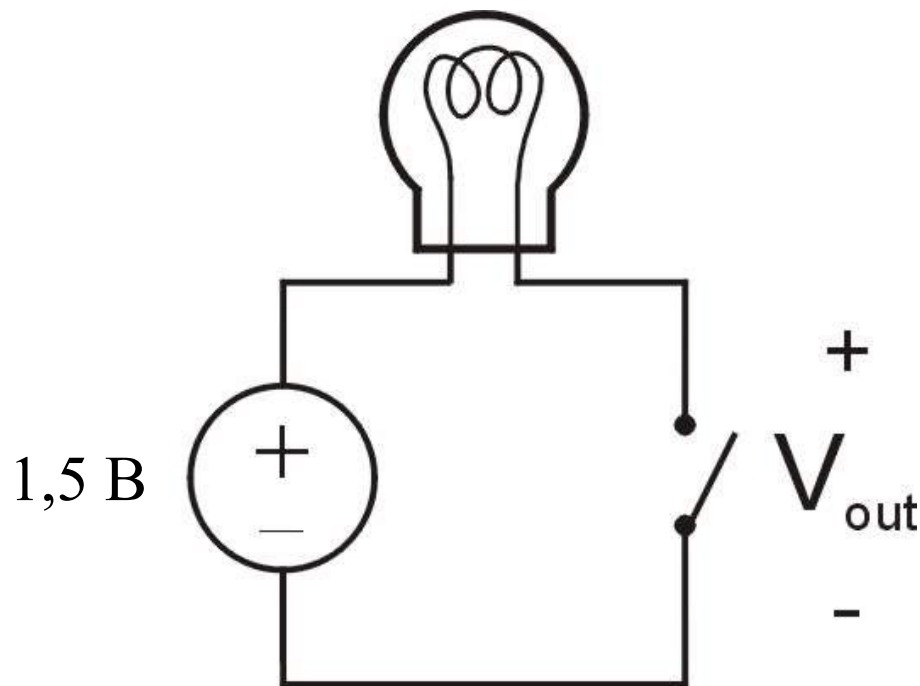
**Логически транзистор представляет собой выключатель**

**Их комбинации позволяют строить логические элементы – И, ИЛИ, НЕ, ...**

**На логических элементах строятся устройства – сумматор, мультиплексор, декодер, регистр**

**На логических устройствах строится процессор**

## Цепь с выключателем



**Выключатель разомкнут:**

- тока нет
- лампа **не горит**
- $V_{out}$  **+1,5 В**

**Выключатель замкнут:**

- ток идёт
- лампа **горит**
  - $V_{out}$  **0 В**

Такая цепь практически отражает два состояния

# МОП-транзистор

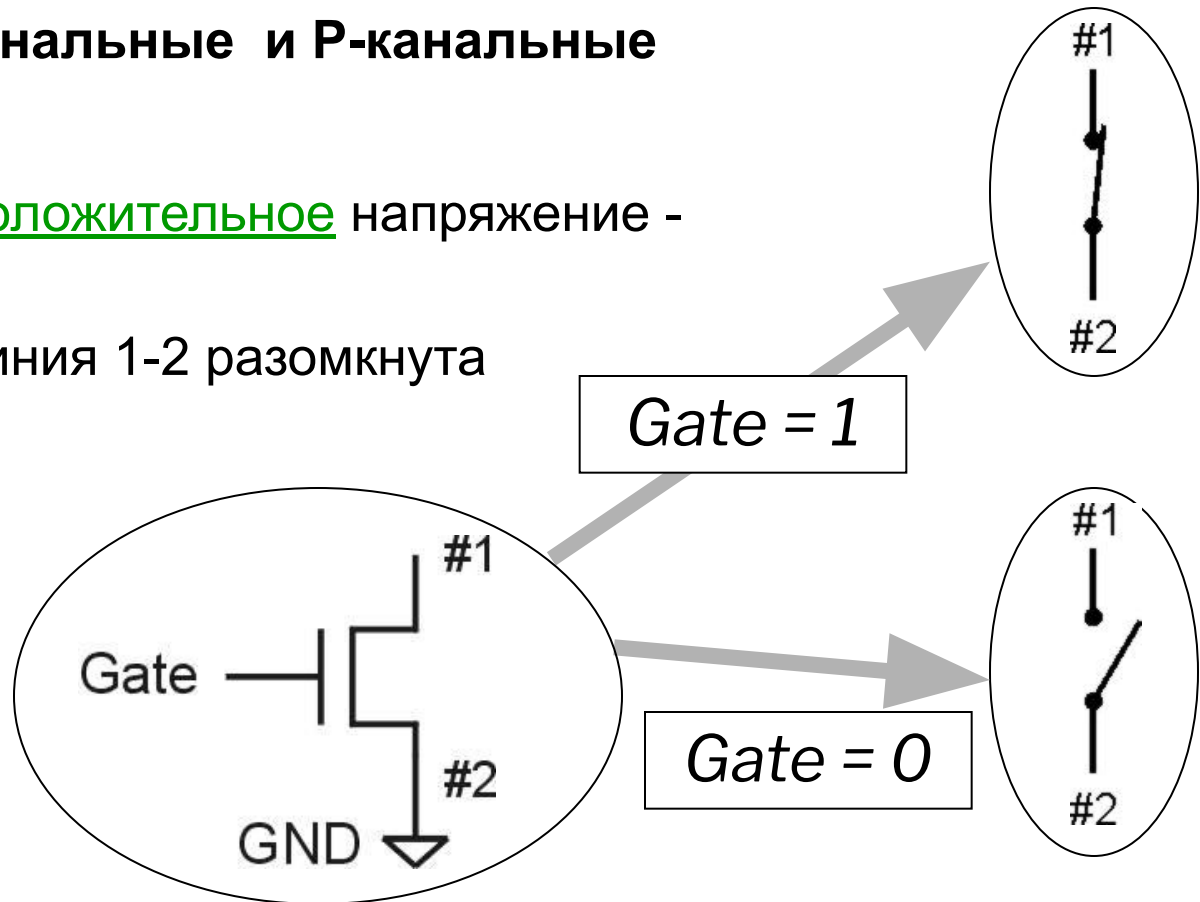
МОП (MOS) = **Металл-окисел-полупроводник (Metal Oxide Semiconductor)**

- два типа: N-канальные и P-канальные

## N-канальный

на затворе (Gate) положительное напряжение -  
линия 1-2 замкнута

на затворе 0 В — линия 1-2 разомкнута

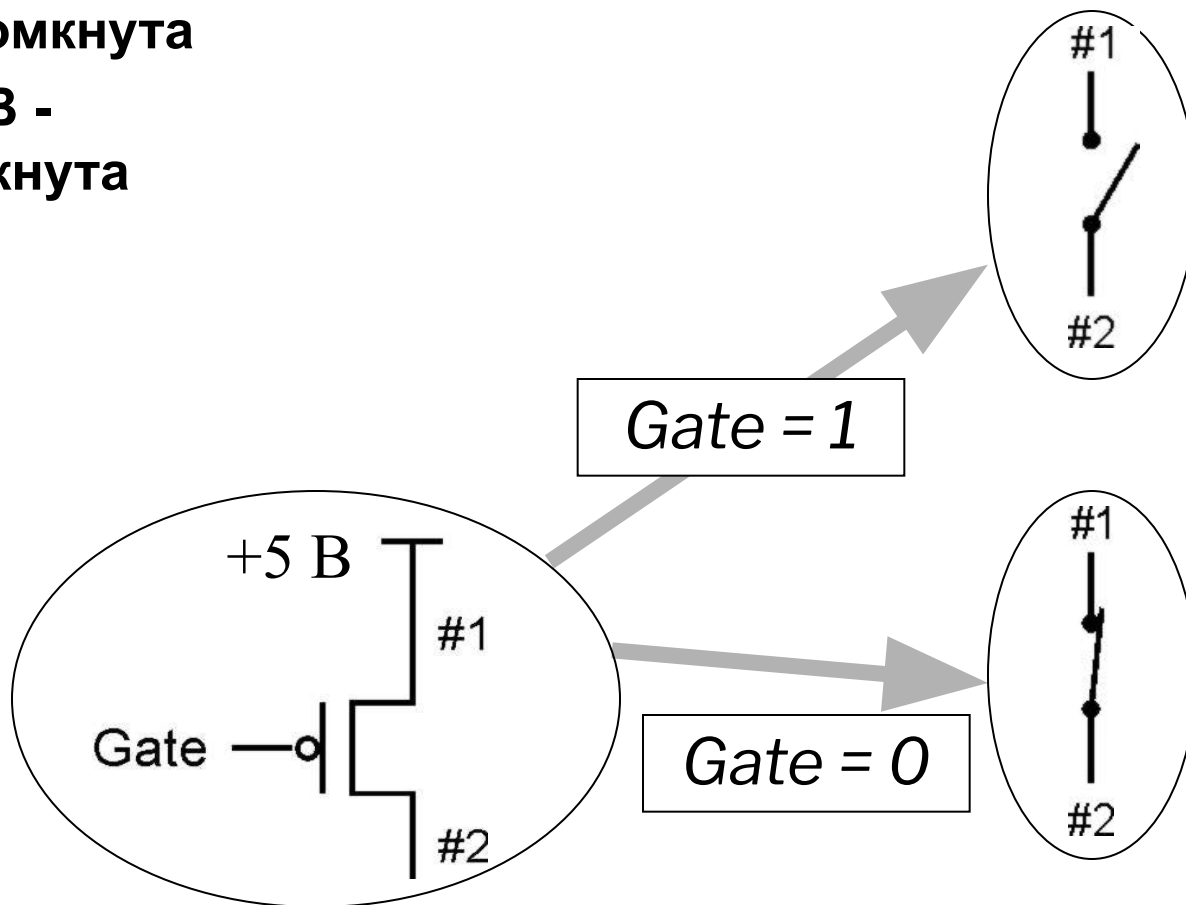


вывод 2 подключен  
к земле (0 В).

# P-канальный МОП-транзистор

## P-канальный дополняет N-канальный

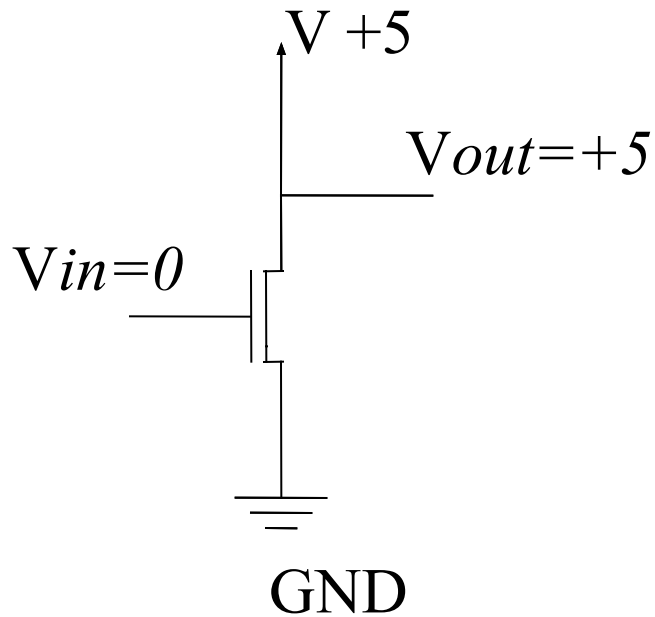
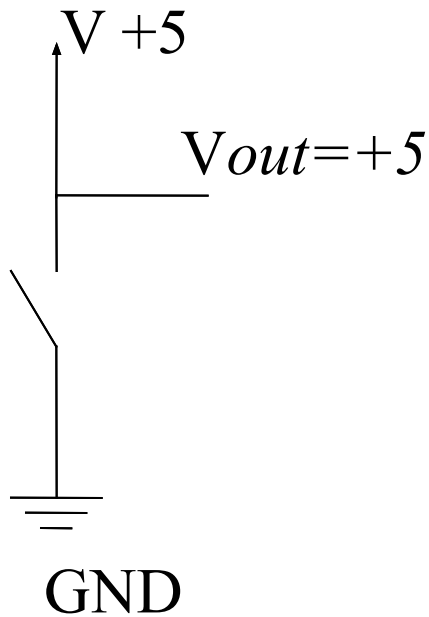
- на затворе положительное напряжение - линия 1-2 разомкнута
- на затворе 0 В - линия 1-2 замкнута



Вывод 1 подключен  
к питанию +5 В

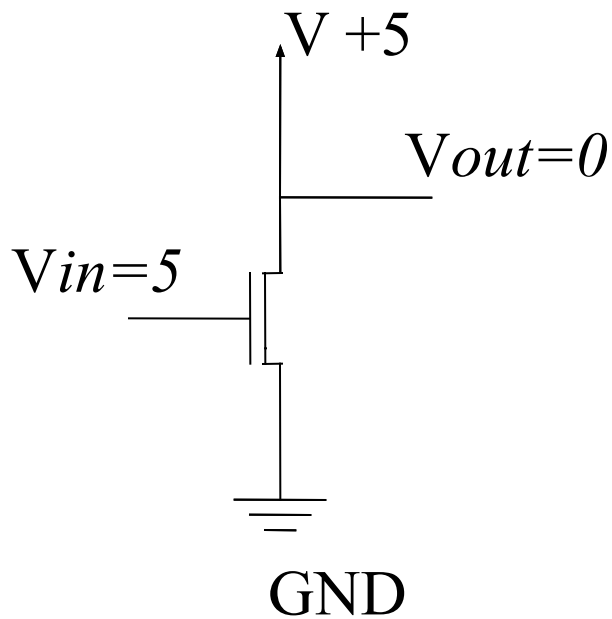
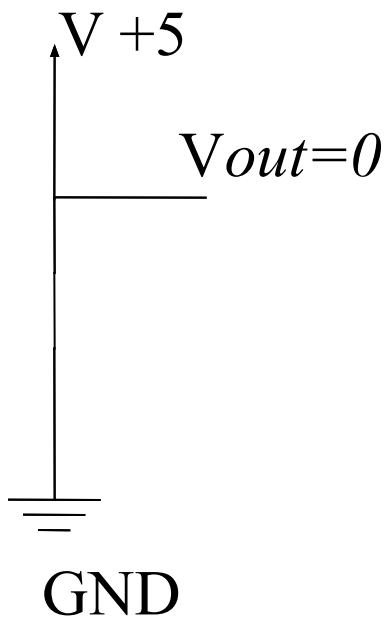
# Логические вентили

Как использовать МОП-транзисторы для реализации логической операции НЕ



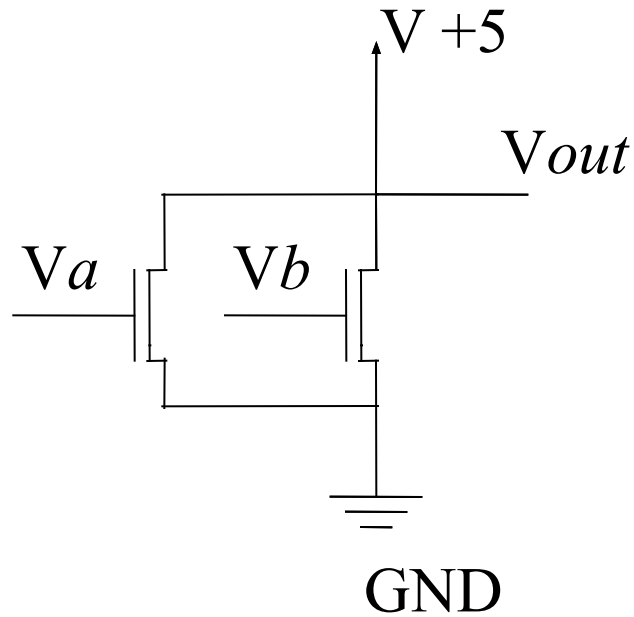
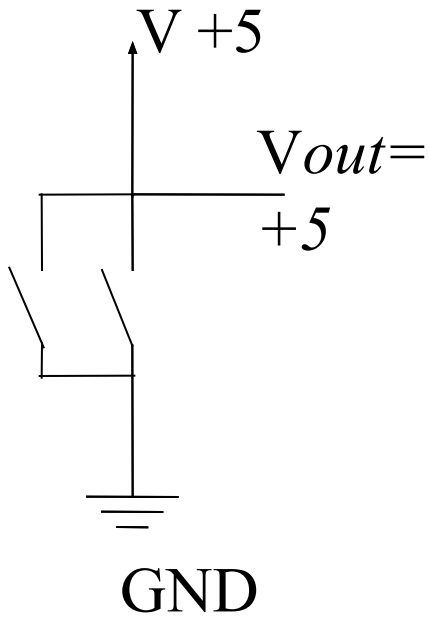
## Логические вентили

Как использовать МОП-транзисторы для реализации логической операции НЕ



# Логические вентили МОП

## ИЛИ-НЕ $!(a \vee b)$

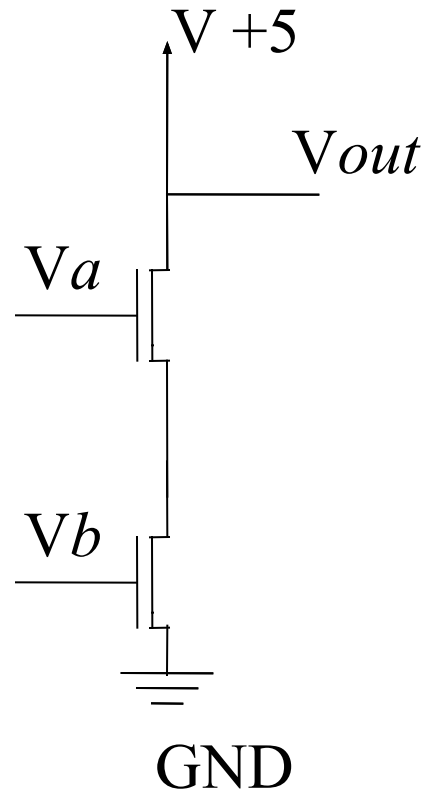
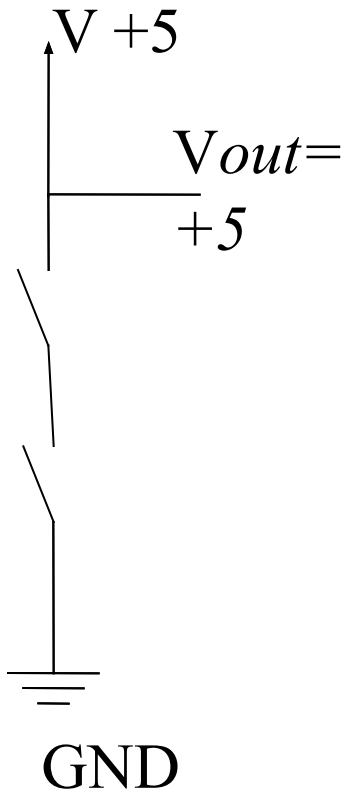


| a | b | $!(a \vee b)$ |
|---|---|---------------|
| 0 | 0 | 1             |
| 0 | 1 | 0             |
| 1 | 0 | 0             |
| 1 | 1 | 0             |



# Логические вентили МОП

## И-НЕ $!(a\&b)$



| a | b | $!(a\&b)$ |
|---|---|-----------|
| 0 | 0 | 1         |
| 0 | 1 | 1         |
| 1 | 0 | 1         |
| 1 | 1 | 0         |

# Инвертор (НЕ) на технологии КМОП

Устраняет проблему тока на землю

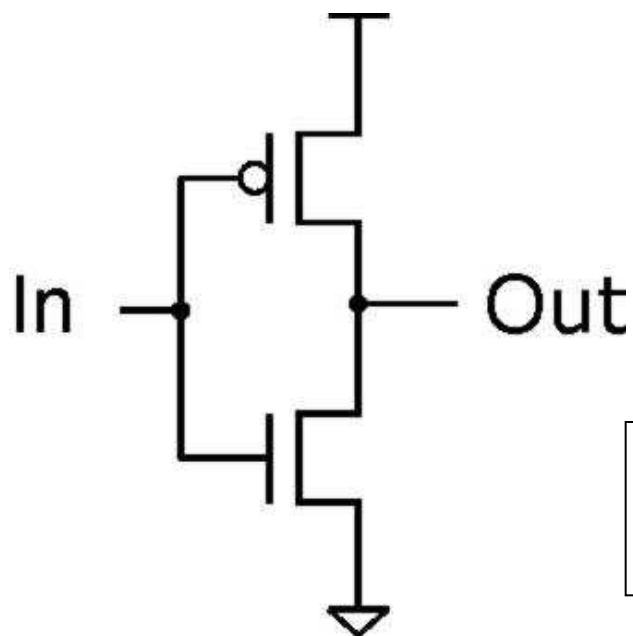
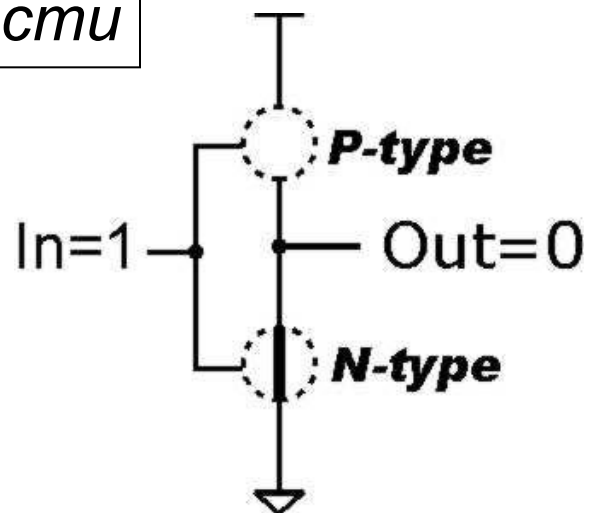
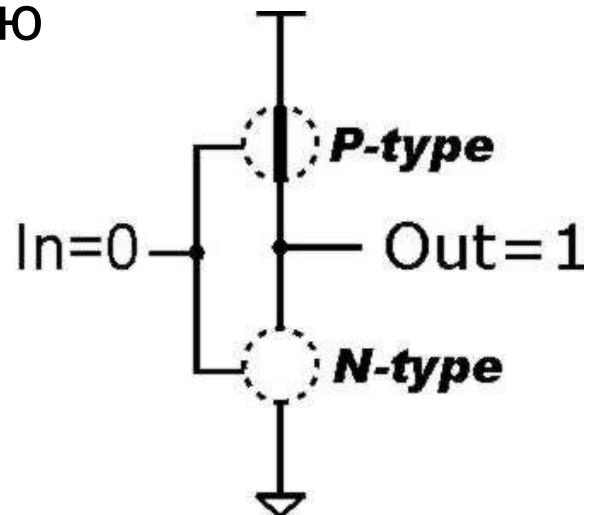
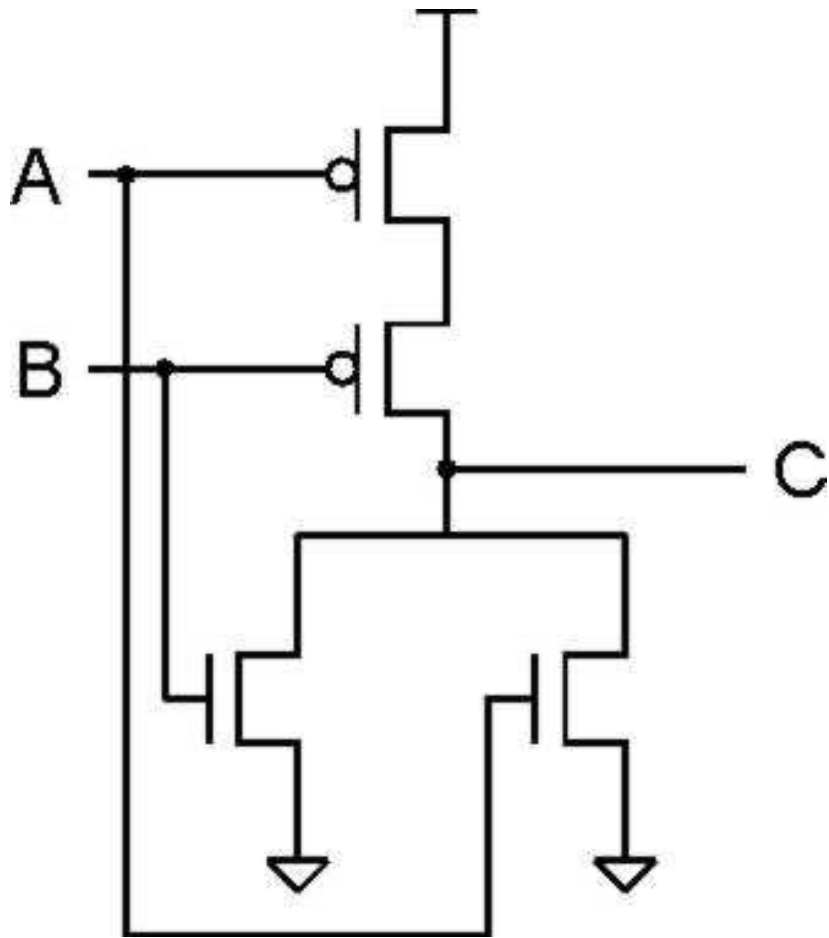


таблица истинности

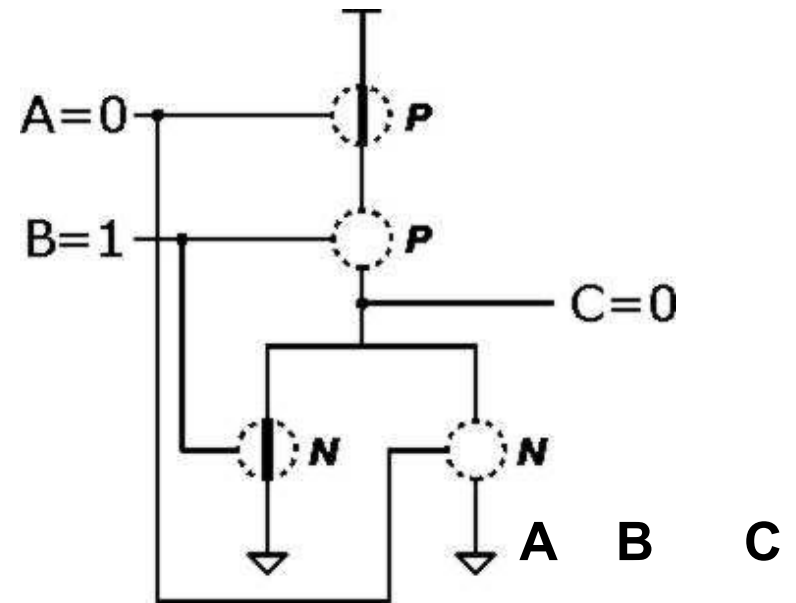
| In  | Out | In | Out |
|-----|-----|----|-----|
| 0 В | 5 В | 0  | 1   |
| 5 В | 0 В | 1  | 0   |



# Вентиль ИЛИ-НЕ !(AVB)

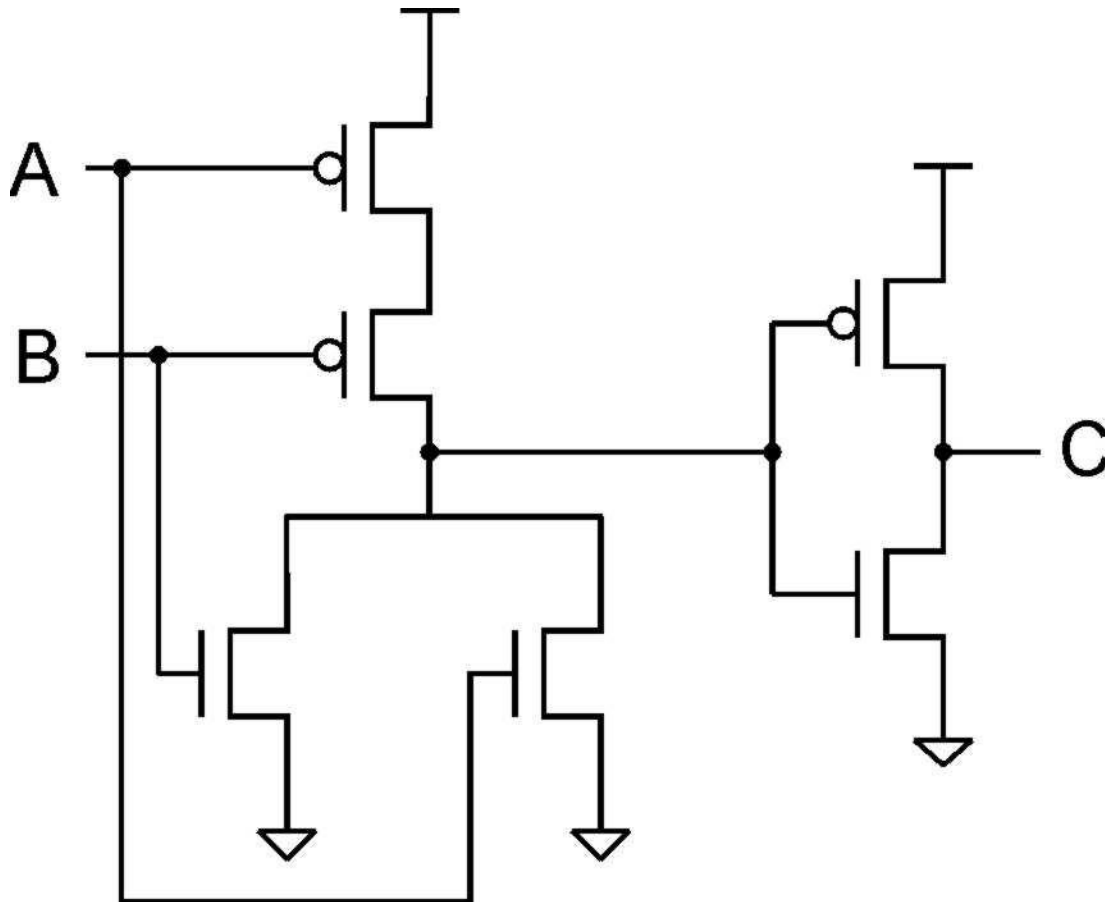


Сверху последовательная структура,  
снизу - параллельная



| A | B | C |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

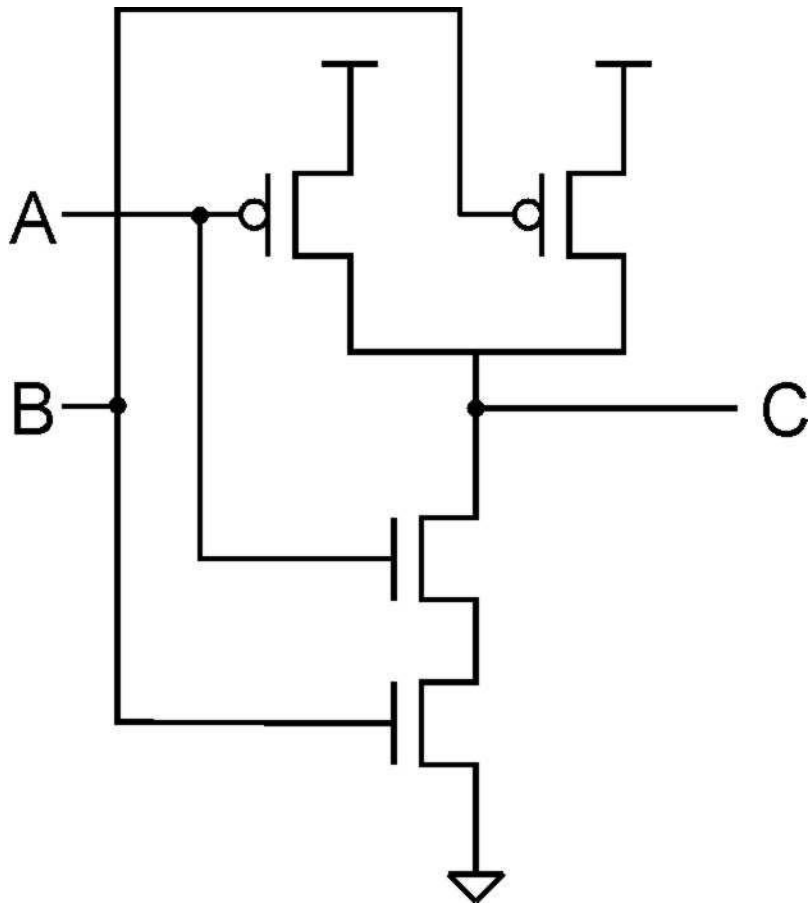
# Вентиль ИЛИ



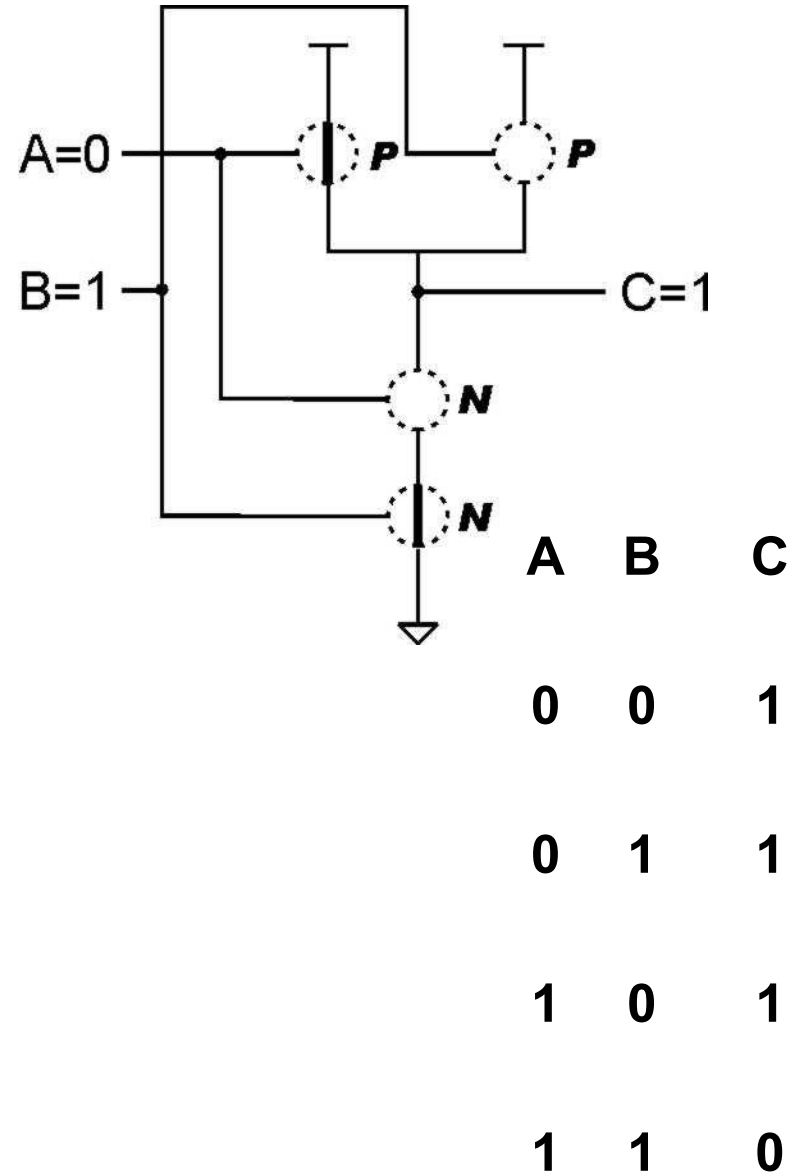
| A | B | C |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

*ИЛИ-НЕ с инвертером*

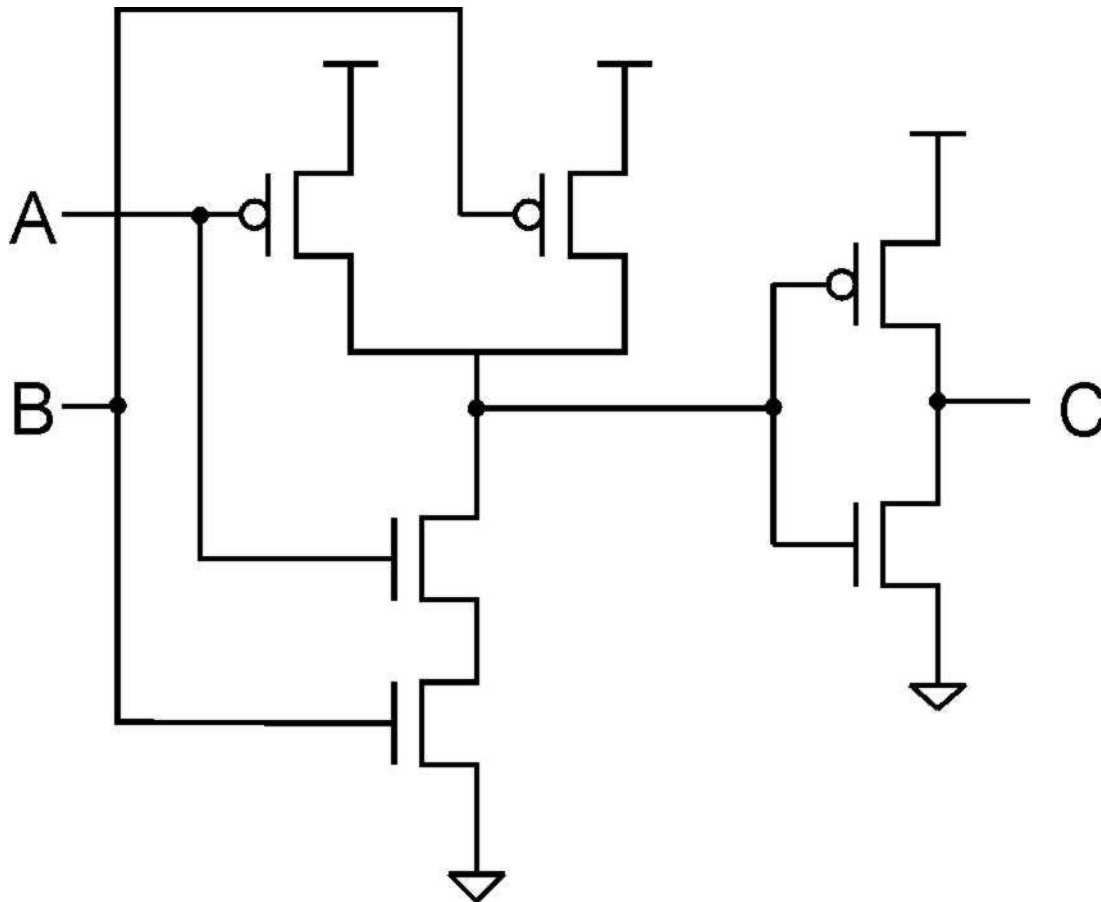
# Вентиль И-НЕ (NAND)



Сверху параллельная структура  
снизу - последовательная



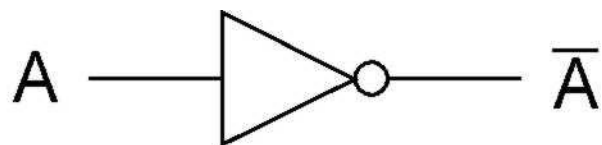
# Вентиль И



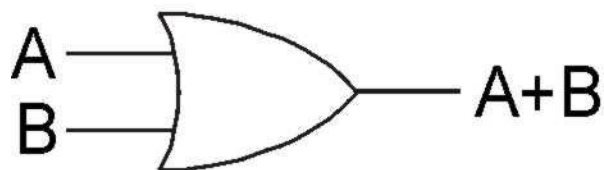
| A | B | C |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

*И-НЕ с инвертером*

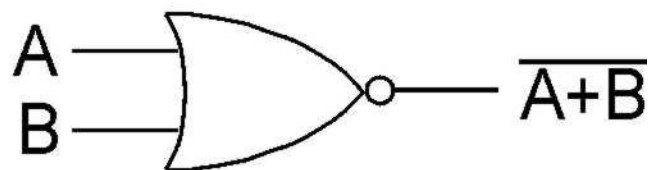
## Обозначение вентилях



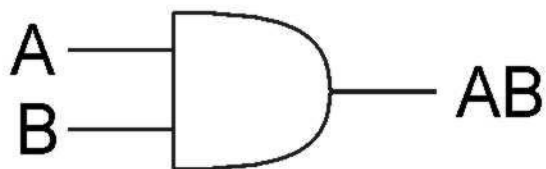
*NOT*



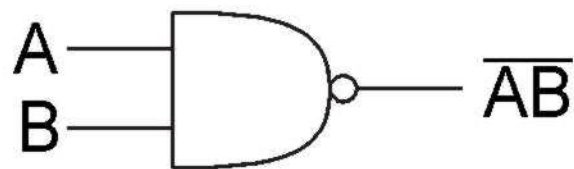
*OR*



*NOR*

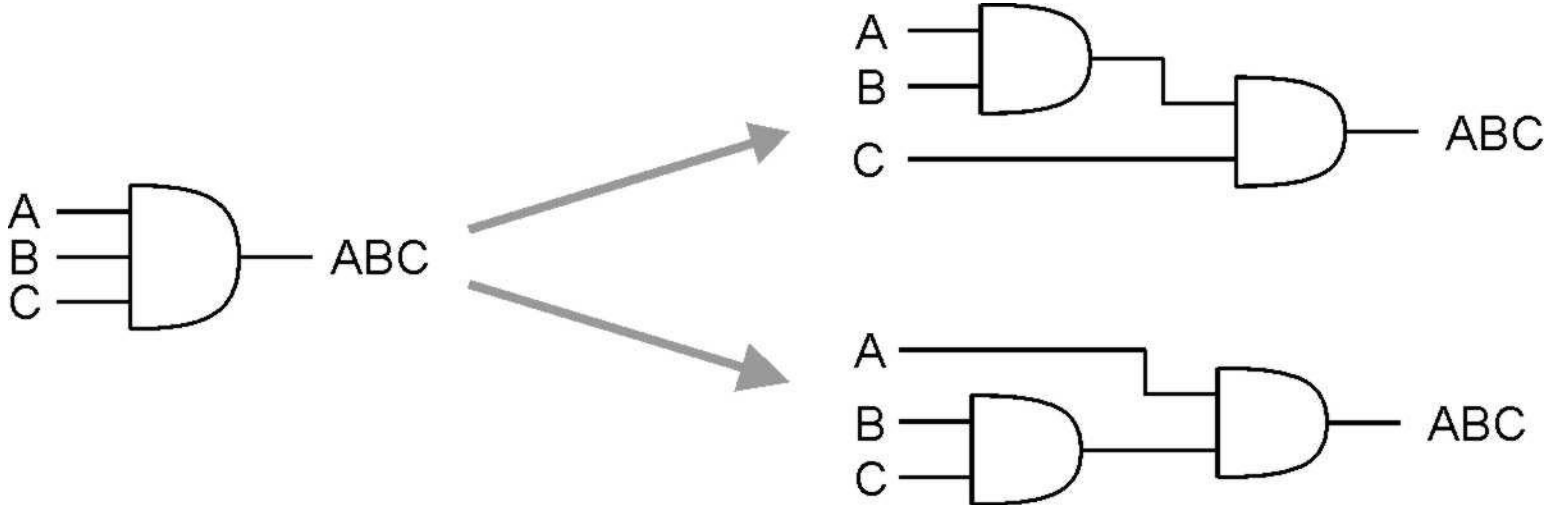


*AND*



*NAND*

# Вентили с несколькими входами



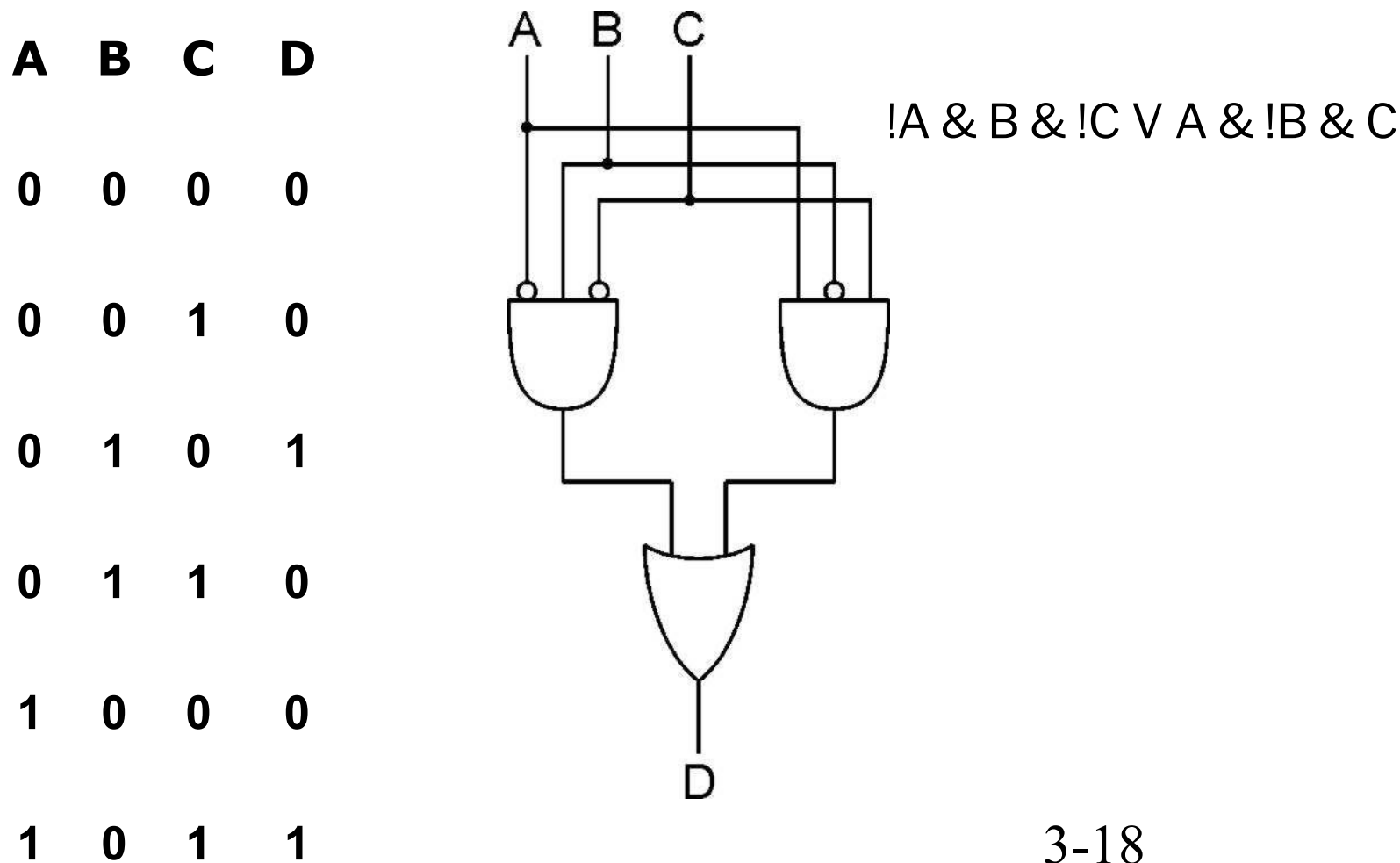


## Упражнение 1

Реализуем 3-операндный вентиль ИЛИ-НЕ на КМОП

## Полный набор логических функций

Легко видеть (тм), что имеемый набор вентиляей позволяет реализовать любую таблицу истинности



## Упражнение 2

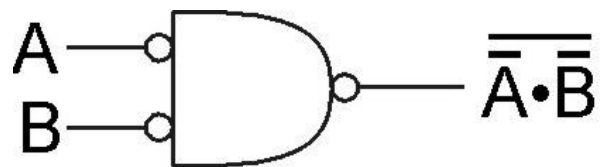
Реализуем следующую таблицу истинности

| <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> |
|----------|----------|----------|
| 0        | 0        | 0        |
| 0        | 1        | 1        |
| 1        | 0        | 1        |
| 1        | 1        | 0        |

# Закон Де-Моргана

Вентиль И превращается в ИЛИ

инвертированием входов и выходов



| <b>A</b> | <b>B</b> | $\overline{A}$ | $\overline{B}$ | $\overline{A} \cdot \overline{B}$ | $\overline{\overline{A} \cdot \overline{B}}$ |
|----------|----------|----------------|----------------|-----------------------------------|--|
| 0        | 0        | 1              | 1              | 1                                 | 0  |
| 0        | 1        | 1              | 0              | 0                                 | 1  |
| 1        | 0        | 0              | 1              | 0                                 | 1  |
| 1        | 1        | 0              | 0              | 0                                 | 1  |

## Итоги

### МОП-транзисторы реализуют логические функции как переключатели

- N-канальные: подключаются к земле, запитываются (логической 1) чтобы сбросить напряжение до 0
- P-канальные: подключаются к +V, запитываются (логическим 0) чтобы поднять напряжение до 1

### Основные вентили: НЕ, ИЛИ-НЕ, И-НЕ

- реализуют логические функции И, ИЛИ, НЕ и т.п.

# Реализация функций на вентилях

Рассмотренные примеры реализации логических функций — комбинаторные схемы

*Комбинаторная логическая схема*

- выход зависит только от текущих входных данных
- нет памяти состояний

*Последовательная логическая схема*

- выход зависит от цепочки входных комбинаций (прошлых и настоящей)
- хранит информацию о предыдущих входных данных (состояние)

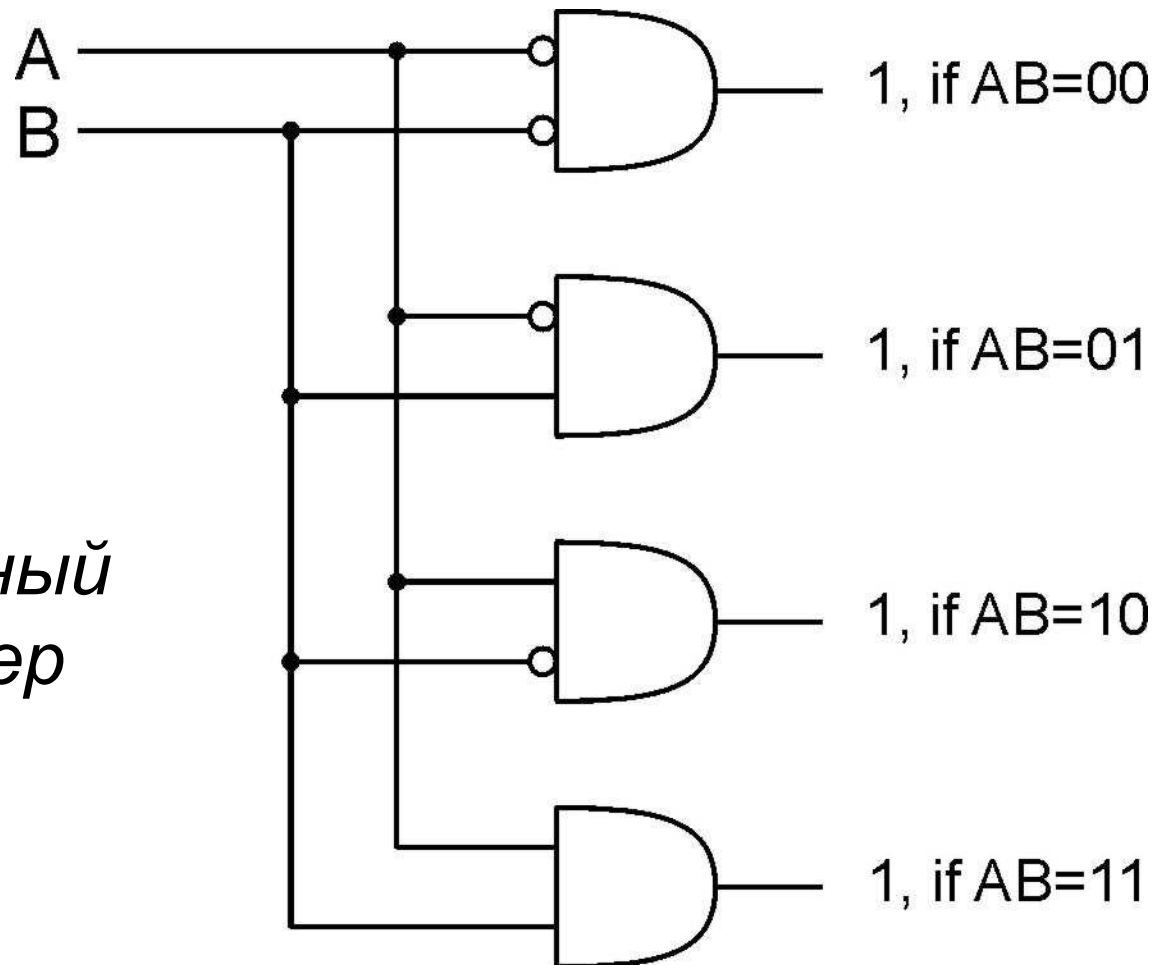
Рассмотрим примеры комбинаторных схем, затем перейдём к последовательным, хранящим информацию о состояниях

# Декодер

$n$  ВХОДОВ,  $2^n$  ВЫХОДОВ

- для каждого варианта ВХОДА один и только один ВЫХОД принимает 1

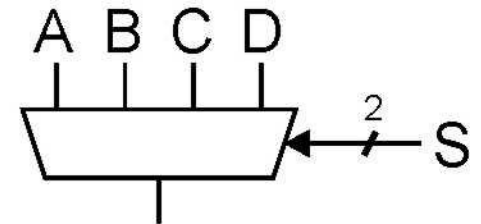
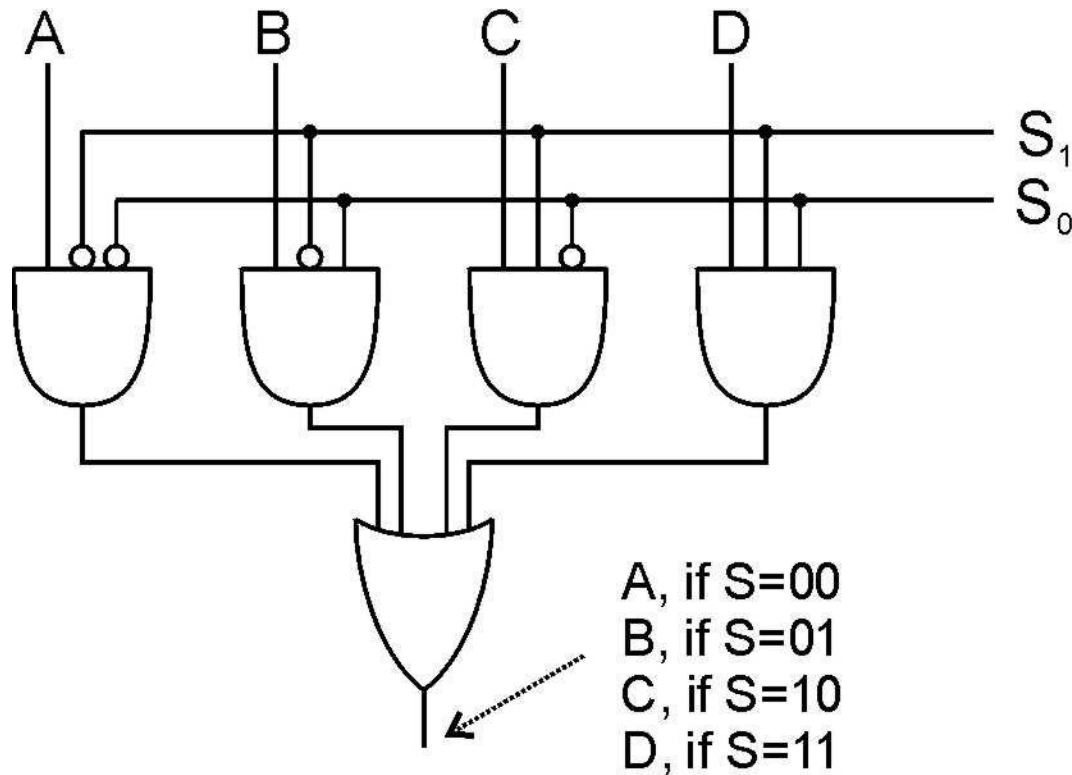
2-  
разрядный  
декодер



# Мультиплексор (MUX)

$n$ -разрядный селектор  $2^n$  входов, один выход

- output equals one of the inputs, depending on selector

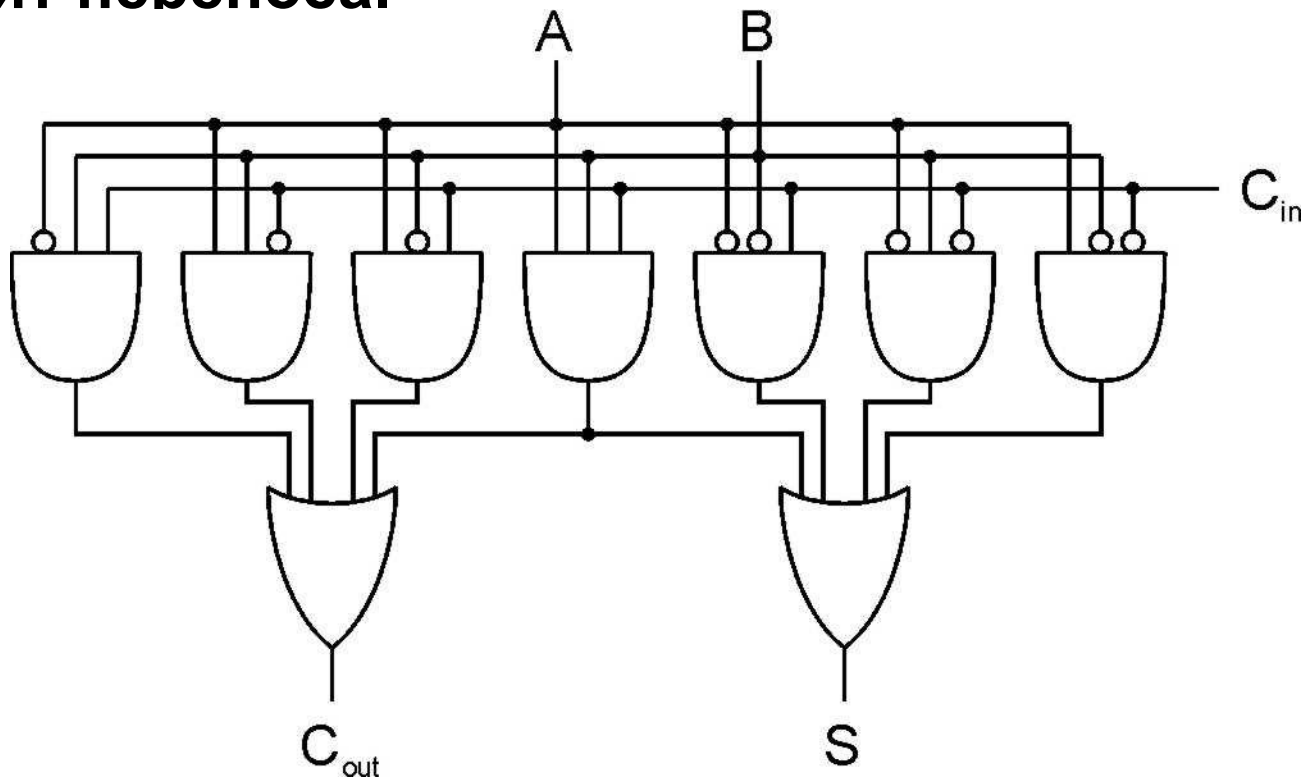


*4-to-1 MUX*



# Полный сумматор

2-разрядное сложение с переносом,  
на выходе 1-разрядная сумма и  
бит переноса.



| A | B | $C_{in}$ | S | $C_{out}$ |
|---|---|----------|---|-----------|
| 0 | 0 | 0        | 0 | 0         |
| 0 | 0 | 1        | 1 | 0         |
| 0 | 1 | 0        | 1 | 0         |
| 0 | 1 | 1        | 0 | 1         |
| 1 | 0 | 0        | 1 | 0         |
| 1 | 0 | 1        | 0 | 1         |
| 1 | 1 | 0        | 0 | 1         |

3-25<sup>1</sup>

# 4-разрядный сумматор

