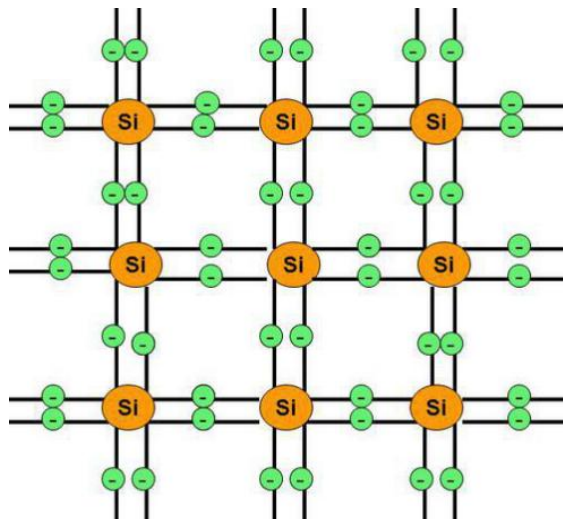


# Мастерская архитекторов микросхем

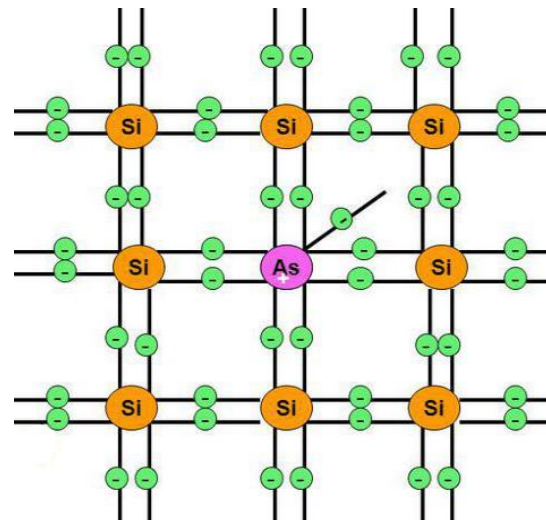
Новосибирск, июль 2017

# Основы электроники: Транзисторы и диоды

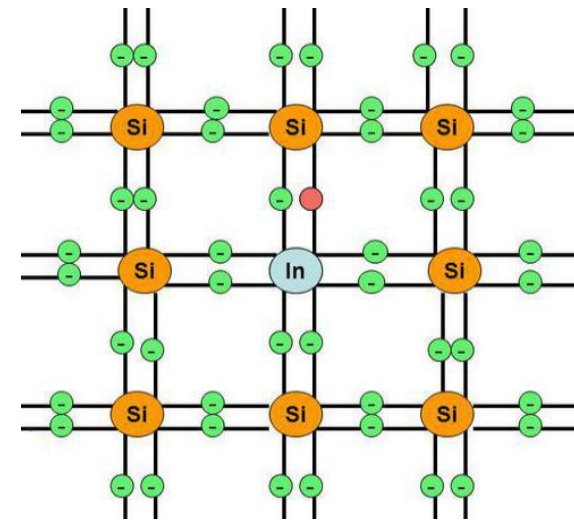
## Кремний



Собственный кремний



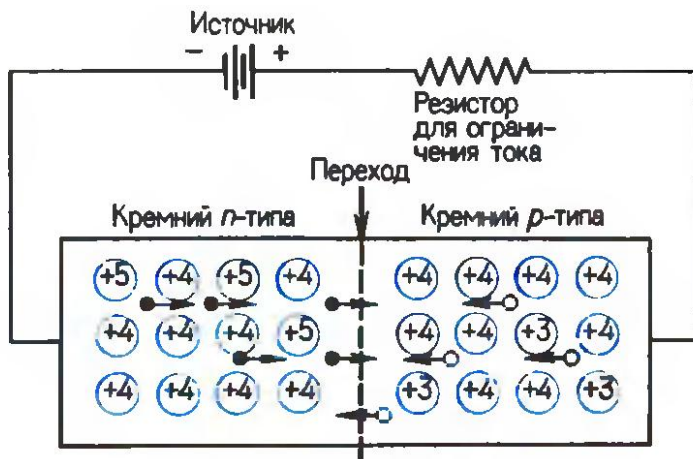
Кремний n-типа



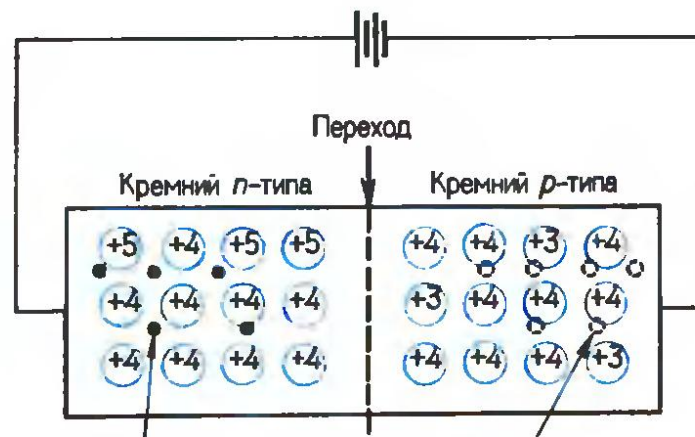
Кремний p-типа

# Основы электроники: Транзисторы и диоды

## Диод



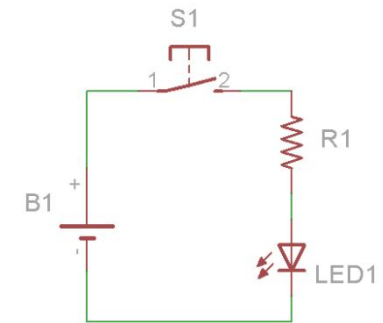
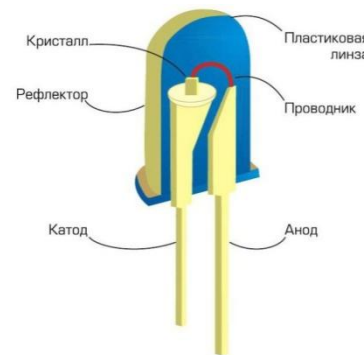
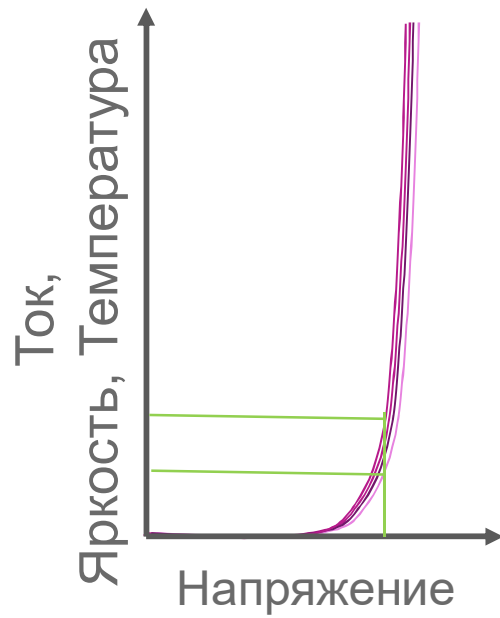
Прямое смещение, ток протекает



Обратное смещение, ток не протекает

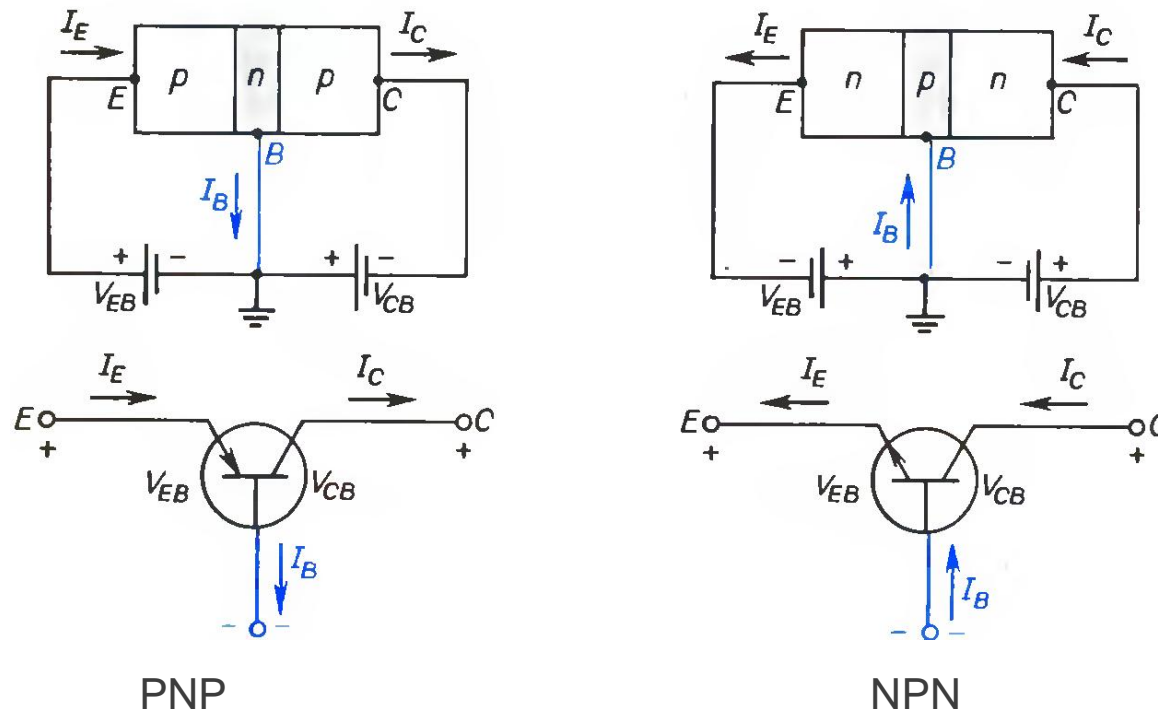
# Основы электроники: Транзисторы и диоды

## Светодиод



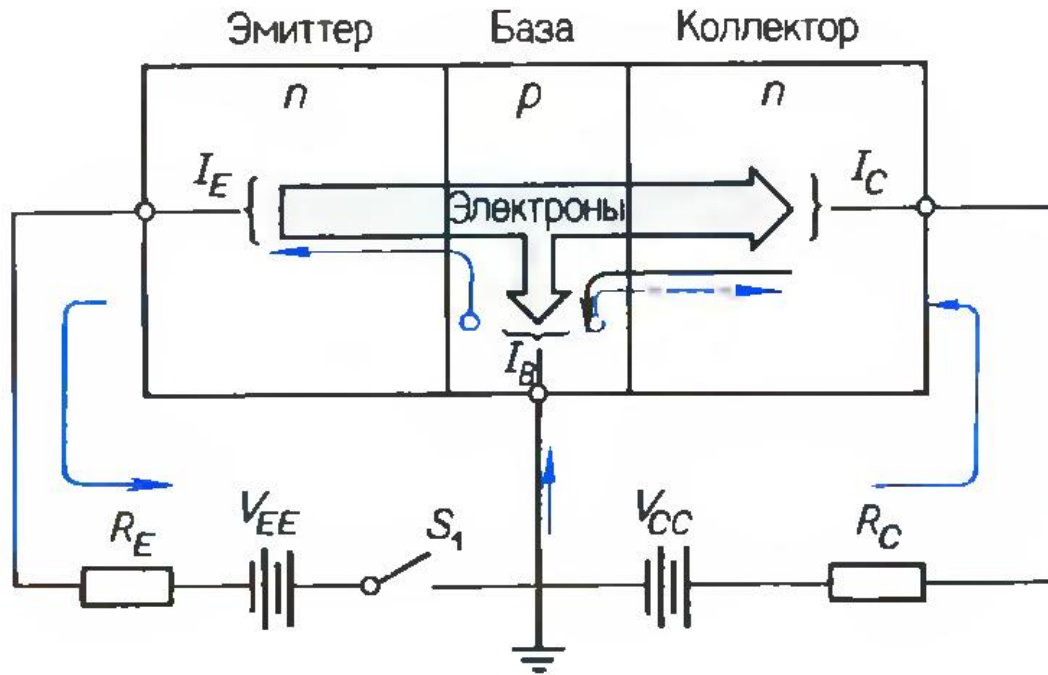
# Основы электроники: Транзисторы и диоды

## Биполярный транзистор

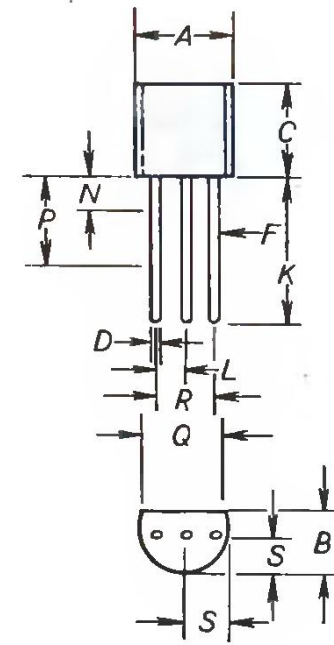


# Основы электроники: Транзисторы и диоды

## Биполярный транзистор



Принцип работы



2N3904

# Основы электроники: Транзисторы и диоды

## Биполярный транзистор

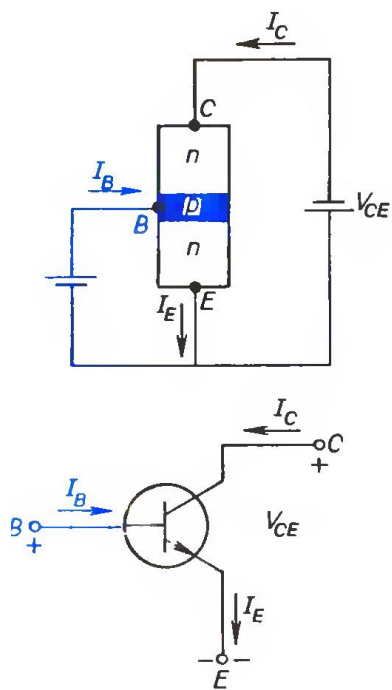
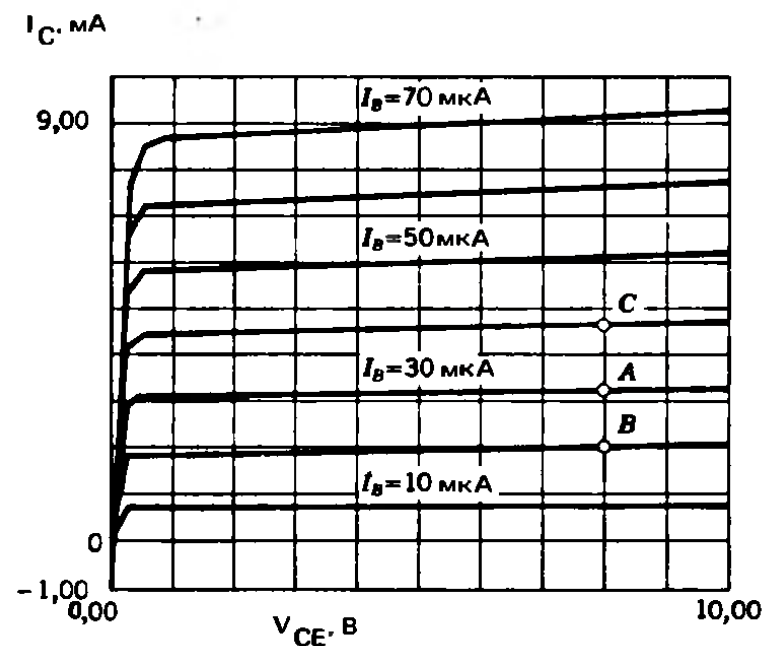


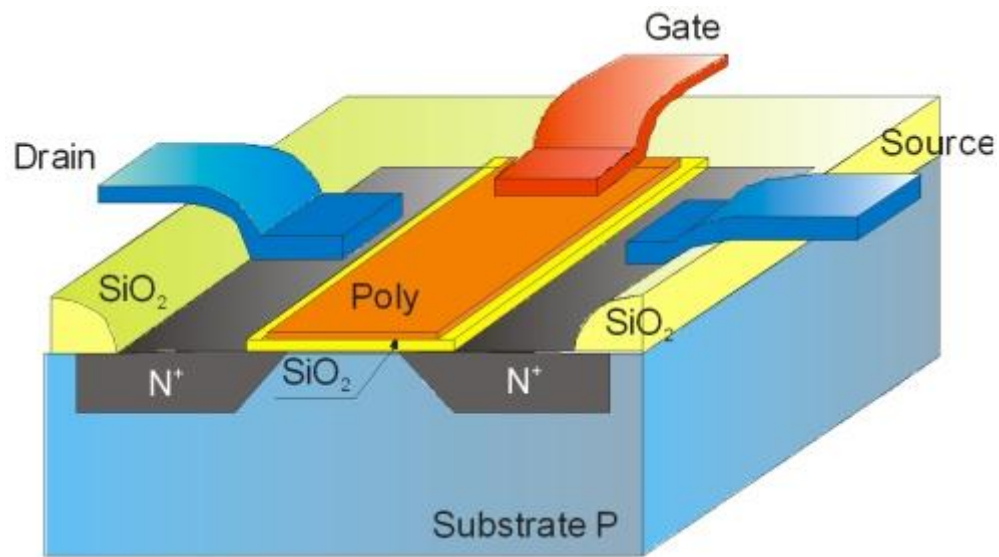
Схема с общим эмиттером



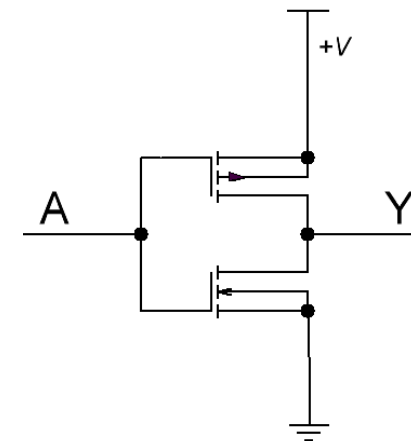
Вольт-амперная характеристика 2N3904

# Основы электроники: Транзисторы и диоды

## МОП транзистор



МОП-транзистор обогащённого типа с n-каналом

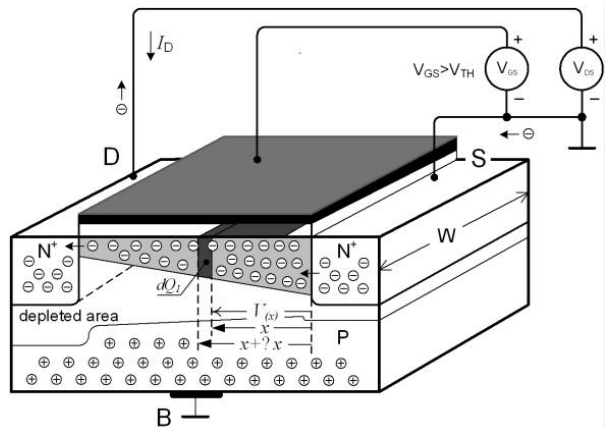


Каналы n-типа и p-типа

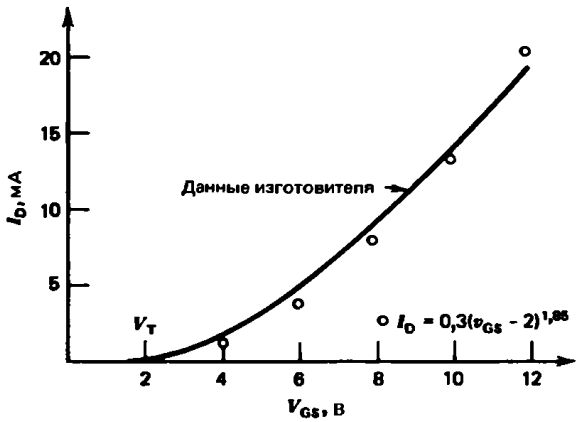
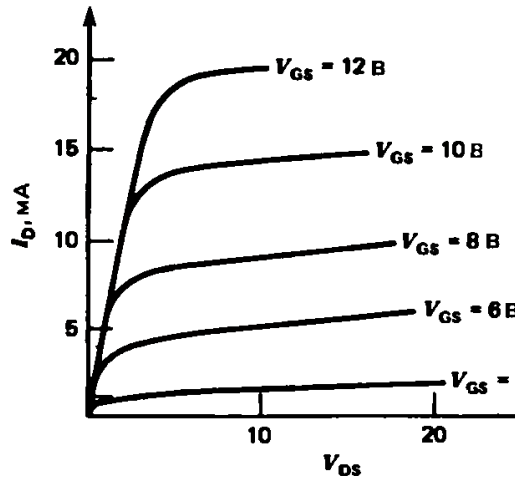


# Основы электроники: Транзисторы и диоды

## МОП транзистор



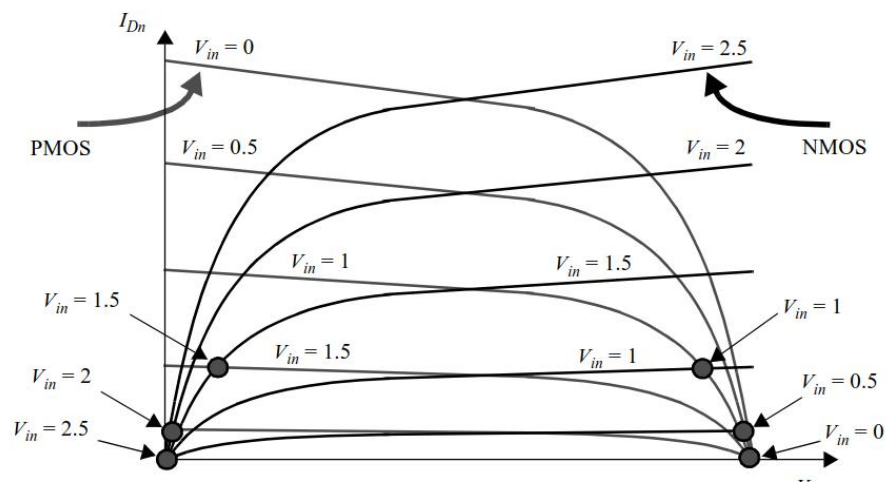
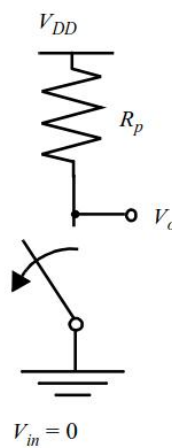
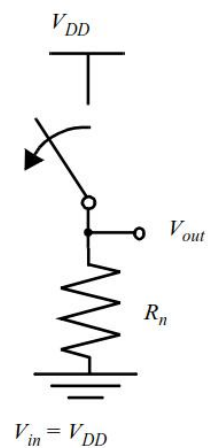
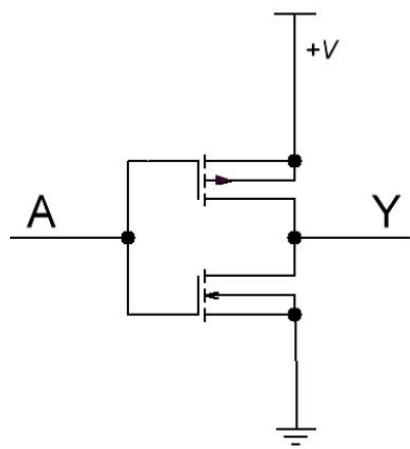
Проводимость канала  
МОП-транзистора



Характеристики транзистора 2N4351

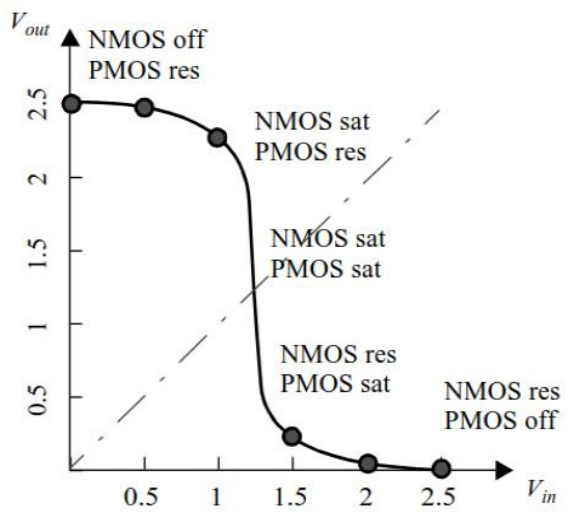
# Основы электроники: Транзисторы и диоды

## КМОП инвертор

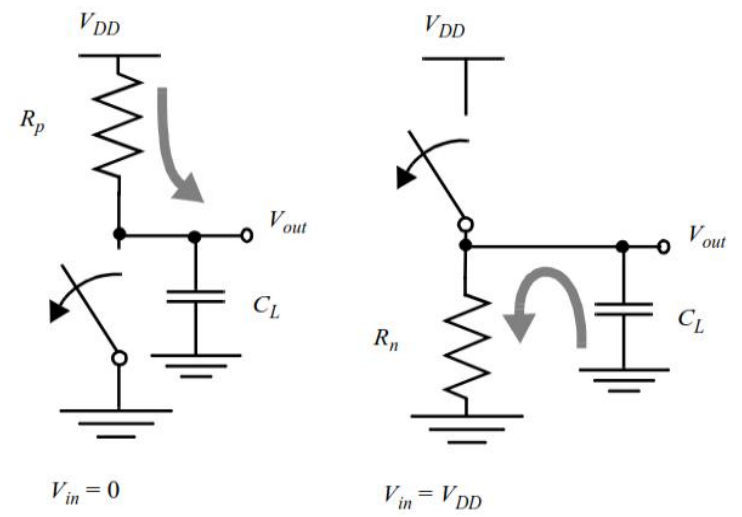


# Основы электроники: Транзисторы и диоды

## КМОП инвертор



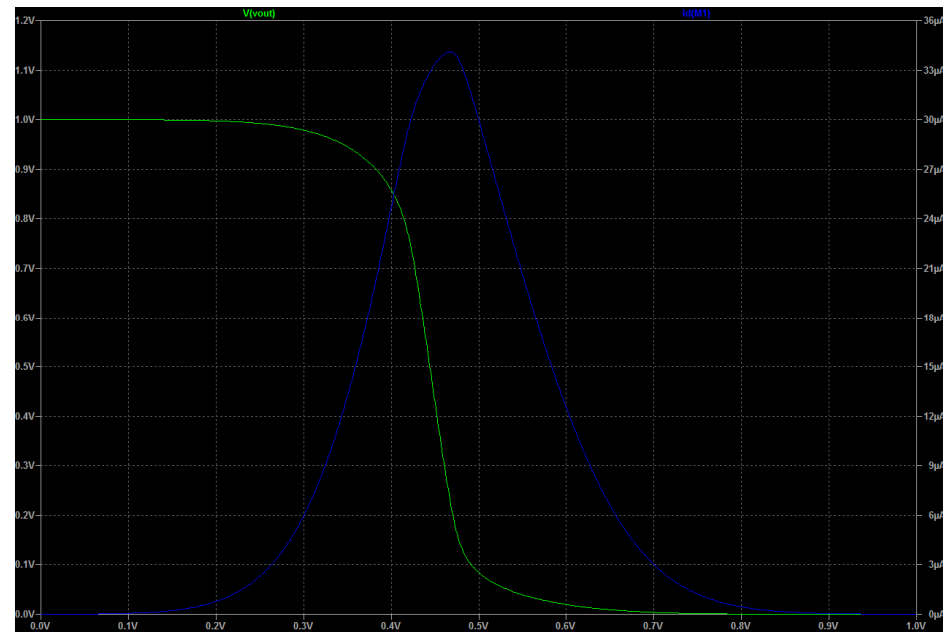
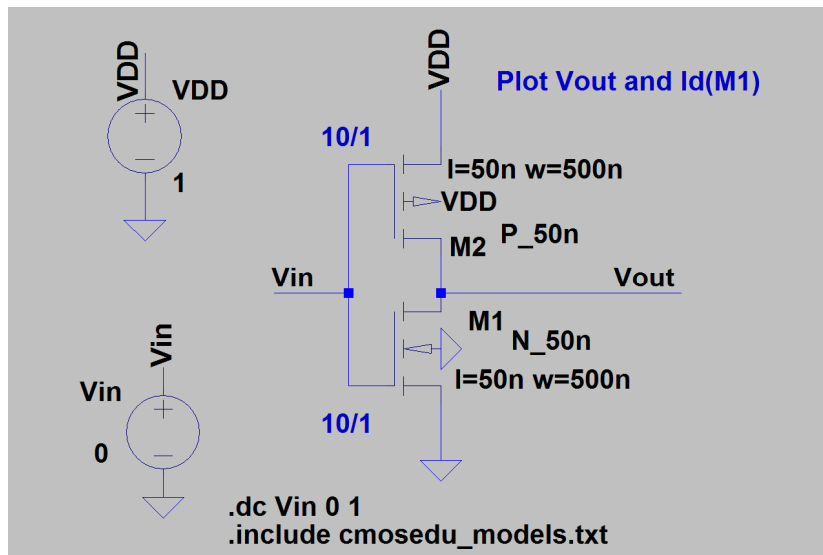
Статическая характеристика инвертора



Динамическое поведение инвертора

# Основы электроники: Транзисторы и диоды

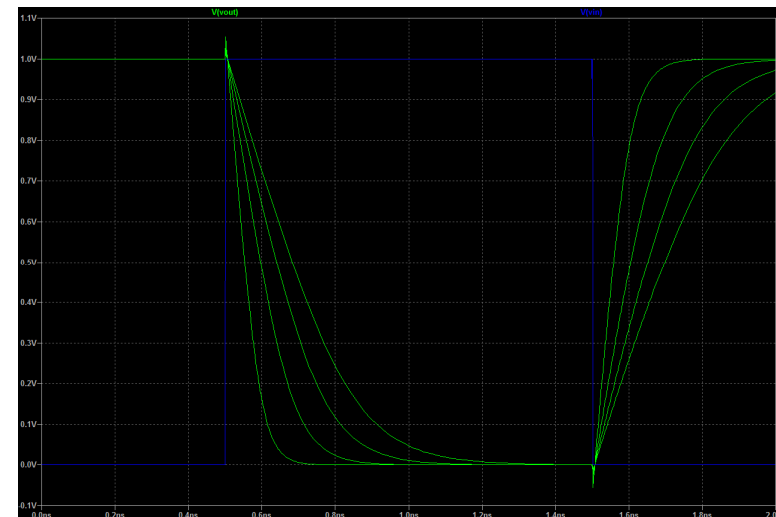
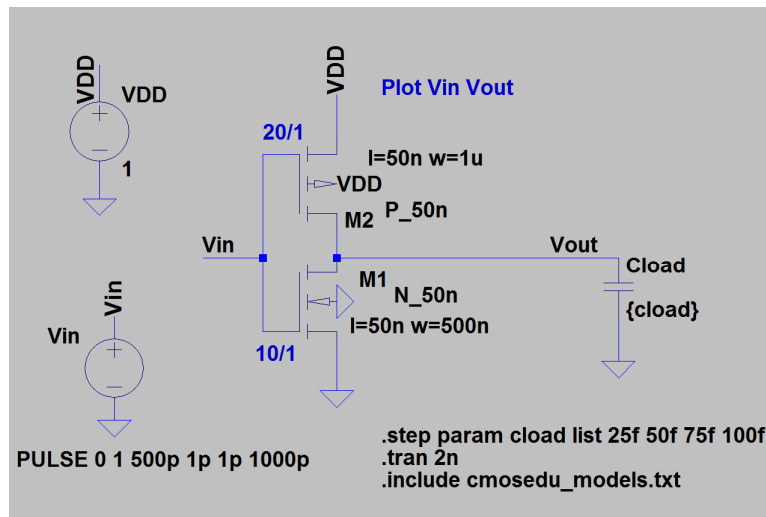
## КМОП инвертор



Статическая характеристика инвертора

# Основы электроники: Транзисторы и диоды

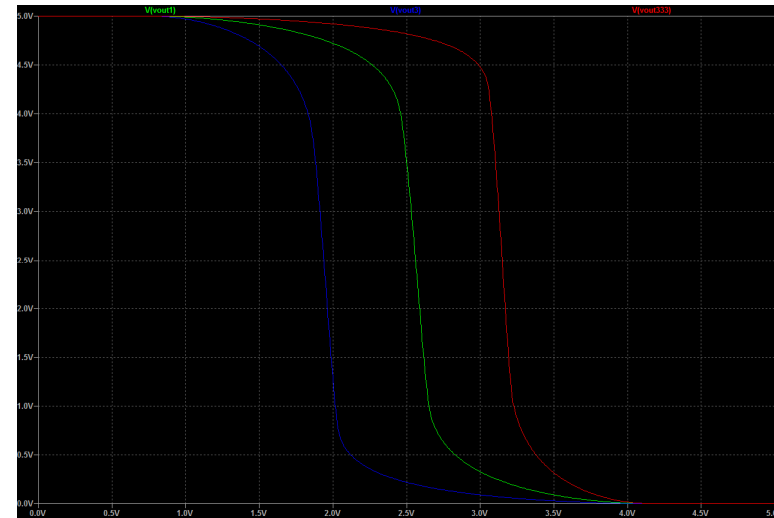
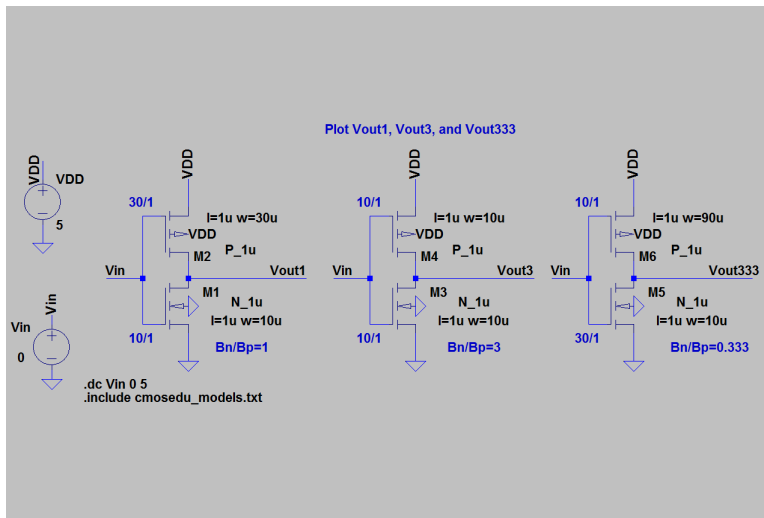
## КМОП инвертор



## Динамическое поведение инвертора

# Основы электроники: Транзисторы и диоды

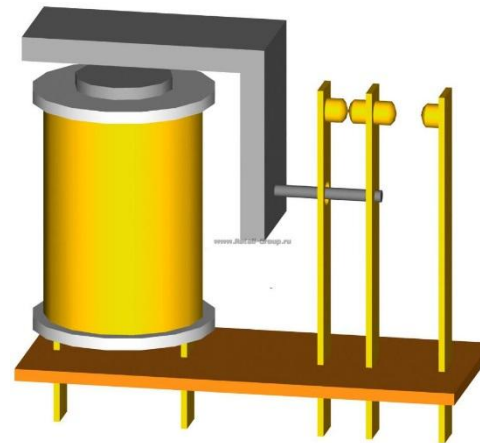
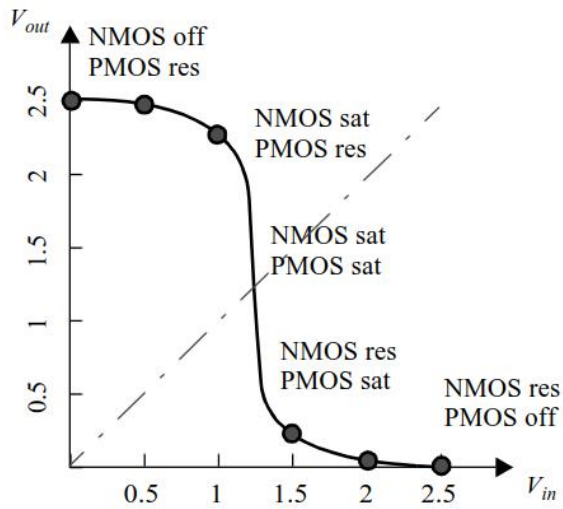
## КМОП инвертор



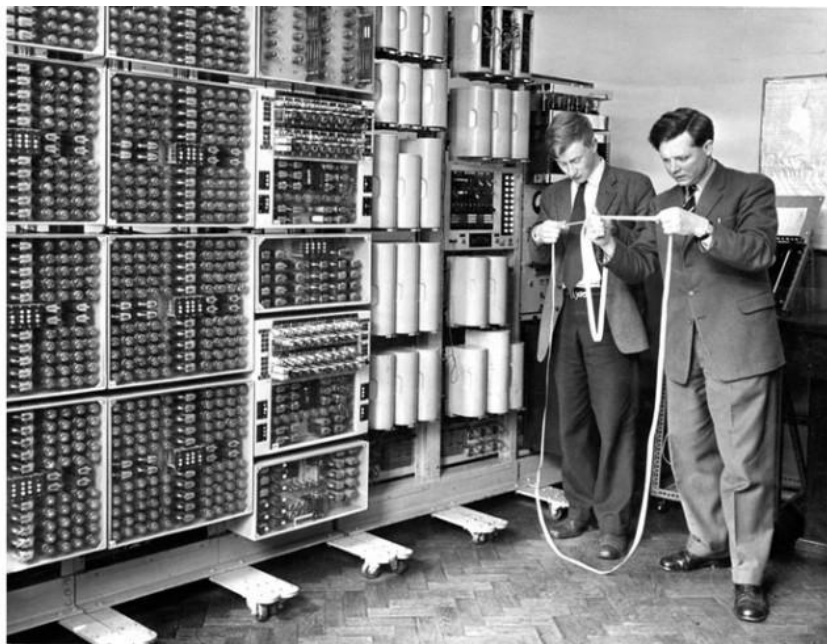
Влияние разброса параметров транзисторов

# Основы электроники: Транзисторы и диоды

## Инвертор и реле



# Компьютер на реле





# Системы счисления

Тысячи  
Сотни  
Десятки  
Единицы

Десятичная система счисления

$$1984 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 4 \times 10^0 = 1000 + 900 + 80 + 4$$

Двоичная система счисления

$$1010_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 8_{10} + 2_{10} = 10_{10}$$

Шестнадцатеричная система счисления

$$3BA_{16} = 3 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 10 = 954_{10}$$

# Системы счисления

Однобитовое двоичное число	Двухбитовое двоичное число	Трехбитовое двоичное число	Четырехбитовое двоичное число	Одноразрядное шестнадцатеричное число	Десятичный эквивалент
0	00	000	0000	0	0
1	01	001	0001	1	1
	10	010	0010	2	2
	11	011	0011	3	3
		100	0100	4	4
		101	0101	5	5
		110	0110	6	6
		111	0111	7	7
			1000	8	8
			1001	9	9
			1010	A	10
			1011	B	11
			1100	C	12
			1101	D	13
			1110	E	14
			1111	F	15

# Системы счисления

## Сложение двоичных чисел

$$0+0=0$$

$$1+0=1$$

$$0+1=1$$

$$1+1=10$$

*Перенос*

*Слагаемое 1*

*Слагаемое 2*

*Сумма*

+

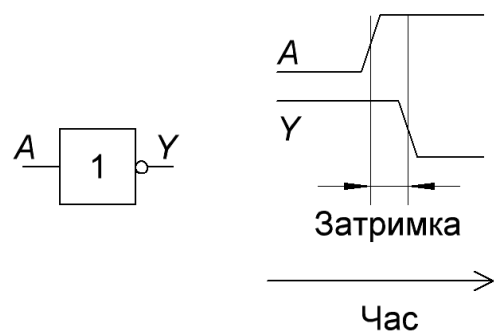
1 1

1 0 1 1

0 0 1 1

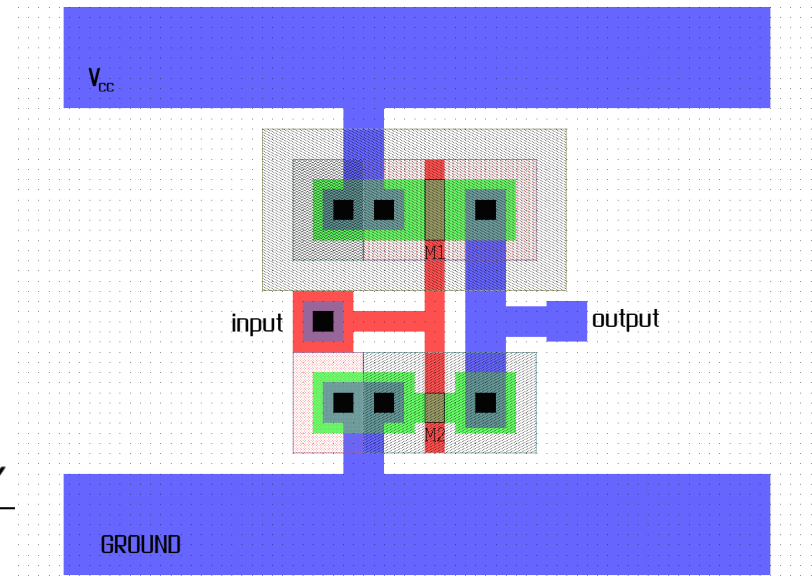
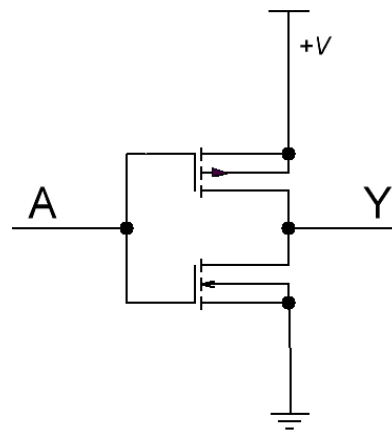
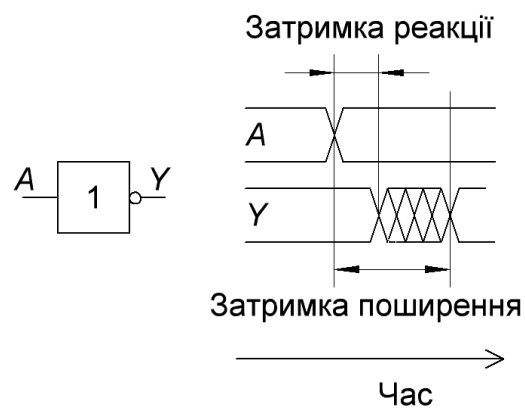
1 1 1 0

# Логические элементы: НЕ

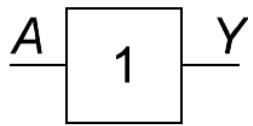


$$Y = \bar{A}$$

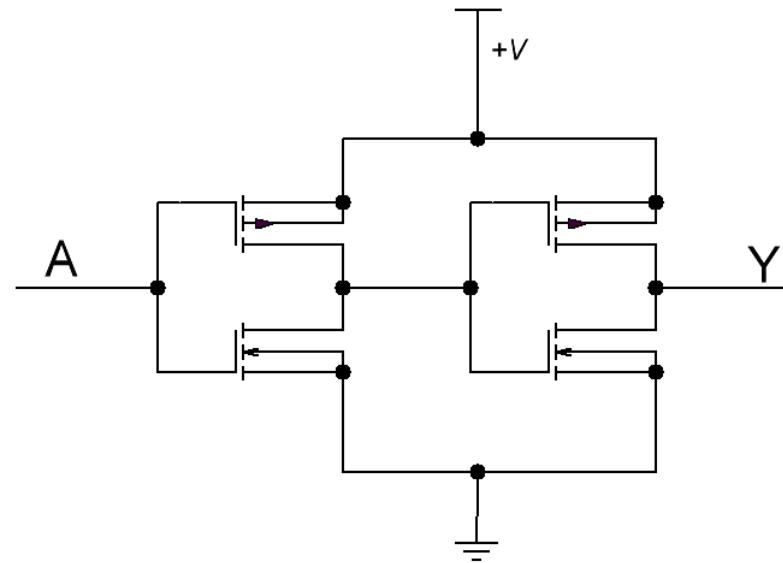
A	Y
0	1
1	0



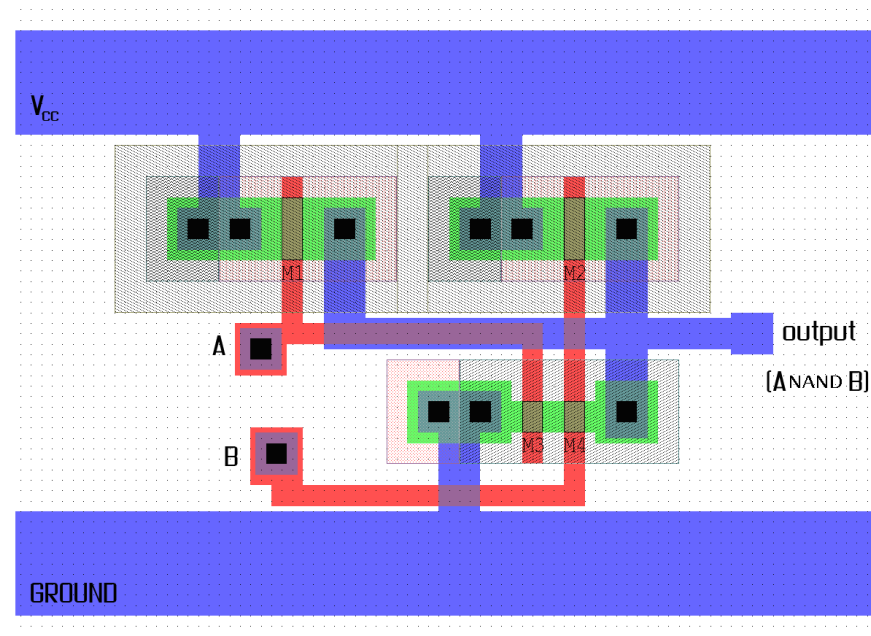
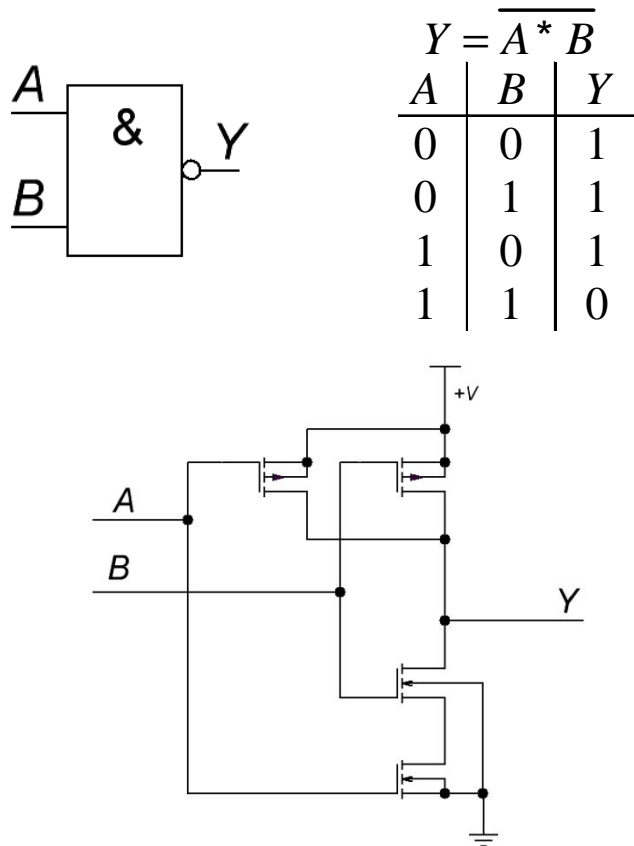
# Логические элементы : Буфер


$$Y = A$$

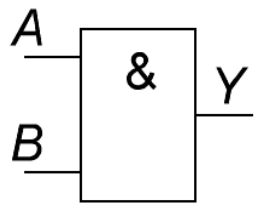
A	Y
0	0
1	1



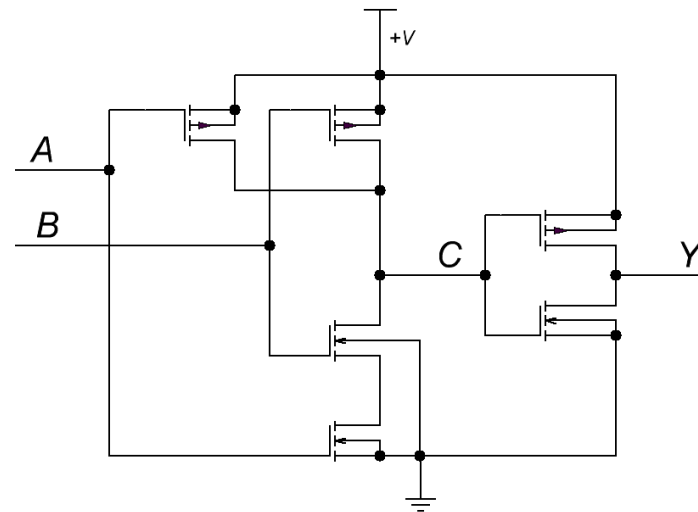
# Логические элементы : И-НЕ



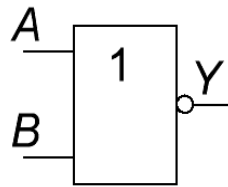
# Логические элементы : И


$$Y = A * B$$

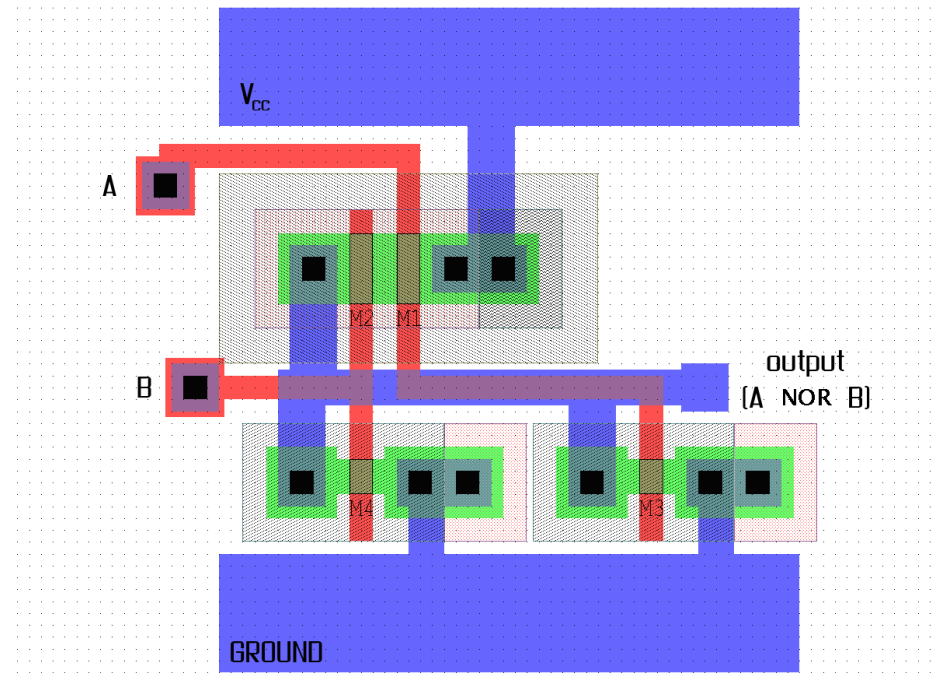
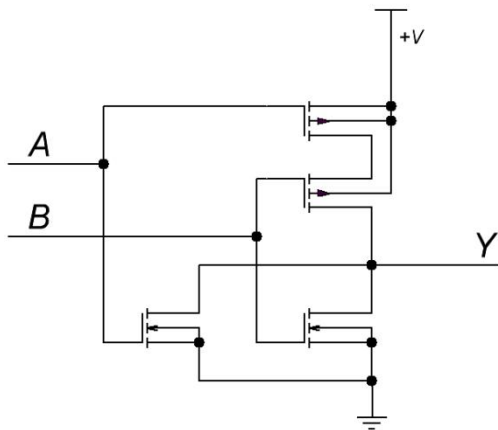
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0



# Логические элементы : ИЛИ-НЕ

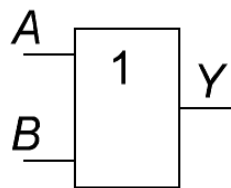

$$Y = \overline{A + B}$$

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

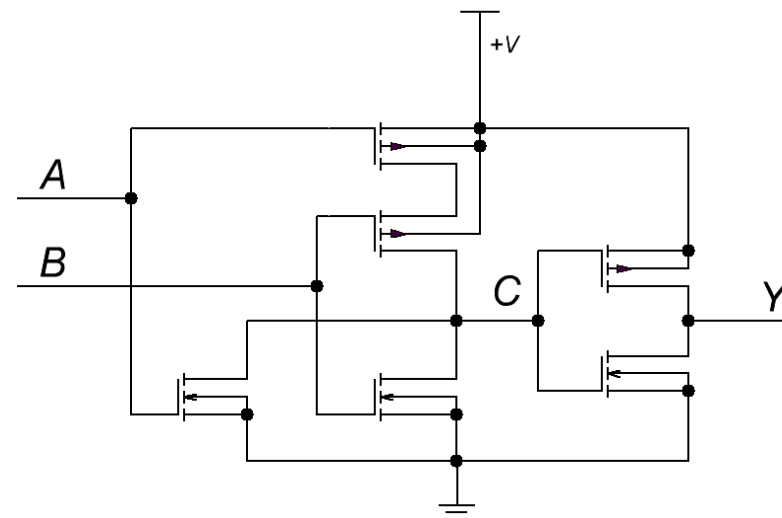




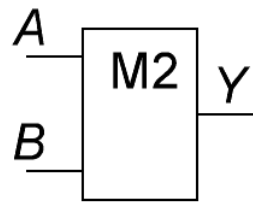
# Логические элементы: ИЛИ


$$Y = A + B$$

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

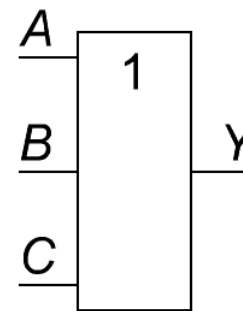


# Логические элементы



$$Y = A \dot{\wedge} B$$

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



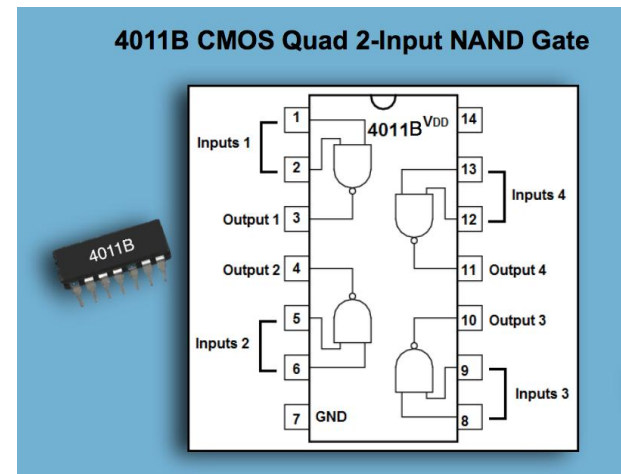
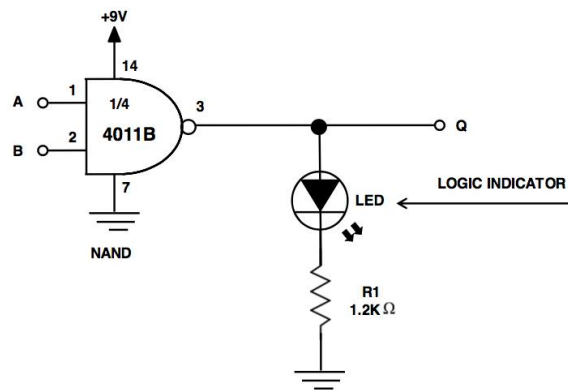
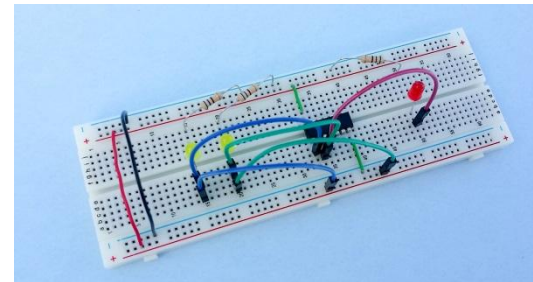
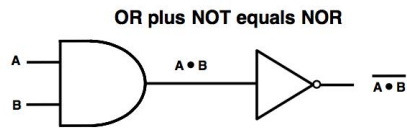
$$Y = A + B + C$$

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

Вычислением суммы по модулю 2

Логический элемент ИЛИ с тремя входами

# Логические элементы



# Логические элементы

IC CD4001 - Quad 2-Input NOR Buffered Gate

IC CD4002 - 4-Input NOR Gate

IC CD4025 - Triple 3-Input NOR Gate

IC CD4070 - Quad 2-Input XOR Gate

IC CD4071 - Quad 2-Input OR Buffered Gate

IC CD4072 - Dual 4-Input OR Gate

IC CD4073 - Triple 3-Input AND Gate

IC CD4078 - 8-Input NOR Gate

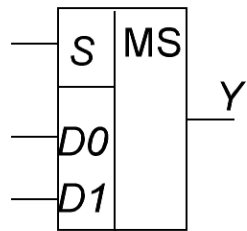
IC CD4081 - Quad 2-Input AND Gate

IC CD4082 - Dual 4-Input AND Gate

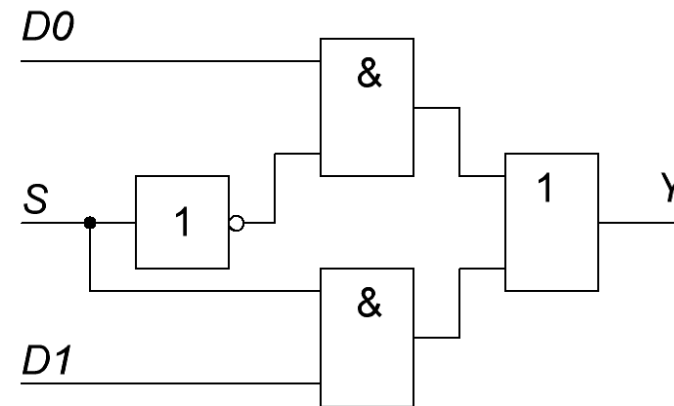
IC CD4069 - Inverter

# Комбинационные логические схемы

Мультиплексор

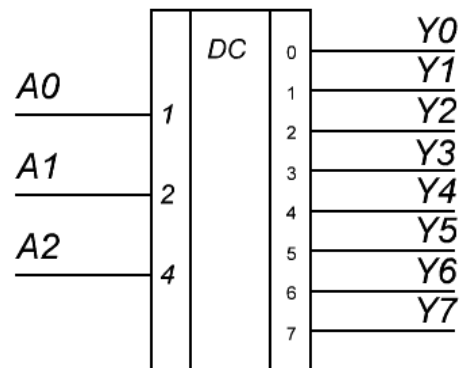


<i>S</i>	<i>D0</i>	<i>D1</i>	<i>Y</i>
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

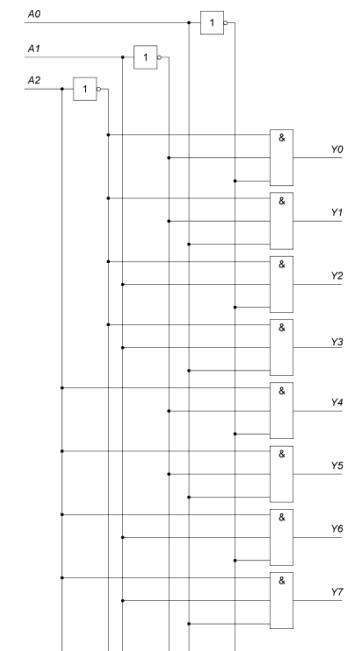


# Комбинационные логические схемы

## Дешифратор

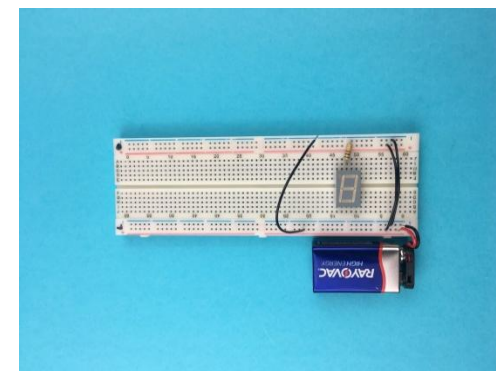
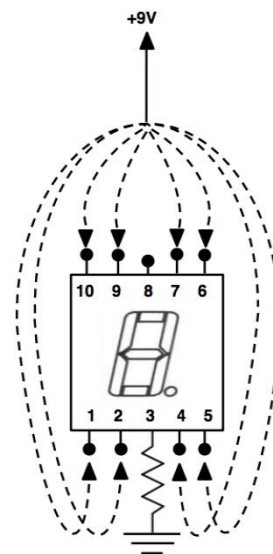
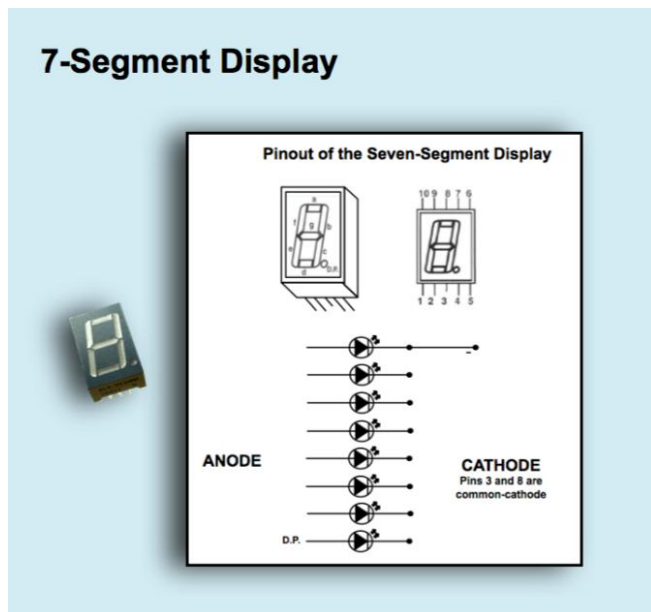


A2	A1	A0	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1



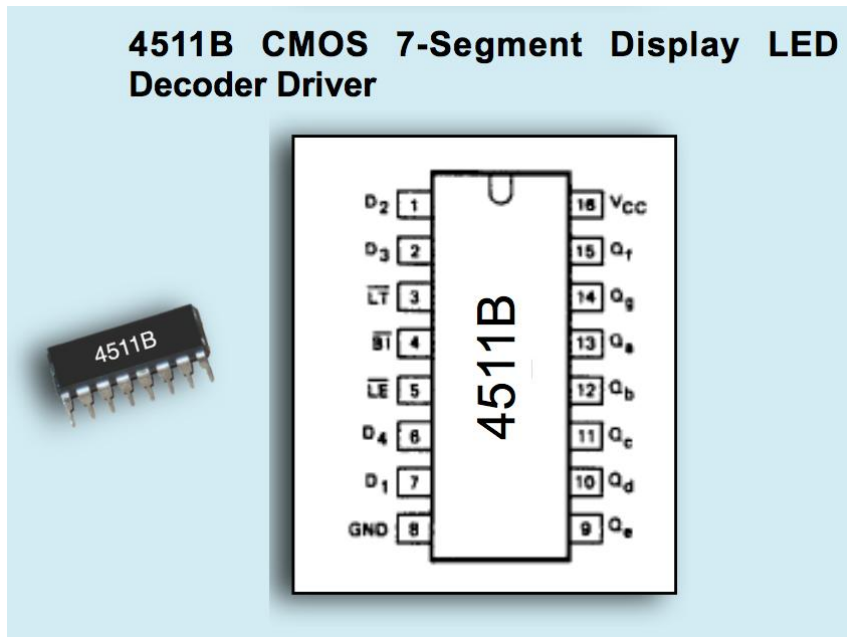
# Комбинационные логические схемы

Дешифратор для семисегментного индикатора



# Комбинационные логические схемы

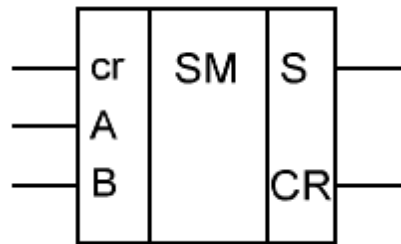
Дешифратор для семисегментного индикатора





# Комбинационные логические схемы

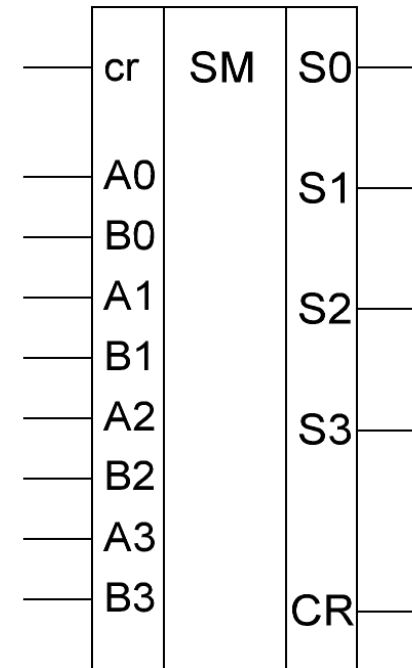
Сумматор



$$S = A \oplus B \oplus cr$$

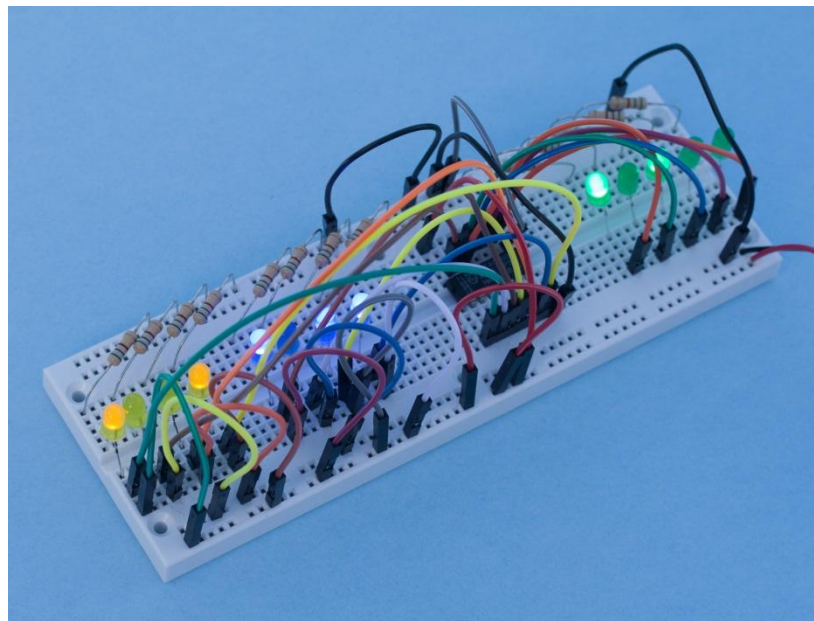
$$CR = A * B + A * cr + B * cr$$

<i>cr</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>S</i>	<i>CR</i>
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
1	1	1	1	1



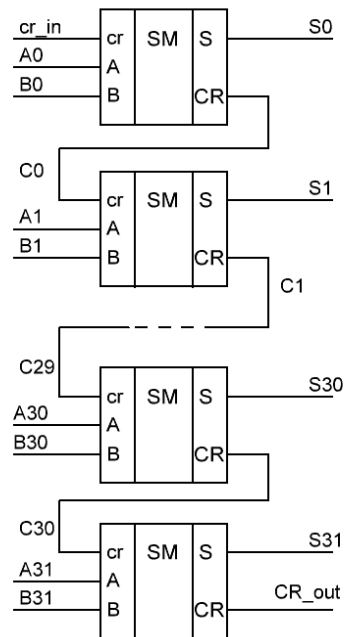
# Комбинационные логические схемы

Сумматор



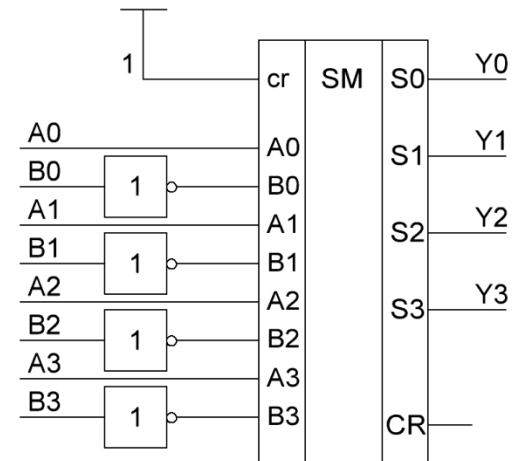
# Комбинационные логические схемы

Многоразрядный сумматор



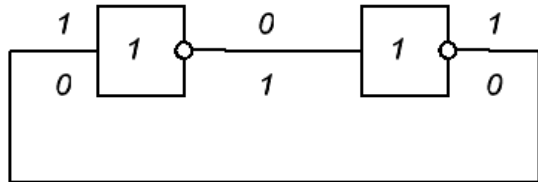
$$\begin{array}{r}
 \text{Перенос} \quad \quad \quad 1 \ 1 \\
 \text{Слагаемое 1} \quad + \quad 1 \ 0 \ 1 \ 1 \\
 \text{Слагаемое 2} \quad \quad \quad 0 \ 0 \ 1 \ 1 \\
 \hline
 \text{Сумма} \quad \quad \quad 1 \ 1 \ 1 \ 0
 \end{array}$$

Схема вычитания

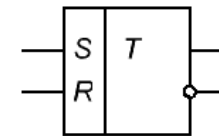
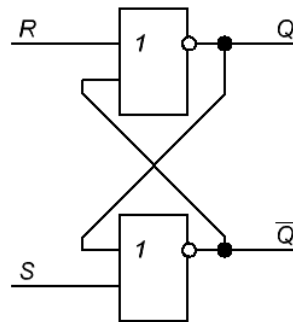


# Последовательные схемы

Бистабильная  
логическая схема



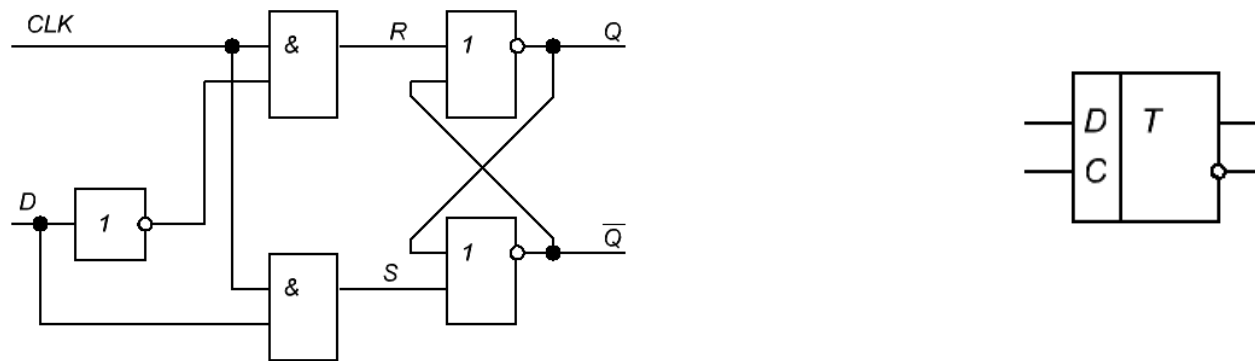
RS-триггер



$S$	$R$	$Q$	$\bar{Q}$	Номер комбинации
0	0	$Q_{пред}$	$\bar{Q}_{пред}$	1
0	1	0	1	2
1	0	1	0	3
1	1	0	0	4

# Последовательные схемы

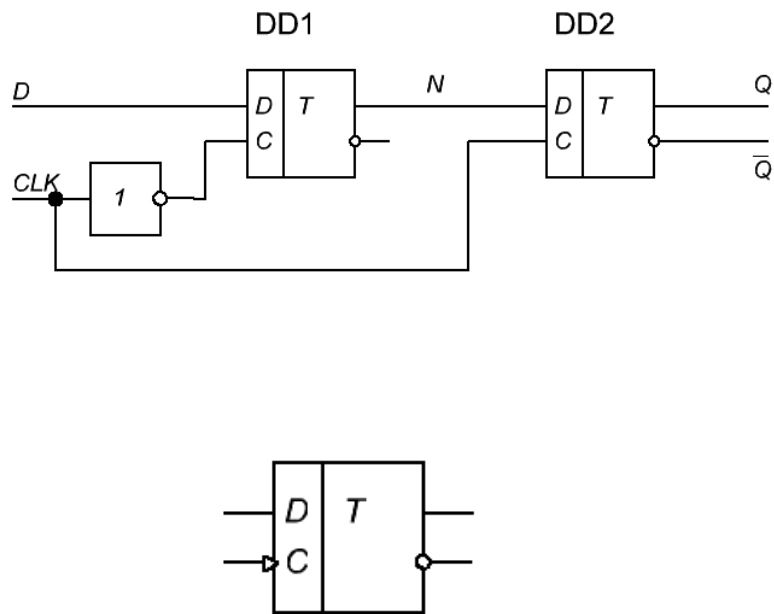
D-триггер-защелка



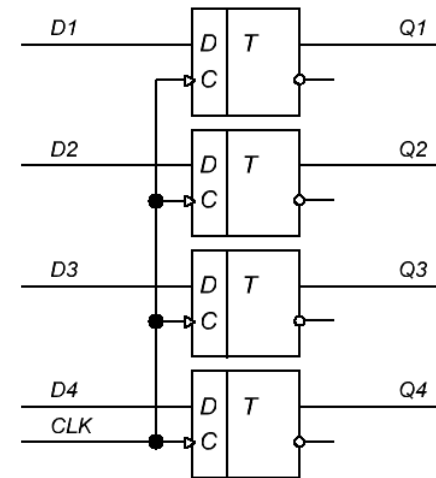
$CLK$	$D$	$S$	$R$	$Q$	$\bar{Q}$
0	—	0	0	$Q_{пред}$	$\bar{Q}_{пред}$
1	0	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0

# Последовательные схемы

D-триггер

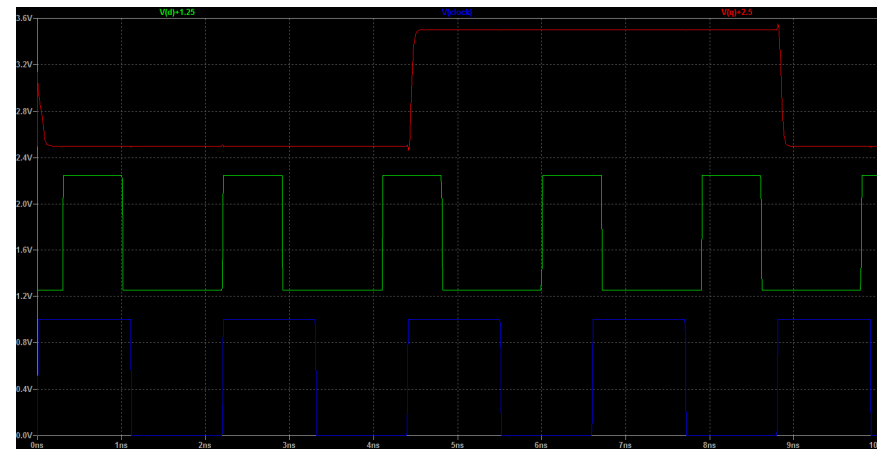
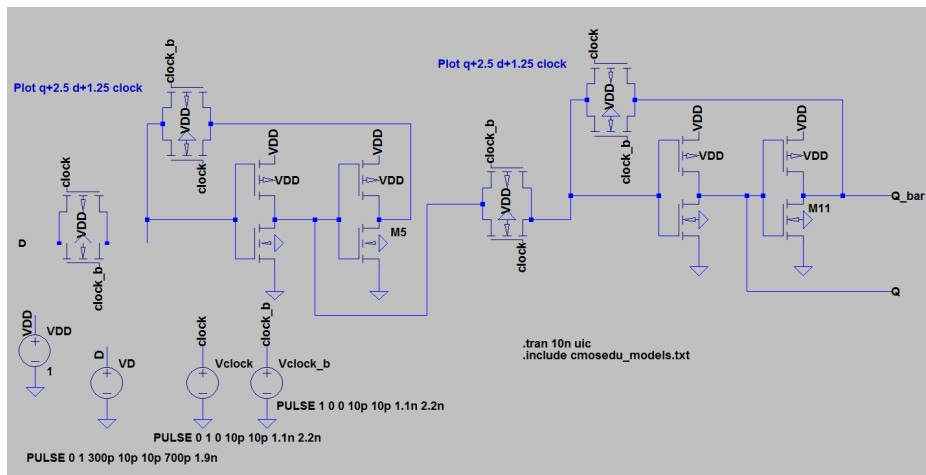


Регистр



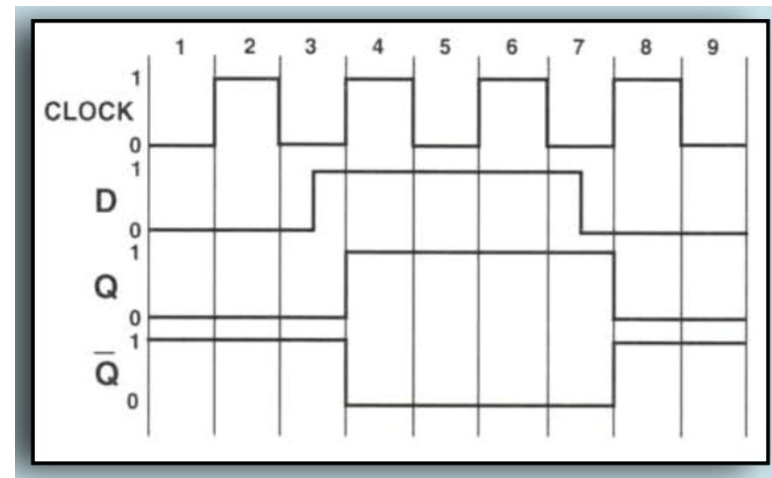
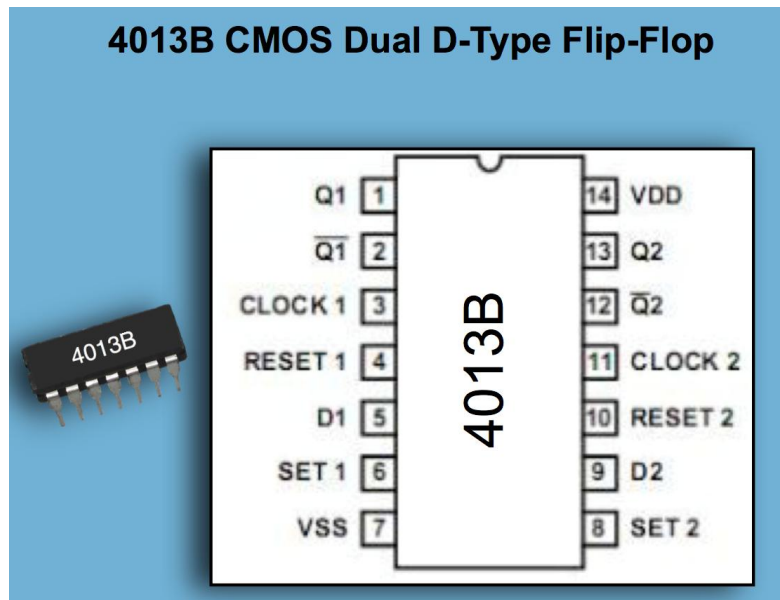
# Последовательные схемы

## D-триггер



# Последовательные схемы

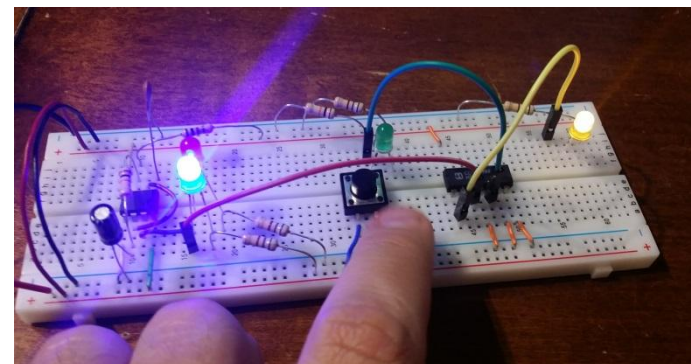
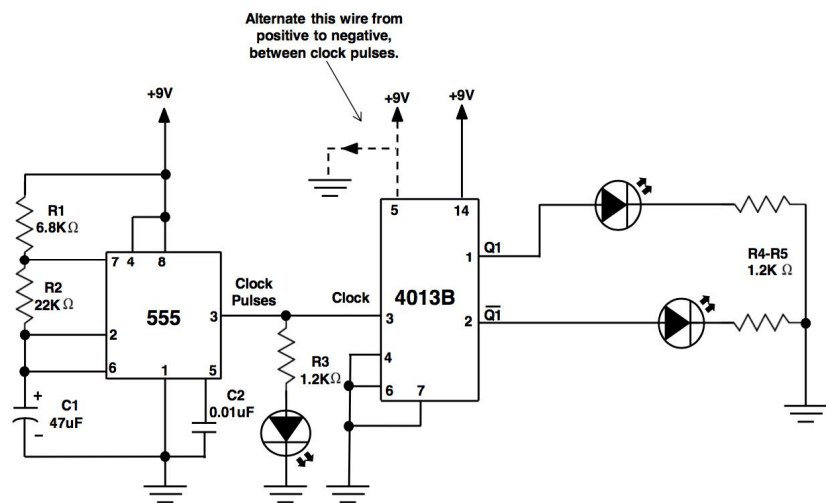
D-триггер





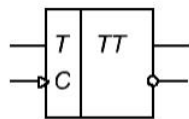
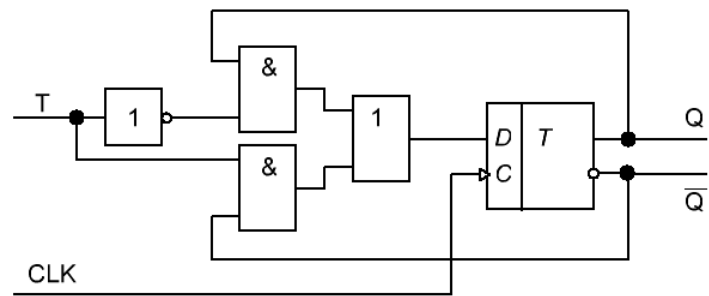
# Последовательные схемы

## D-триггер

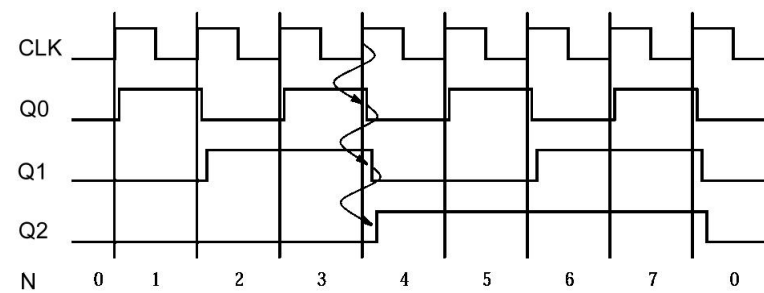
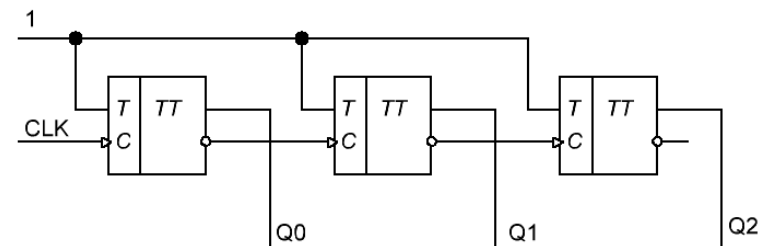


# Последовательные схемы

T-триггер



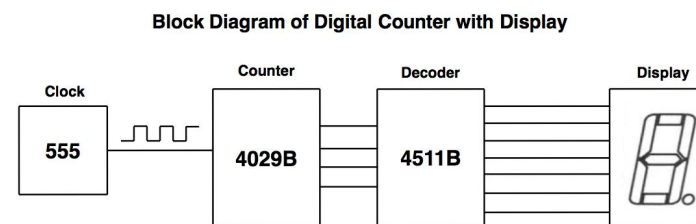
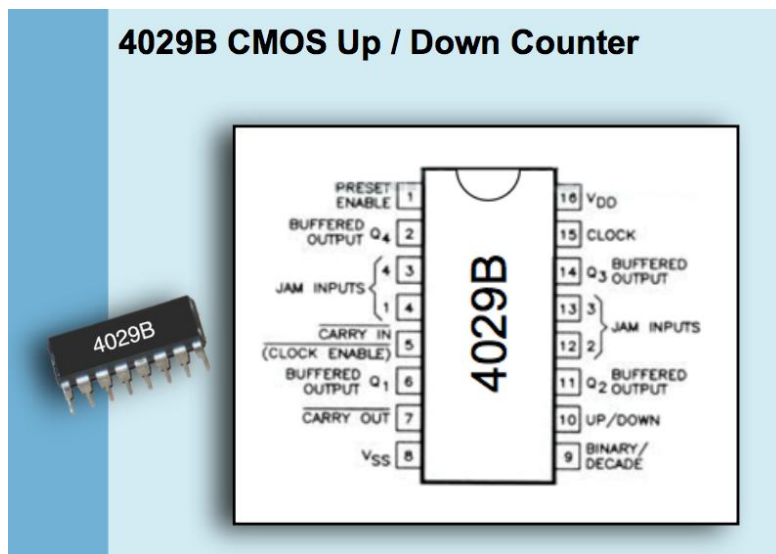
Счетчик



AVB1

# Последовательные схемы

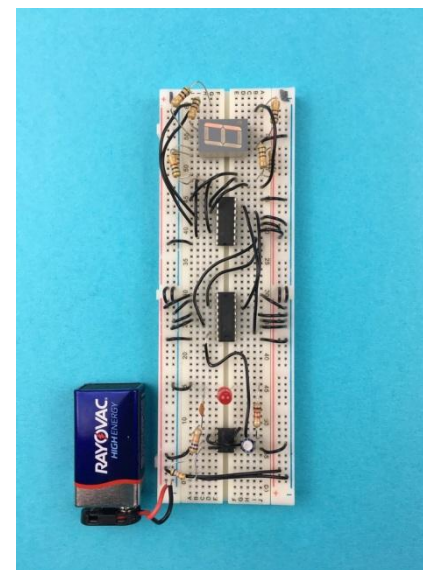
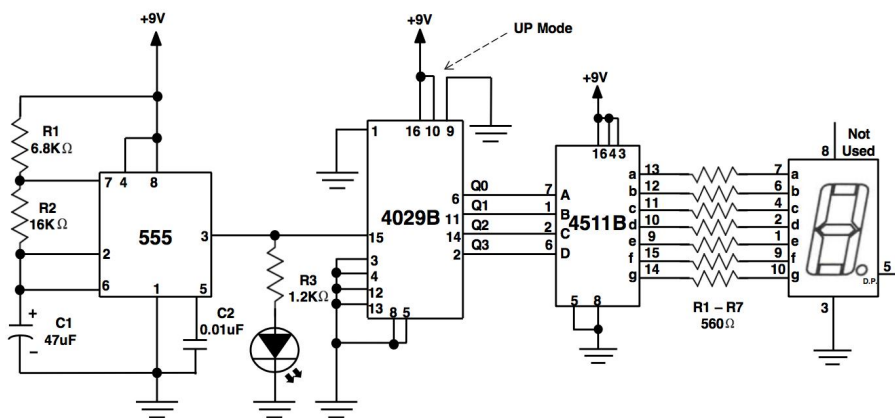
Счетчик





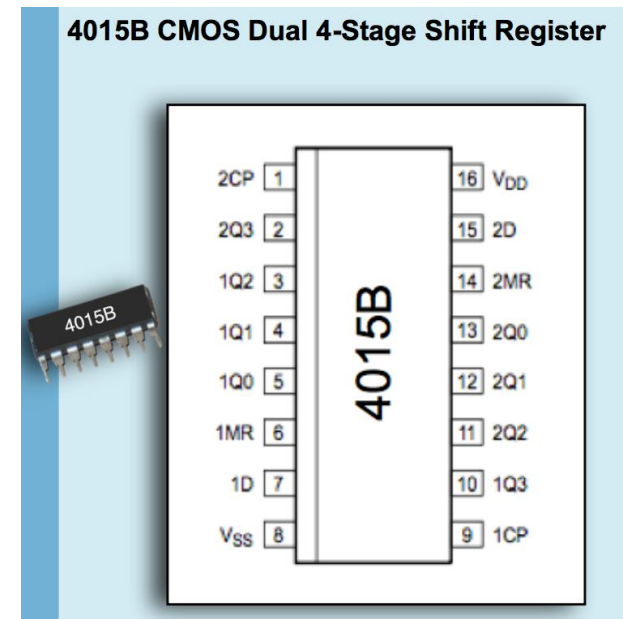
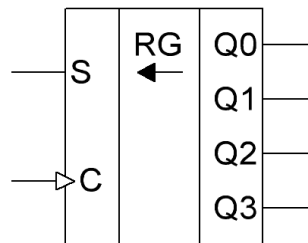
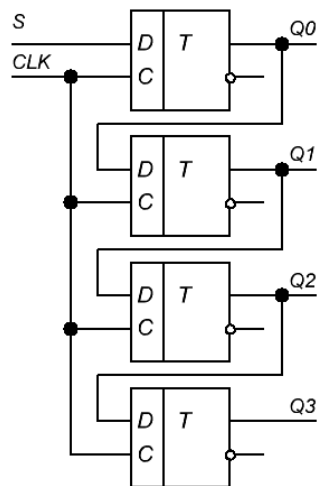
# Последовательные схемы

## Счетчик



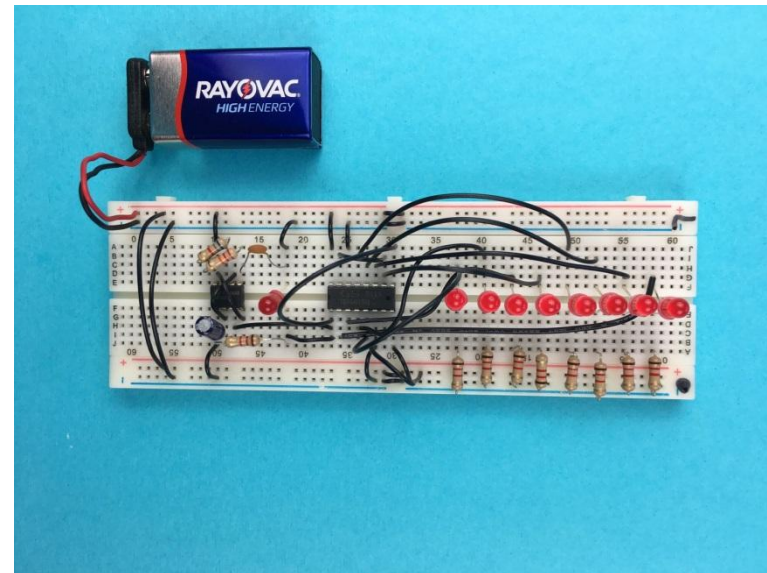
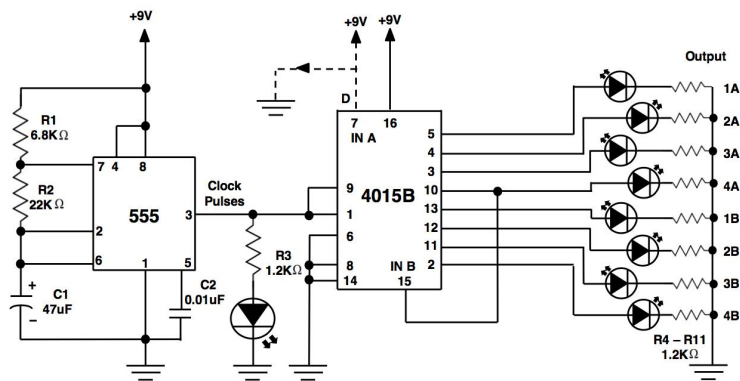
# Последовательные схемы

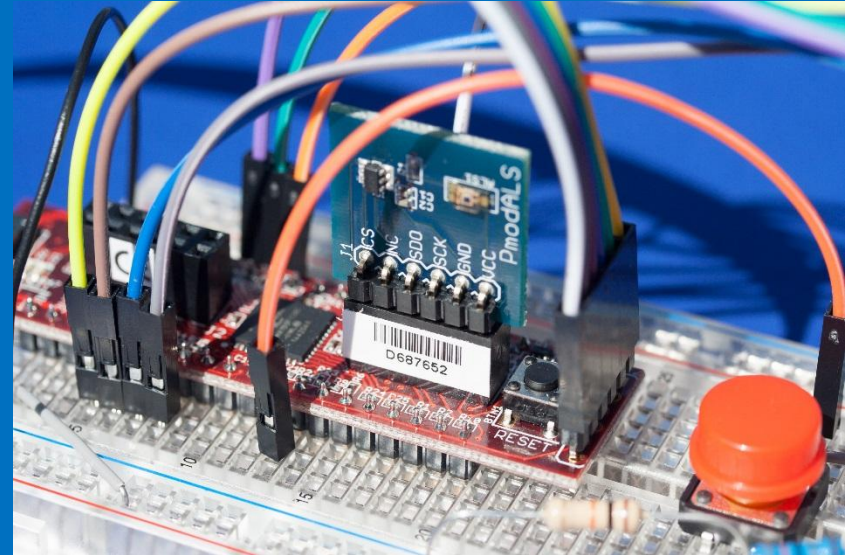
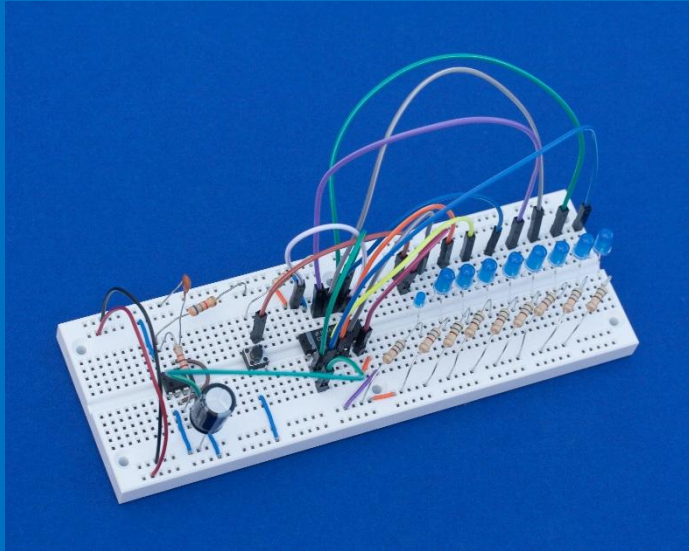
## Регистр сдвига



# Последовательные схемы

## Регистр сдвига





**Спасибо за внимание!**