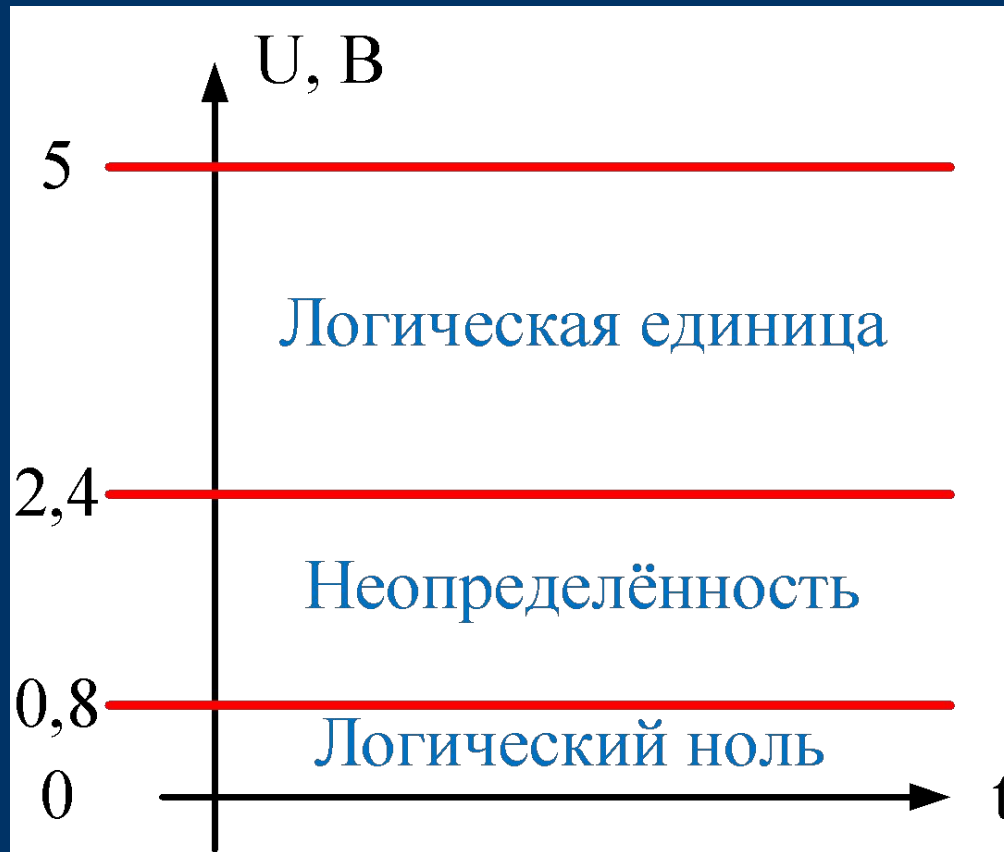


Курс «Электроника и информационно-измерительная техника»
Лектор: Зализный Д.И.

Тема 11

Функциональные элементы цифровой электроники

Логические уровни при напряжении питания +5 В



Двоичный и шестнадцатеричный коды

Целые двоичные числа без знака

Соотношение между десятичным кодом и двоичным кодом

$$N_{\text{DEC}} = \sum_{i=0}^{n-1} Z_i \cdot 2^i$$

$$Z_i \in \{0;1\}$$

n – разрядность двоичного кода

i – номер разряда двоичного кода

Пример двоичного кода



$$N_{DEC} = 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^7 = \\ = 1 + 2 + 4 + 32 = 39$$

Единицы измерения информации в двоичных кодах

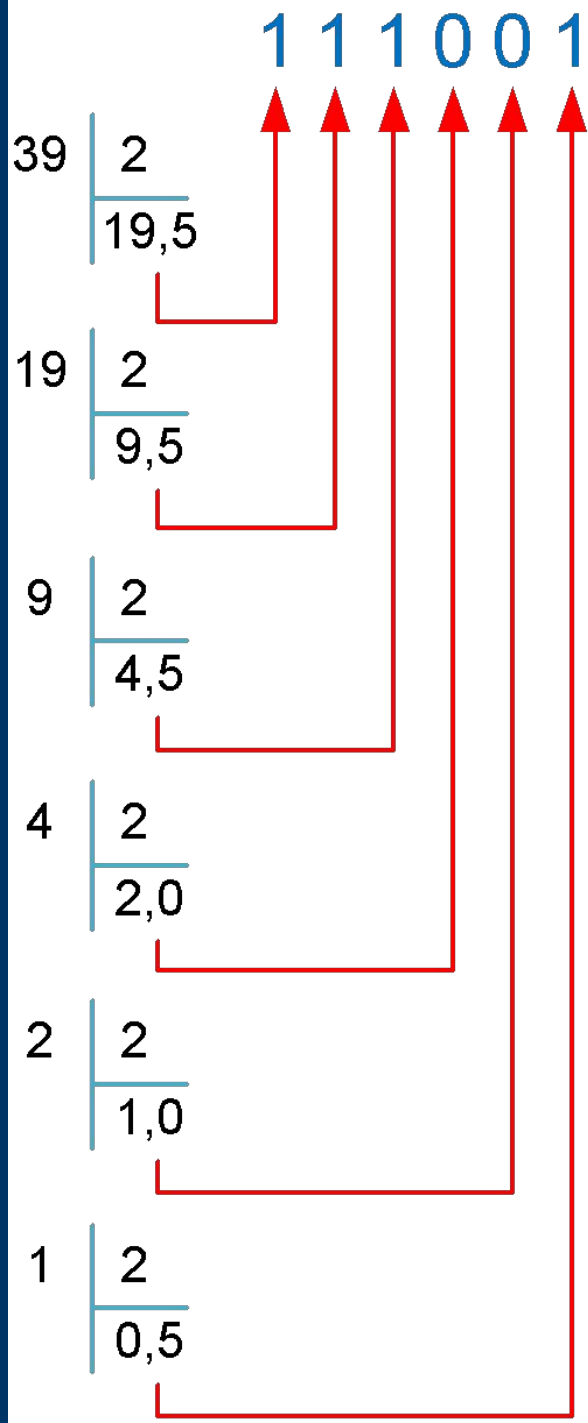
1 Байт = 8 бит

1К Байт (кибибайт) = 2^{10} Байт = 1024 байт

1М Байт (мебибайт) = 2^{20} Байт = 1048576 байт

1Г Байт (гибибайт) = 2^{30} Байт = 1073741824 байт

1Т (тебибайт) Байт = 2^{40} Байт = 1099511627760 байт

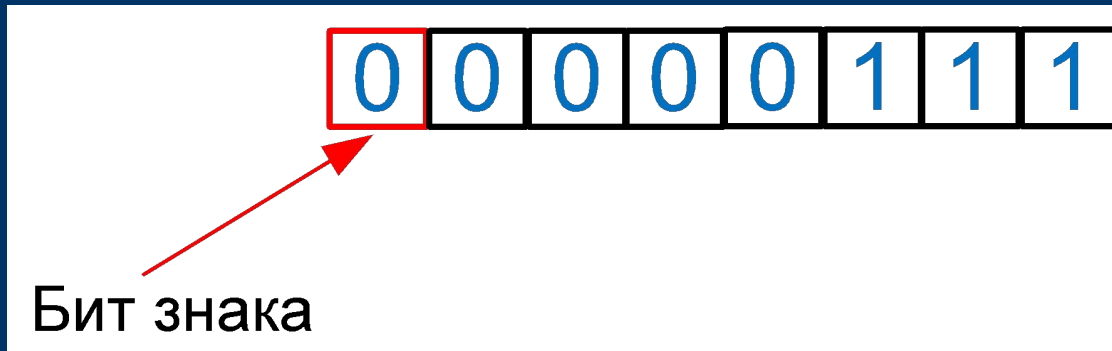


Ответ: 100111

Перевод
десятичного числа
39 в двоичный код

Целые двоичные числа со знаком

Пример: +7



Пример: -7



Перевод целой части в дополнительный код:

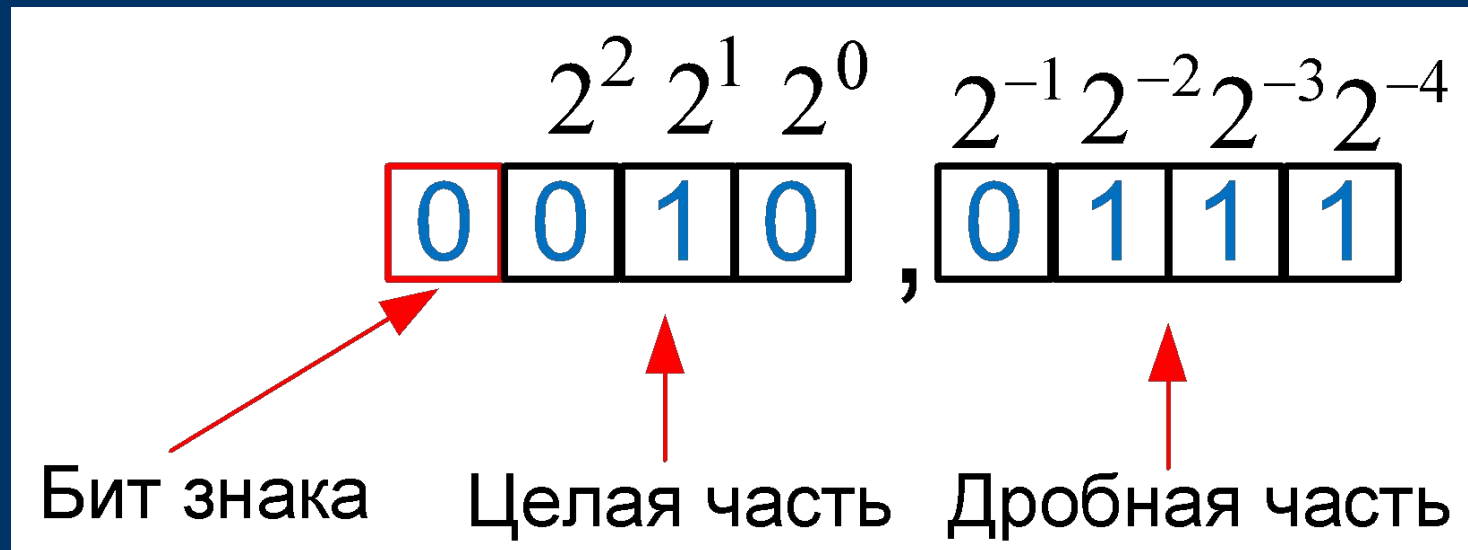
инверсия

$$\begin{array}{r} \overline{0000111} = \\ 1111000 + \\ 0000001 \leftarrow \text{прибавление единицы} \\ = \\ 1111001 \end{array}$$

Двоичные числа с фиксированной запятой (точкой)

(fixed point)

Пример

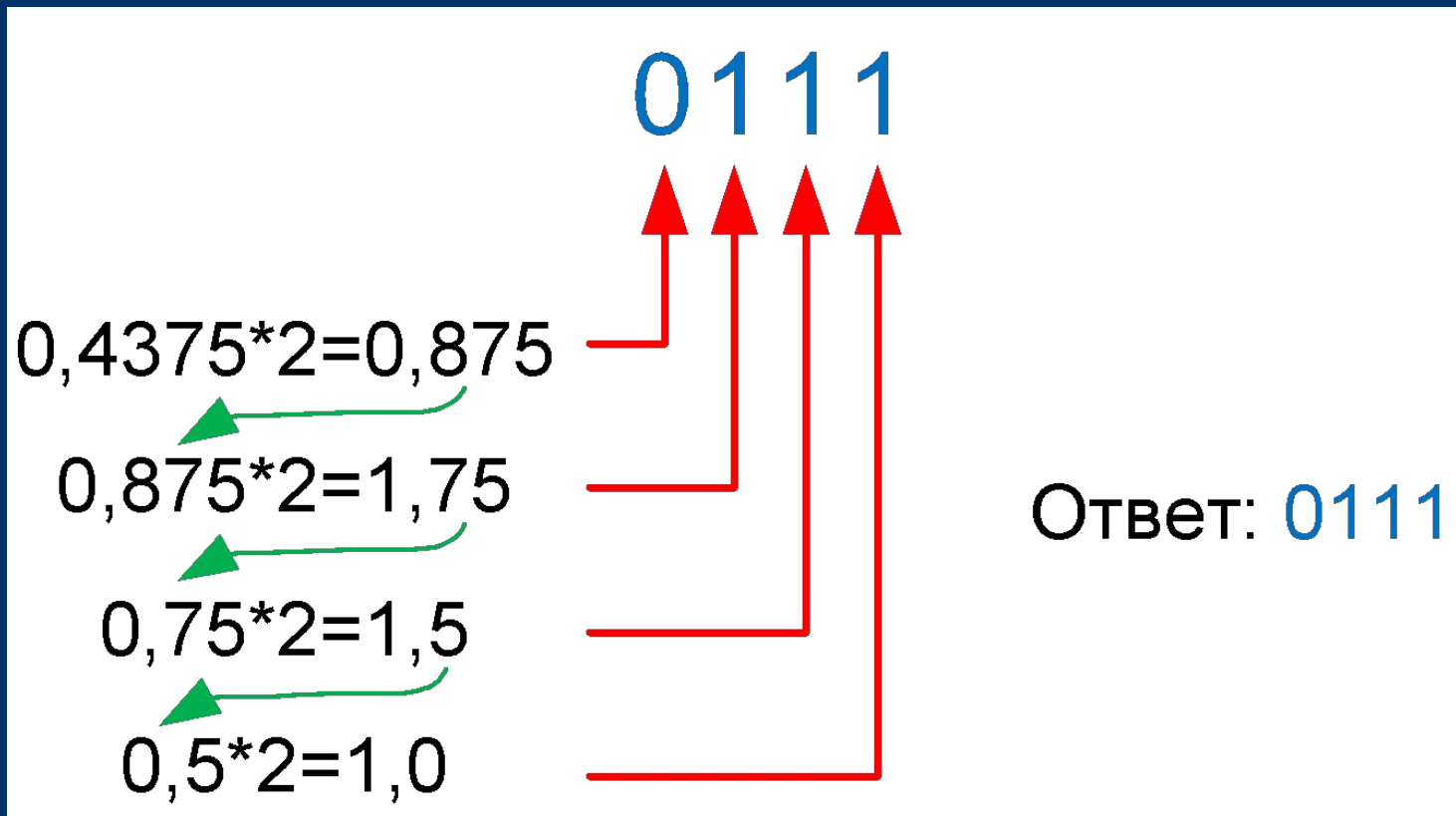


Перевод из двоичного кода в десятичный

$$N_{DEC} = +\left(0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3} + 1 \cdot 2^{-4}\right) = \\ = +(2 + 0,25 + 0,125 + 0,0625) = +2,4375.$$

Перевод дробной части десятичного кода в двоичный код

0,4375



Двоичные числа плавающей запятой (точкой)

(floating point)

Стандарт IEEE 754-2008

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

Числа одинарной точности
(4 байта памяти на 1 число)

$$N = (-1)^S \cdot 2^{(E-127)} \cdot \left(1 + \frac{M}{2^{23}}\right)$$

от $3,4 \cdot 10^{-38}$ до $3,4 \cdot 10^{38}$

Числа двойной точности
(8 байт памяти на 1 число)

$$N = (-1)^S \cdot 2^{(E-1023)} \cdot \left(1 + \frac{M}{2^{52}}\right)$$

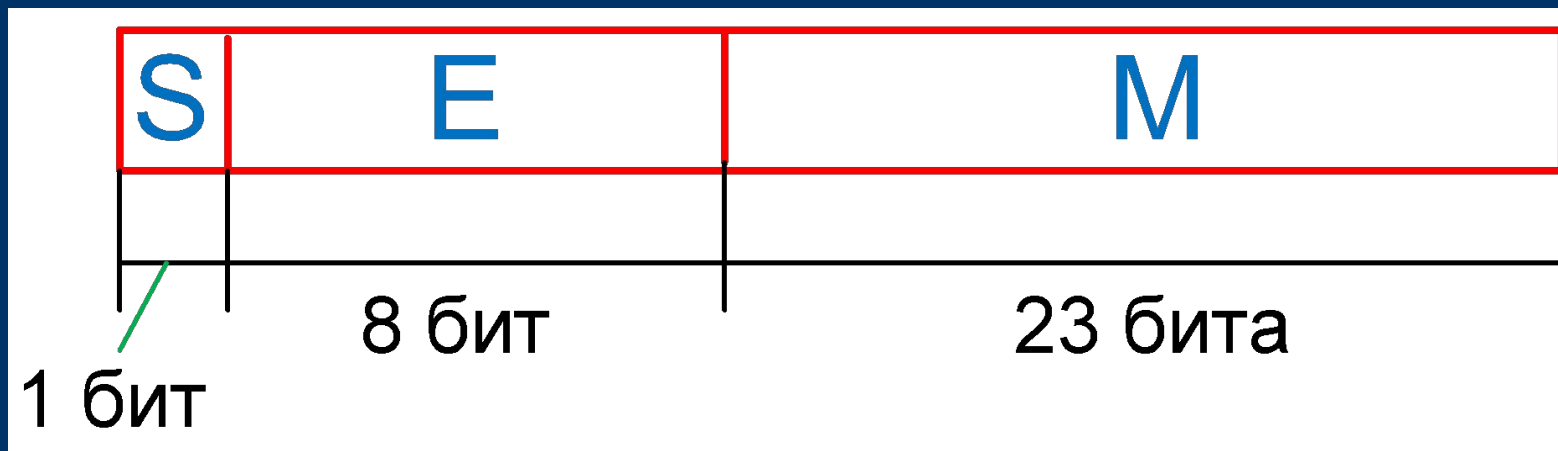
от $1,7 \cdot 10^{-308}$ до $1,7 \cdot 10^{308}$

S - бит знака

E - смещённый показатель степени

M - мантисса (основание) числа

Разрядность параметров для числа одинарной точности



Пример представления числа 2,4375 в формате с плавающей запятой одинарной точности

1. Запись в формате с фиксированной запятой

$$2,4375_{DEC} = 010,0111_{BIN}$$

2. Нормализация числа (сдвиг запятой) до значения мантиссы от 1 до 2

$$010,0111_{BIN} = 01,00111_{BIN} \cdot 2^1 = 01,00111_{BIN} \cdot 2^{128-127}$$

3. Запись мантиссы без учёта единицы в целой части

$$M_{BIN} = 0011100000\dots 0\dots$$

4. Бит знака

$$S = 0$$

5. Показатель степени

$$E = 128_{DEC} = 10000000_{BIN}$$

Ответ

Число 2,4375

01000000000111000000000000000000

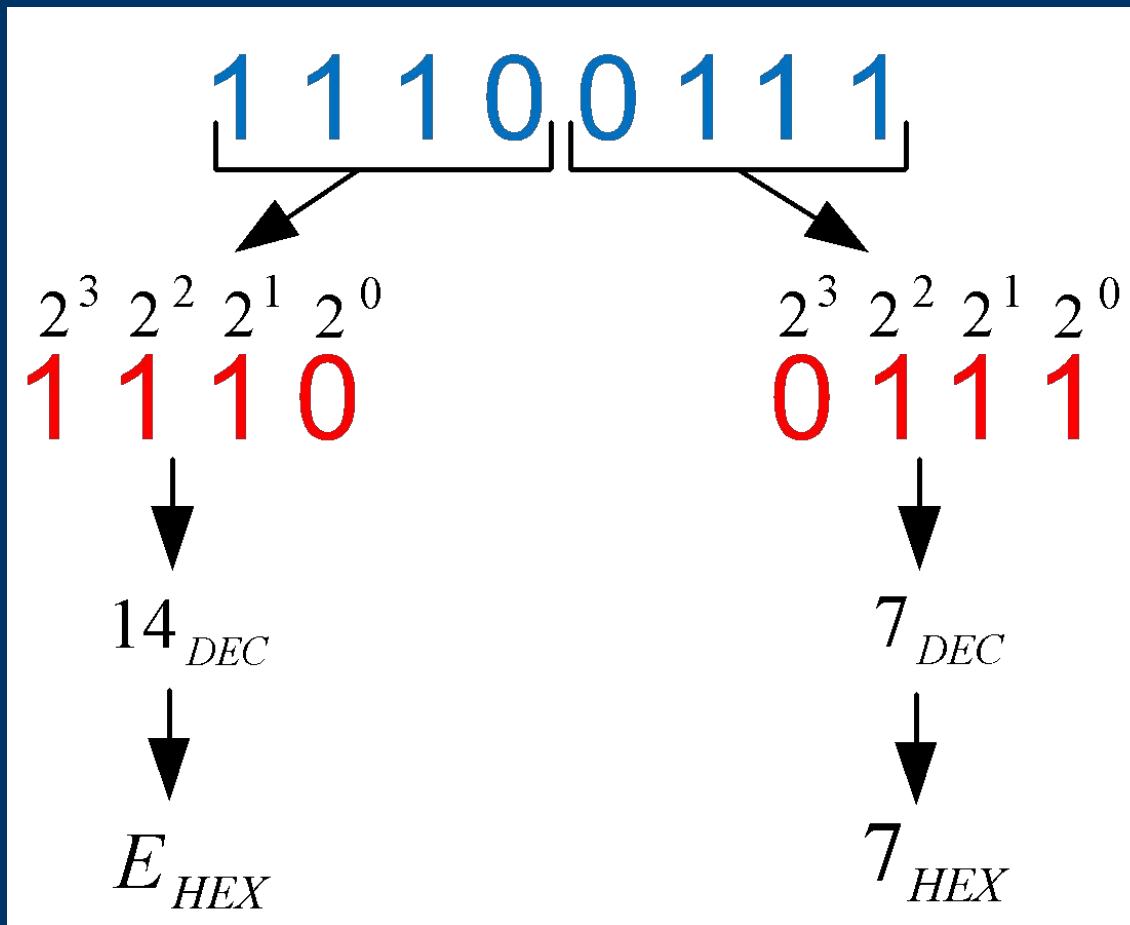
Шестнадцатеричный код

(hexadecimal - HEX)

Таблица соответствий цифр

DEC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
HEX	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

Пример перевода



Ответ: E7

Простейшие арифметические операции с двоичными числами без знака

Правила арифметического сложения двоичных чисел

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 10$$

$$1 + 1 + 1 = 11$$

Пример арифметического сложения двоичных чисел

$$\begin{array}{r} \\ 1 \\ + 0 \\ 0 \\ \hline 1 \end{array}$$

Правила арифметического вычитания двоичных чисел

$$A_{BIN} - B_{BIN} = A_{BIN} + B_{BIN.\text{дон}} = A_{BIN} + \bar{B}_{BIN} + 1$$

где: $B_{BIN.\text{дон}}$ - число B_{BIN} в **дополнительном коде**; \bar{B}_{BIN} - проинвертированное число B_{BIN} .

Если $A > B$, то результат получается в прямом коде. При этом в старшем разряде появляется единица (перенос), которую в результате учитывать не нужно. Если $A < B$, то результат получается в дополнительном коде. Для перехода в прямой код его нужно проинвертировать, а затем прибавить единицу.

Пример вычитания №1:

$$A_{BIN} = 1111; B_{BIN} = 0110.$$

$$\overline{B}_{BIN} = 1001.$$

$$B_{BIN.\dot{don}} = 1001 + 0001 = 1010.$$

$$A_{BIN} - B_{BIN} = A_{BIN} + B_{BIN.\dot{don}} = 1111 + 1010 = 11001$$

Ответ: 1001_{BIN} . (15-6=9).



Перенос в старший разряд
не учитываем

Пример вычитания №2:

$$A_{BIN} = 0110; B_{BIN} = 1111.$$

$$\overline{B}_{BIN} = 0000.$$

$$B_{BIN.\dot{o}o} = 0000 + 0001 = 0001.$$

$$A_{BIN} - B_{BIN} = A_{BIN} + B_{BIN.\dot{o}o} = 0110 + 0001 = 0111.$$

$$\overline{0111} = 1000.$$

$$1000 + 0001 = 1001.$$

Ответ: $0111_{BIN.\dot{o}o} = 1001_{BIN} . (6-15=-9).$

Пример умножения двоичных чисел

7x6

$$\begin{array}{r} \times \quad 0111 \\ \quad 0110 \\ \hline \quad 0000 \\ \quad 01110 \\ \quad 011100 \\ 0000000 \\ \hline 0101010 \end{array}$$

← СДВИГ ВЛЕВО

Логические операции в цифровой электронике

Логические операции в цифровой электронике

```
graph TD; A[Логические операции в цифровой электронике] --> B[Инверсия  
(логическое отрицание)]; A --> C[Дизъюнкция  
(логическое сложение)]; A --> D[Конъюнкция  
(логическое умножение)];
```

Инверсия
(логическое отрицание)

Дизъюнкция
(логическое сложение)

Конъюнкция
(логическое умножение)

Инверсия

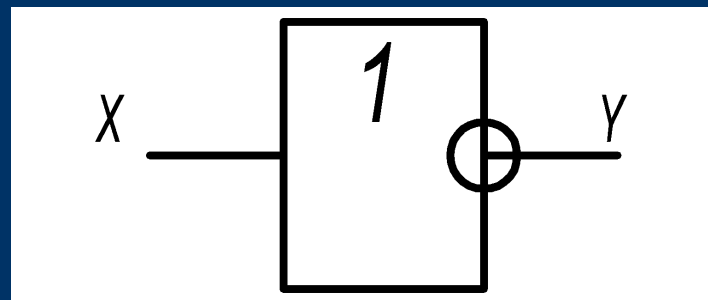
$$Y = \bar{X}$$

$$Y \in \{0;1\} \quad X \in \{0;1\}$$

Таблица истинности

X	Y
0	1
1	0

Логический элемент «НЕ» («NOT»)



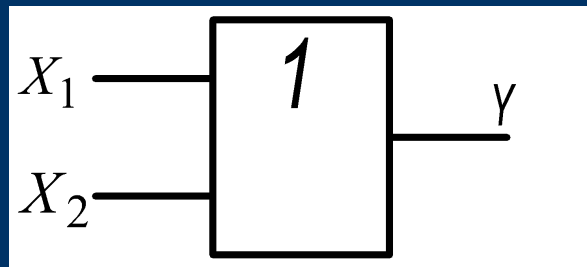
Дизъюнкция

$$Y = X_1 \vee X_2$$

Таблица истинности

X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Логический элемент «ИЛИ» («OR»)



[Анимация](#)

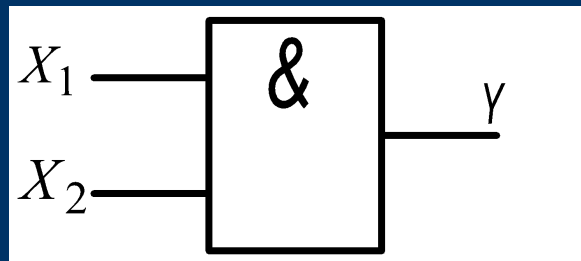
Конъюнкция

$$Y = X_1 \wedge X_2$$

Таблица истинности

X_1	X_2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Логический элемент «И» («AND»)



[Анимация](#)

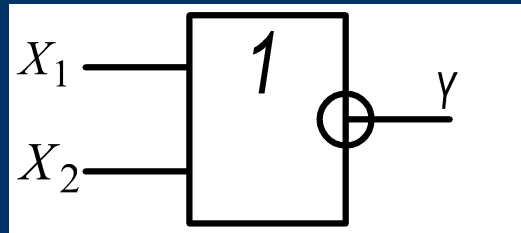
Дизъюнкция с инверсией

$$Y = \overline{X_1 \vee X_2}$$

Таблица истинности

X_1	X_2	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Логический элемент «ИЛИ-НЕ»



[Анимация](#)

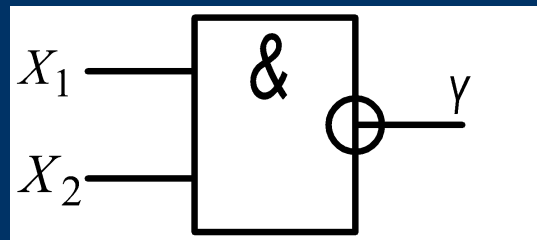
Конъюнкция с инверсией

$$Y = \overline{X_1 \wedge X_2}$$

Таблица истинности

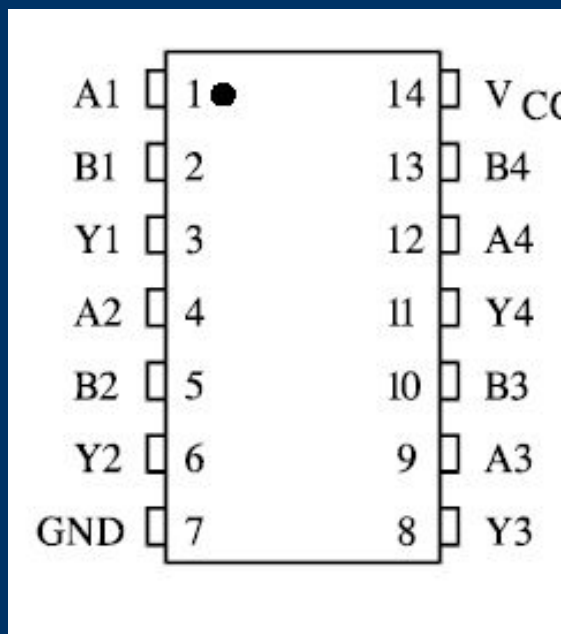
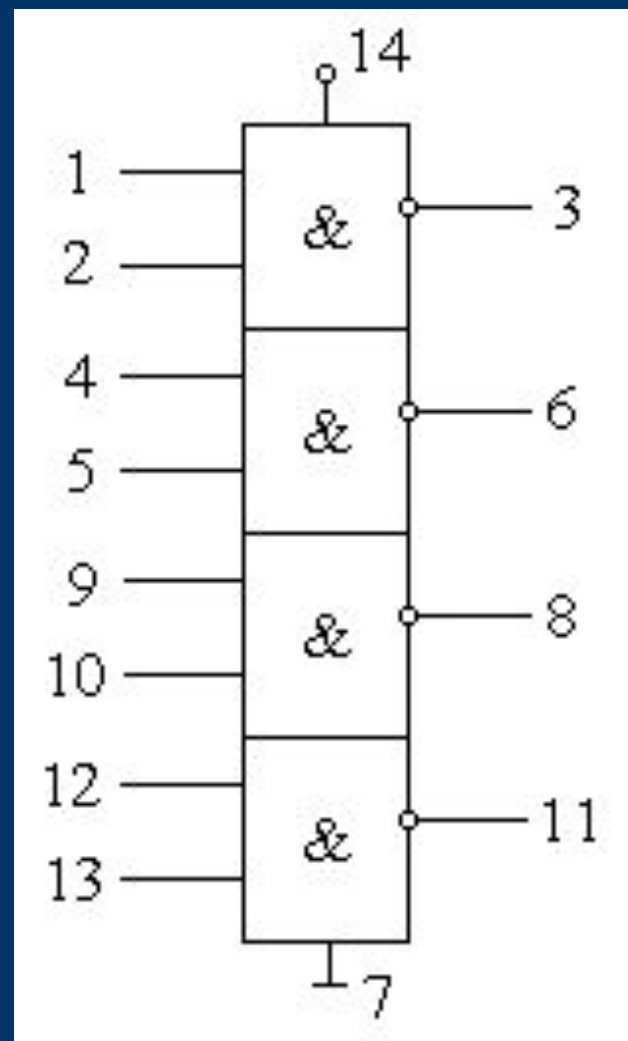
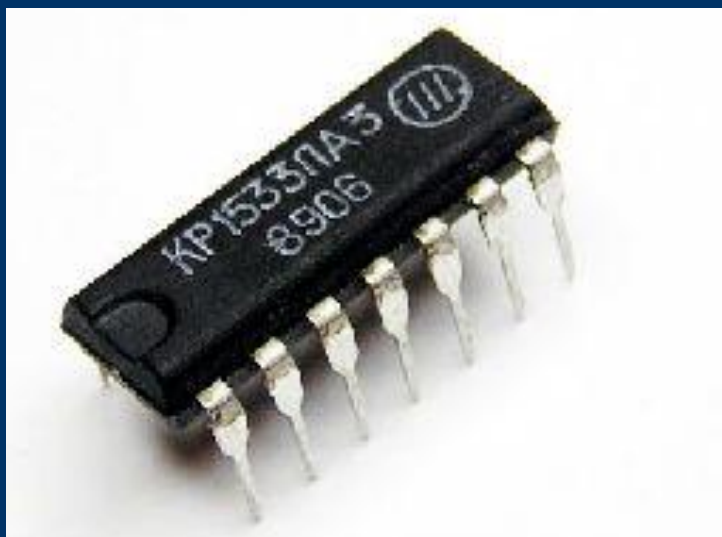
X_1	X_2	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Логический элемент «И-НЕ»



[Анимация](#)

Микросхема КР1533ЛА3 (IN74НС00)



Цифровые триггеры

Цифровые триггеры

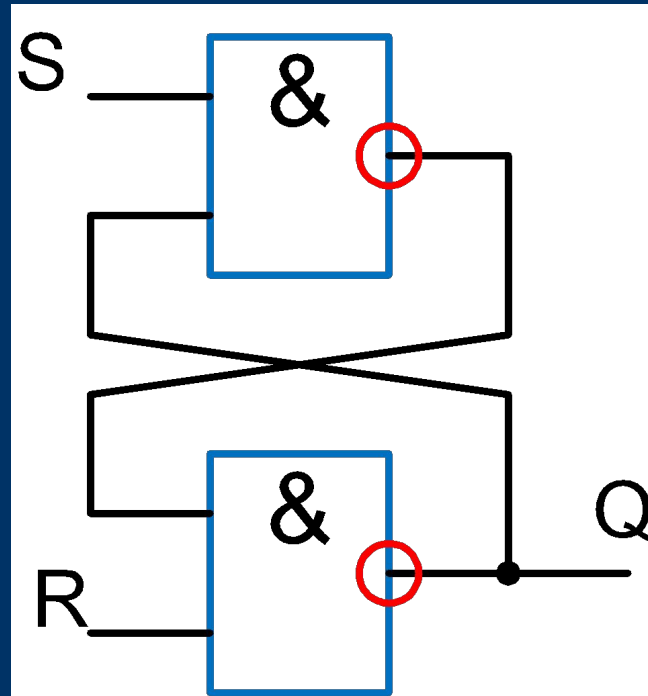
RS-триггер

D-триггер

T-триггер



RS - триггер



RS - триггер

Таблица истинности

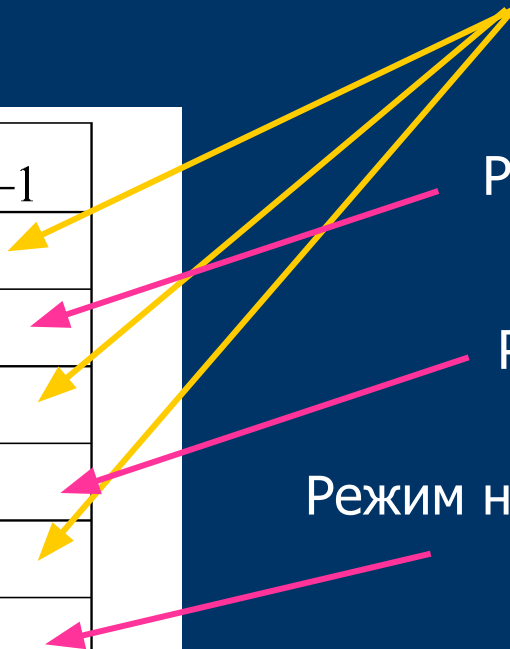
R	S	Q_n	Q_{n-1}
1	1	0	0
1	0	1	0
1	1	1	1
0	1	0	1
1	1	0	0
0	0	?	?

Режим хранения

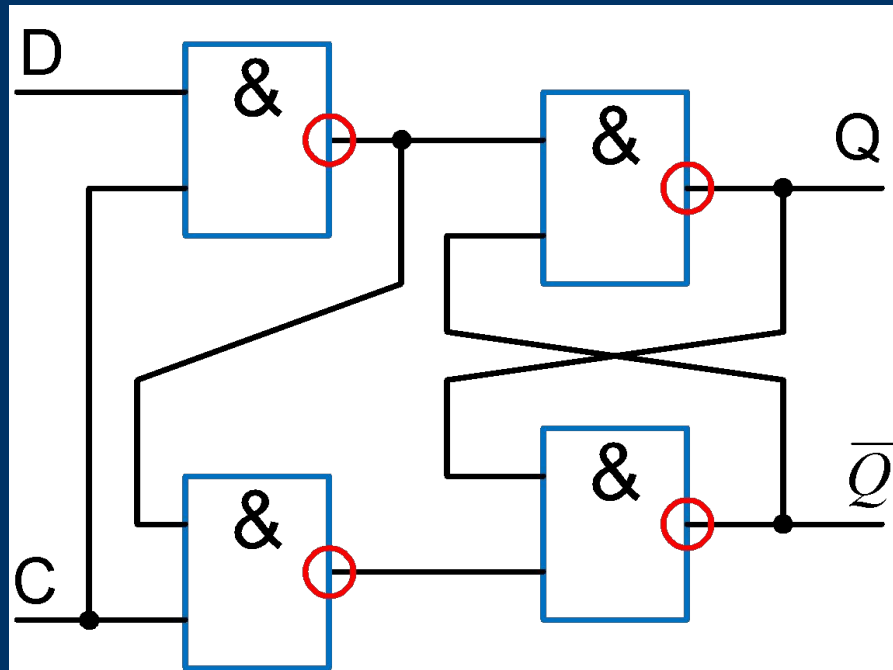
Режим установки

Режим сброса

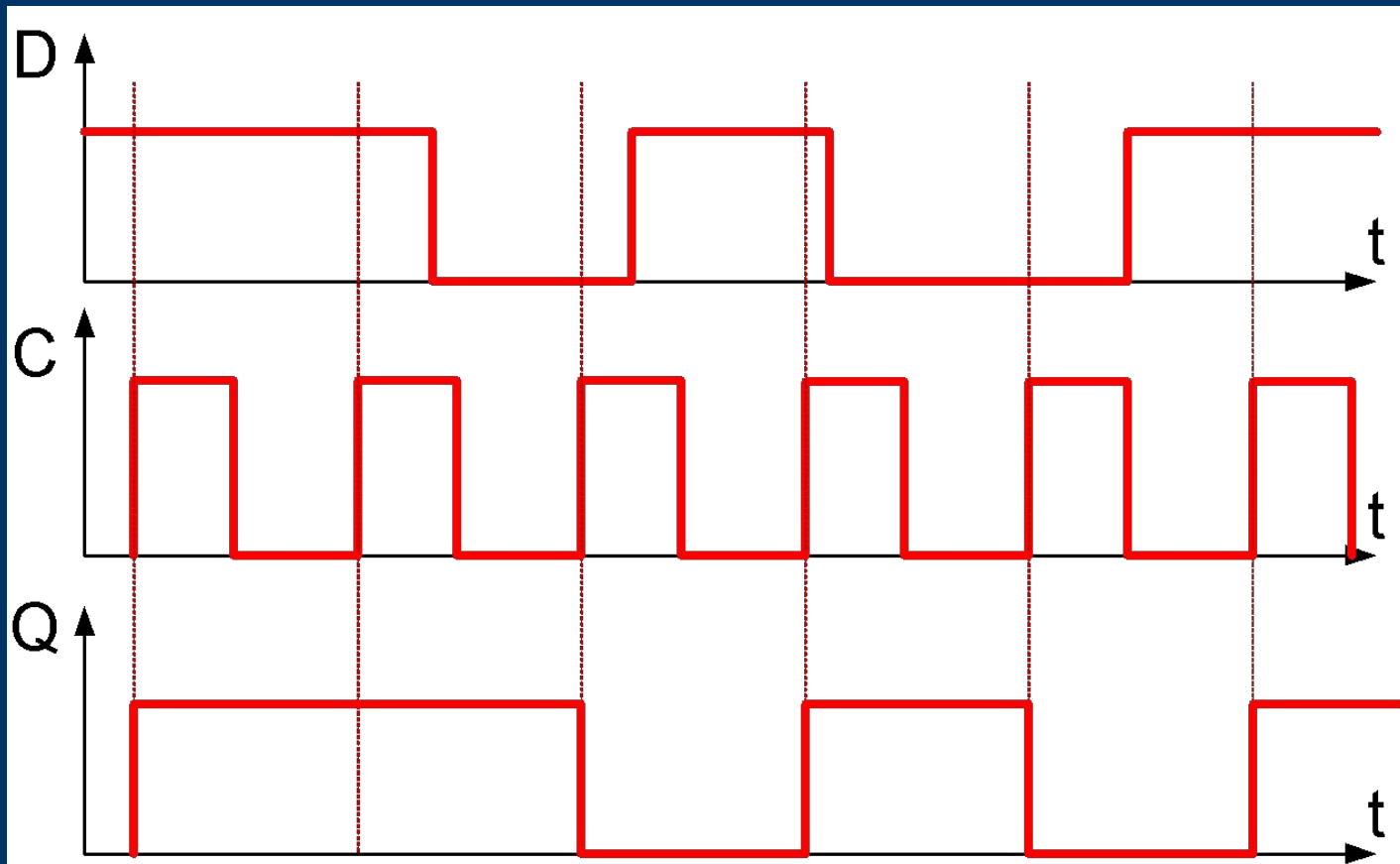
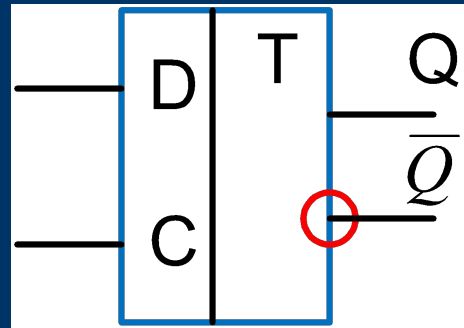
Режим неопределённости



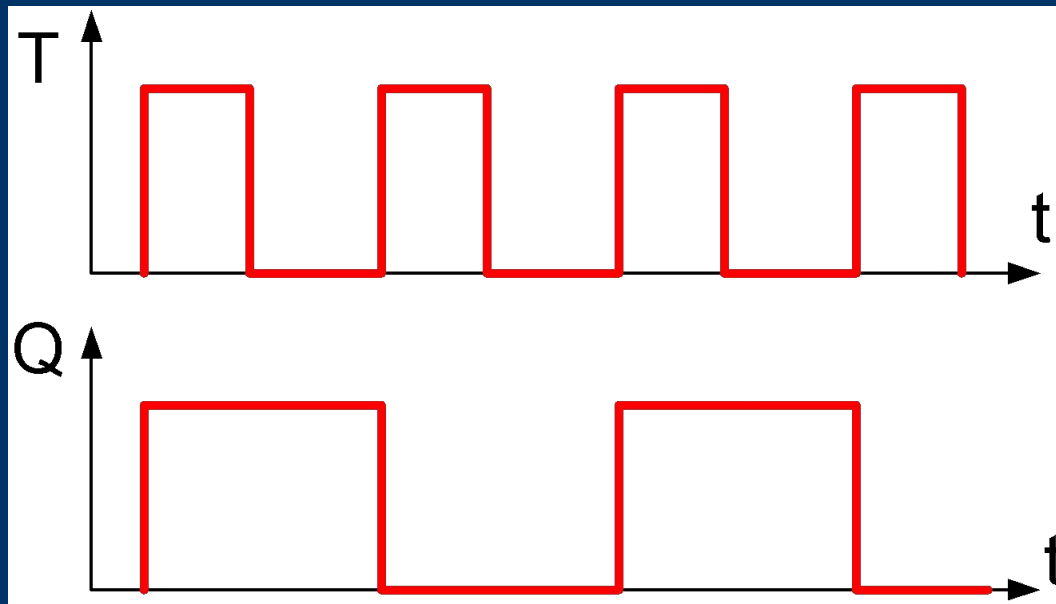
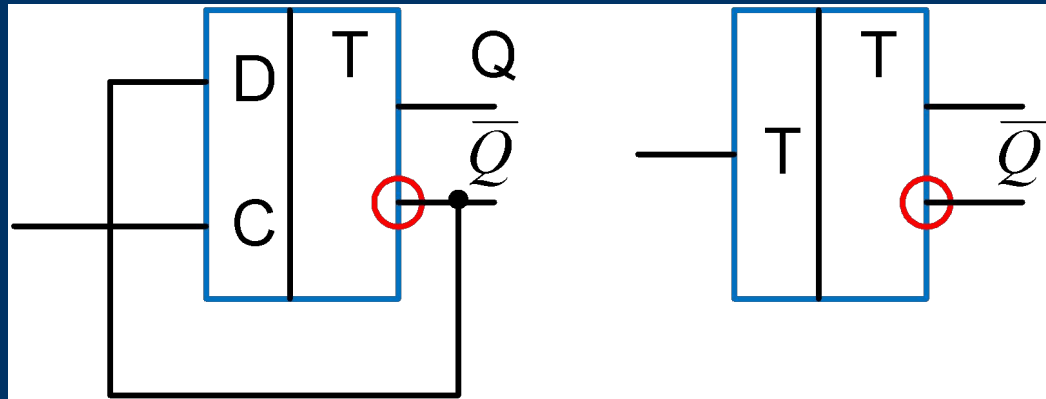
D – триггер на логических элементах



D - триггер



T - триггер



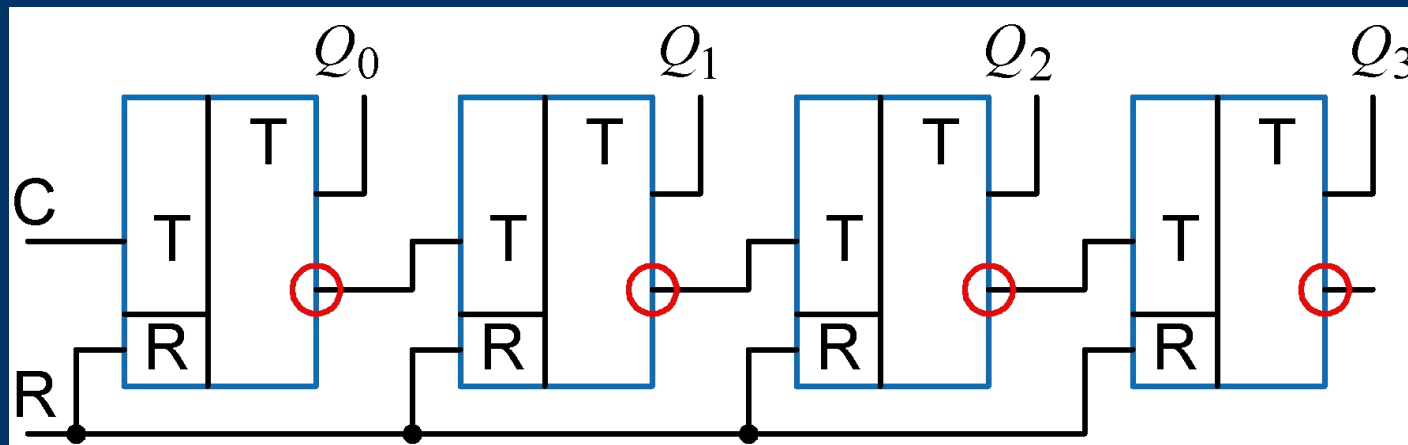
Двоичные счётчики

Четырёхразрядный двоичный счётчик на Т-триггерах

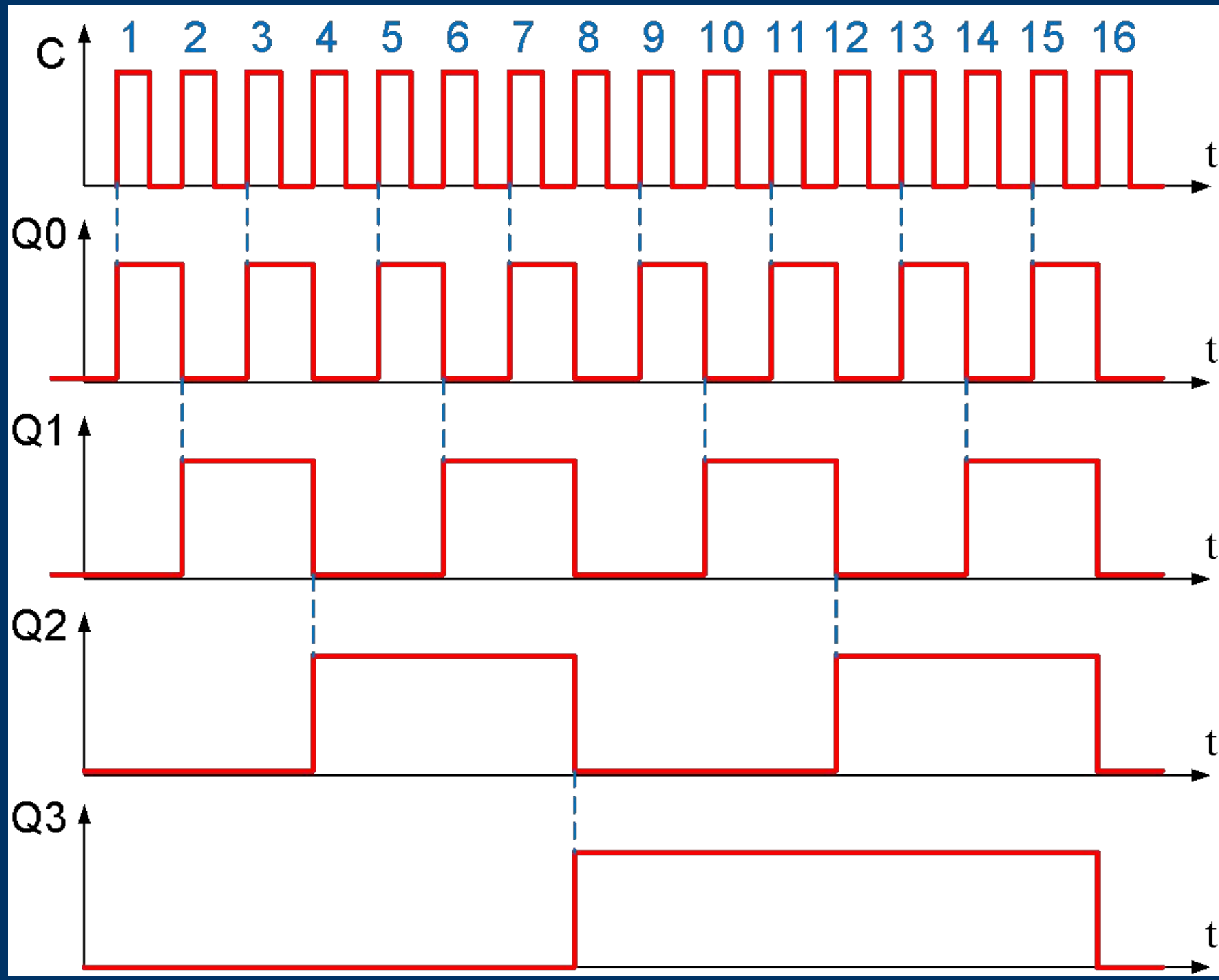
Счётный вход

Младший бит выхода

Старший бит выхода



Вход сброса



Четырёхразрядный двоичный счётчик

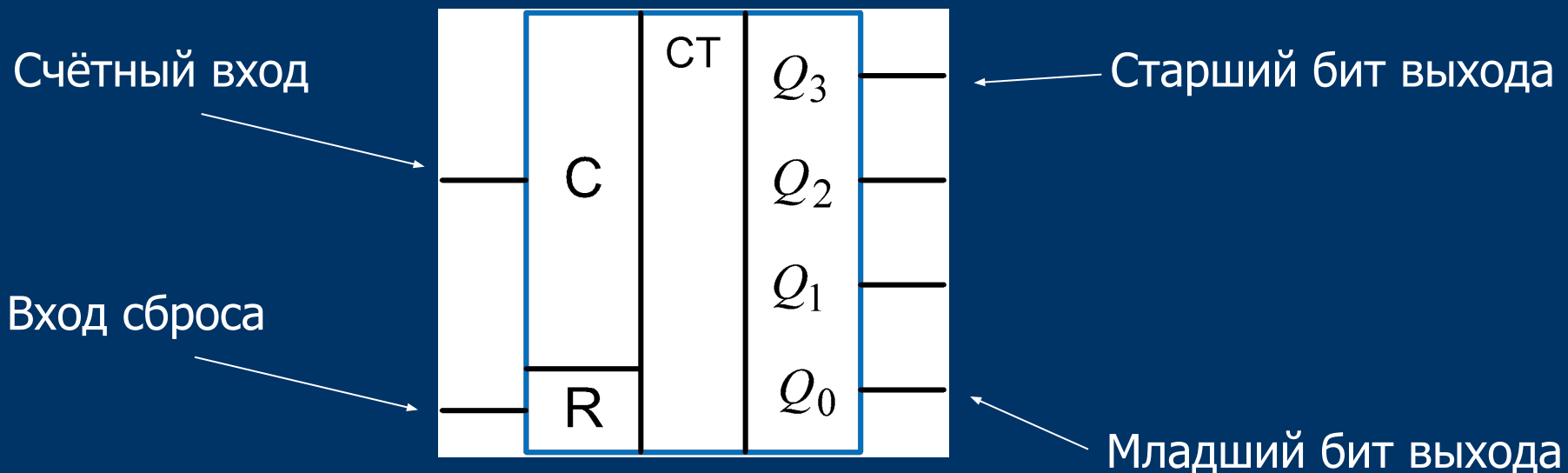


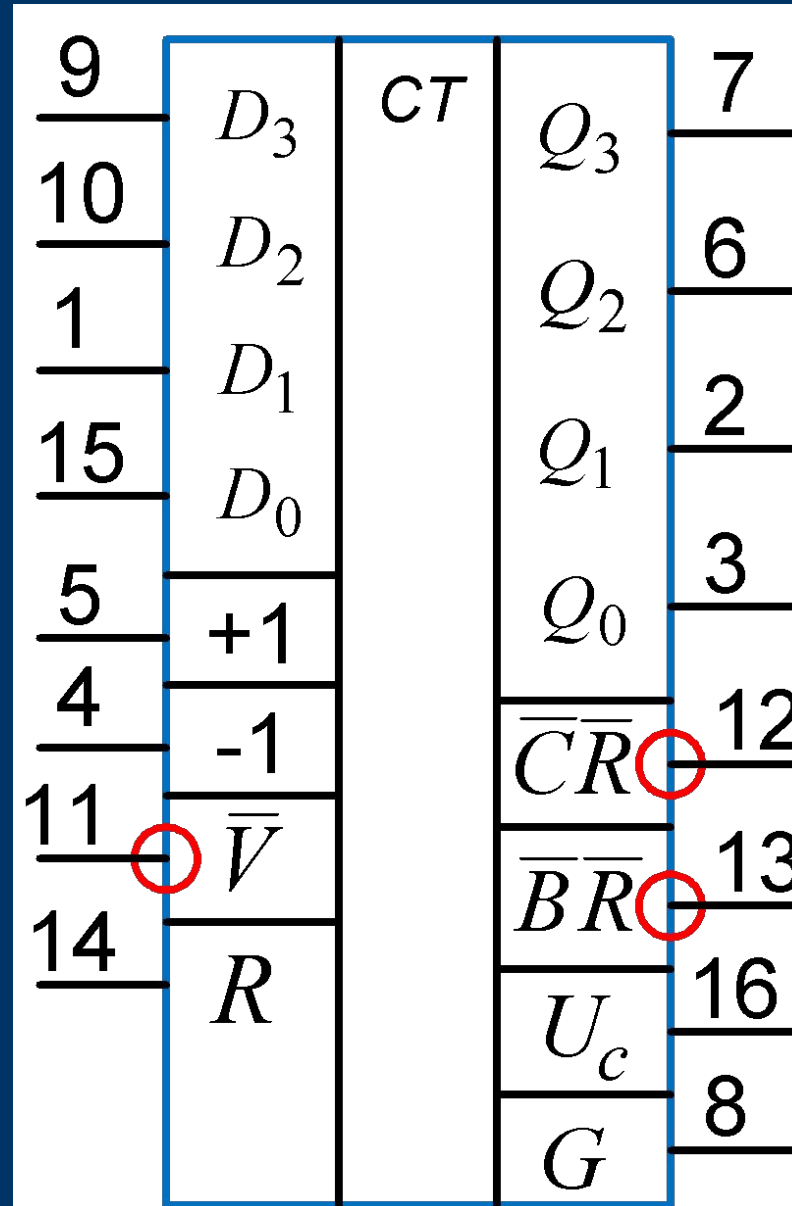
Таблица истинности четырехразрядного двоичного счетчика

$N_{\text{имп}}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Q_0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Q_1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
Q_2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Q_3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0

[Анимация](#)

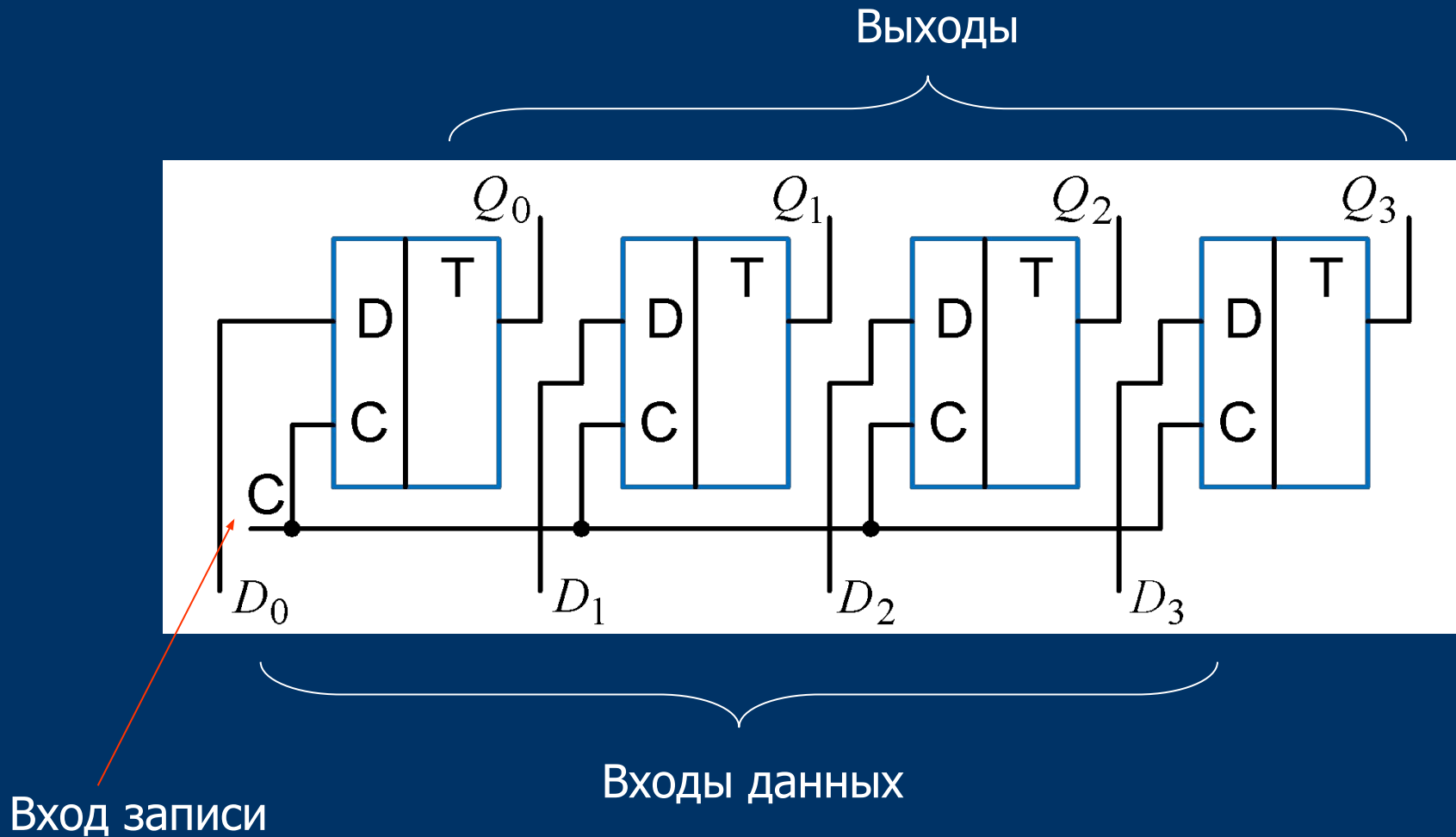
Реверсивный четырёхразрядный двоичный счётчик

КР1533ИЕ7

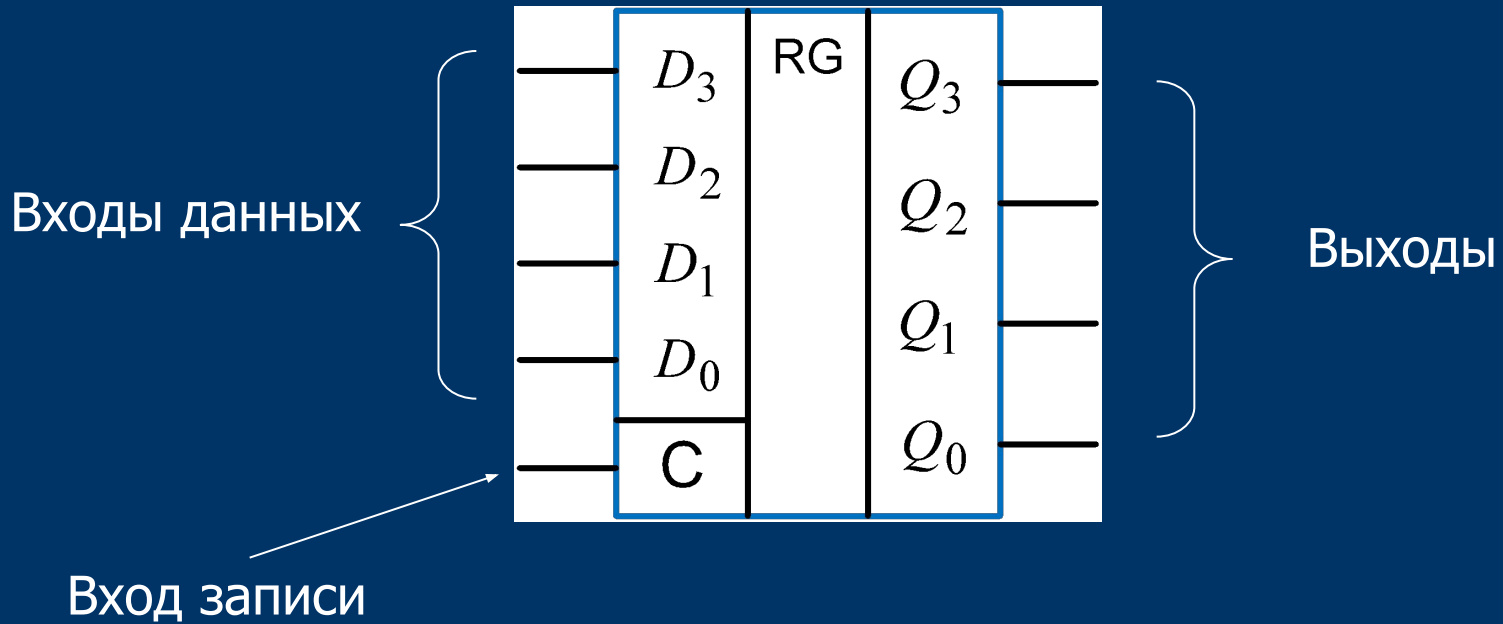


Цифровые регистры

Четырёхразрядный регистр на D-триггерах



Четырёхразрядный регистр



Цифровые мультиплексоры

Четырёхразрядный мультиплексор

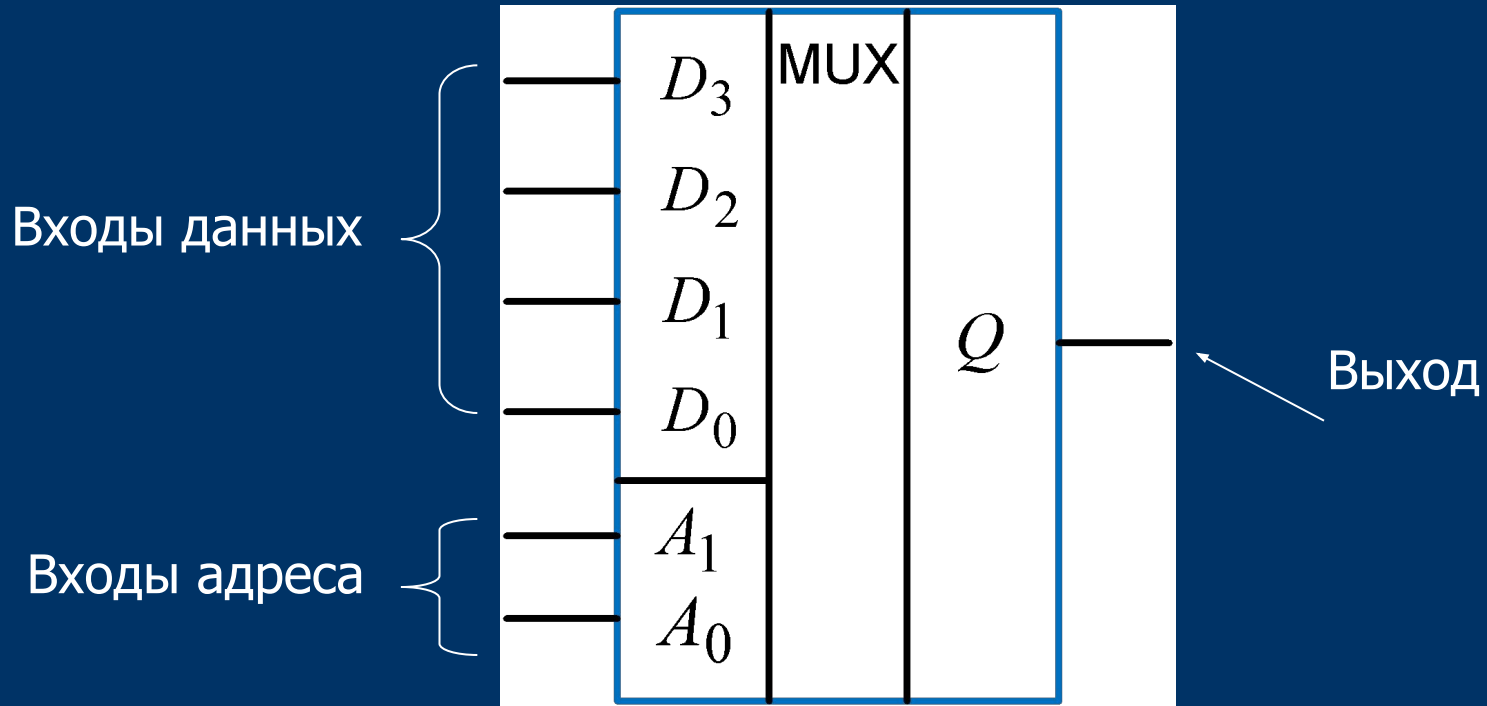


Таблица истинности мультиплексора

A1	A2	Q
0	0	D0
0	1	D1
1	0	D2
1	1	D3