

Логические элементы и схемы

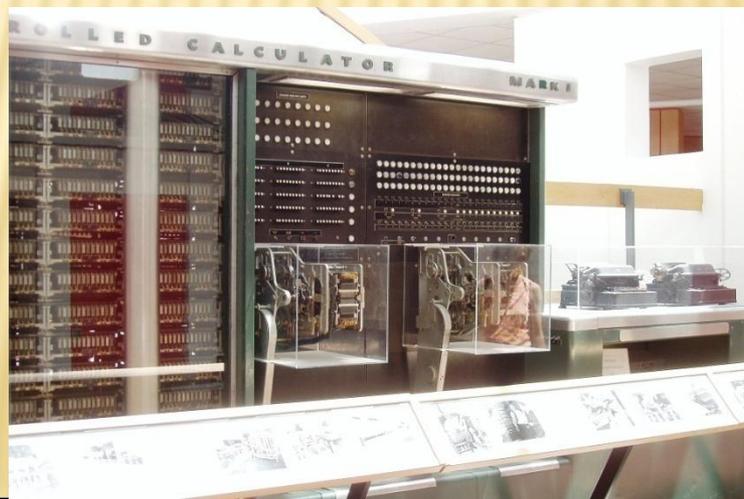
- Великого английского писателя В. Шекспира можно поставить в один ряд с первооткрывателями основ электронной вычислительной техники. Его знаменитая фраза «**быть или не быть**»—логическое высказывание, и построено оно по схеме **ИЛИ—НЕ**
- Под высказыванием понимается повествовательное предложение, которое может быть либо **ИСТИННЫМ**, либо **ЛОЖНЫМ**, но не тем и другим одновременно
- Понятия **истинно** (по-английски **true**) и **ложно** (**false**) удобнее заменить значениями **1** и **0**

- Это не арифметические понятия «единица» или «ноль». **Логический 0** не означает количества, т. е. «ничто», а индицирует (отмечает) **одно из состояний какого-либо объекта**, если этот объект может находиться попеременно в двух состояниях. Тогда **логическая 1** индицирует **другое его состояние**. Это относится к высказываниям, а также к некоторым электронным или механическим устройствам.
- Такие устройства с двумя устойчивыми состояниями получили название **бистабильные**, к которым относятся, например, реле.

- Применение **реле** стало революционным новшеством в развитии вычислительной техники. (Термин реле появился во Франции в средние века. Этим словом называли замену уставших лошадей свежими на почтовой станции.)
- **Электромагнитное устройство, переключающее одну цепь на другую, также называли реле.** Для вычислительной техники важным является то, что одно положение контактов реле можно воспринимать как состояние, соответствующее единице, а другое — нулю



- Релейный принцип получил развитие в машине Mark-1, созданной Г. Айкенем в США (1944 г.). Однако скорость релейных машин не отвечала растущим требованиям. Та же Mark-1 выполняла умножение двух чисел только за 6 с. Особенно остро этот недостаток ощущался в военном деле. Шла вторая мировая война, которая ускорила разработку быстродействующих вычислительных устройств, широко применявшихся в зенитной артиллерии

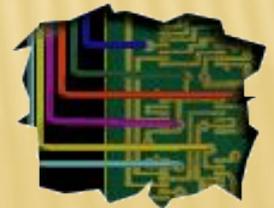


КАК ПРЕДСТАВЛЯЮТСЯ НУЛИ И ЕДИНИЦЫ В ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМАХ?

- Договорились отличать эти состояния по различным уровням электрического напряжения, прикладываемого к участку схемы. Например, **единице** соответствует потенциал в **5 В**, а **нулю 0 В**, по отношению к заземленному участку схемы.

- Электронные схемы, преобразующие сигналы только двух фиксированных уровней напряжения, получили название **ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**.
- Эти схемы состоят из набора полупроводниковых элементов, в основном **транзисторов**.
- В свою очередь, из логических элементов собираются более сложные устройства – **счетчики, сумматоры, триггеры и др.** Из последних формируются целые узлы ЭВМ.

Логические элементы- это электронные схемы, реализующие логические операции. Эти элементы могут иметь один или несколько входов и один выход, через которые проходят электрические сигналы. Эти сигналы принято обозначать цифрами 1 и 0.



Базовый набор операций

С помощью операций **И**, **ИЛИ** и **НЕ** можно реализовать любую логическую операцию.

И

ИЛИ

НЕ

базовый набор
операций

Логические формулы

Прибор имеет три датчика и может работать, если два из них исправны. Записать в виде формулы ситуацию «авария».

A – "Датчик № 1 неисправен".

B – "Датчик № 2 неисправен".

C – "Датчик № 3 неисправен".

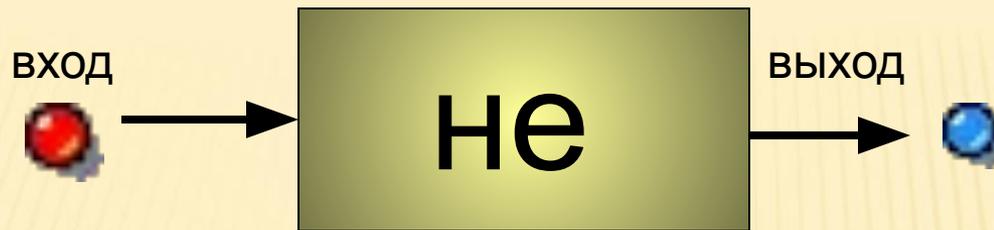
Аварийный сигнал: **X** – "Неисправны два датчика".

X – "Неисправны датчики № 1 и № 2" или
"Неисправны датчики № 1 и № 3" или
"Неисправны датчики № 2 и № 3".

Составить
логическую
формулу для
данного
высказывания

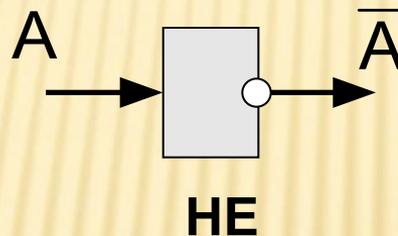
$$X = A \cdot B + A \cdot C + B \cdot C$$

Ответ
логическая
формула



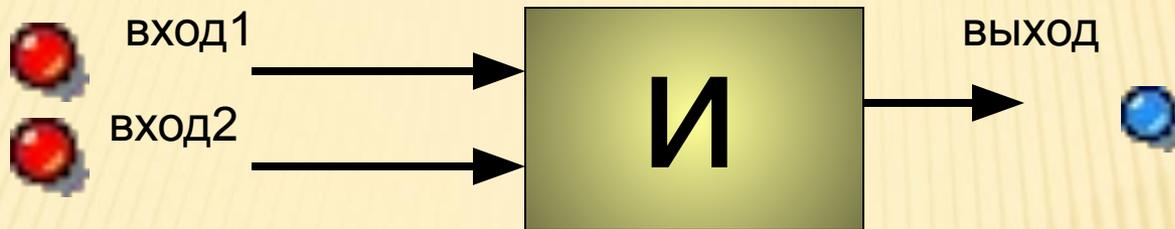
Простейшим логическим элементом является элемент «НЕ»

Он имеет один вход и один выход. Работа этого элемента заключается в инвертировании (т.е. замене на противоположный) значения поступившего в него сигнала.



Зависимость входных и выходных сигналов можно представить в виде таблицы истинности

ВХОД	ВЫХОД
1	0
0	1



Его работа заключается в том, что на выходе получается сигнал равный «1», когда на оба входа был подан единичный сигнал. Элемент имеет два входа и один выход.

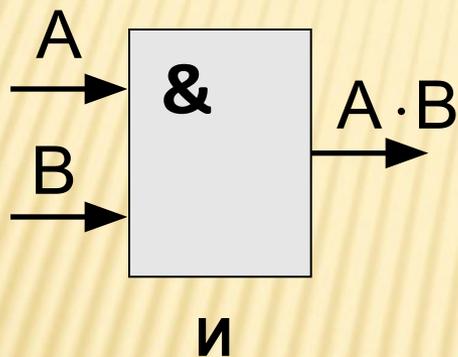


Таблица истинности
для этого элемента.

вход1	вход2	выход
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Работа элемента **«ИЛИ»** заключается в том, что на выходе получается сигнал равный «1», когда хотя бы на один из входов был подан единичный сигнал. Элемент имеет два входа и один выход.

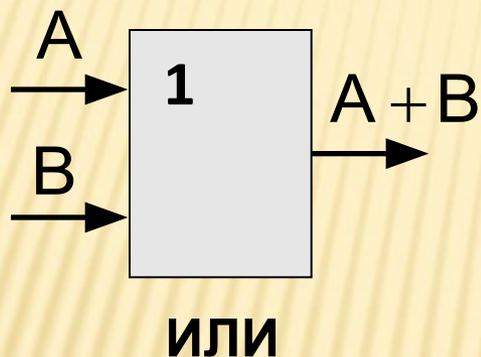
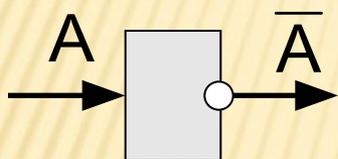


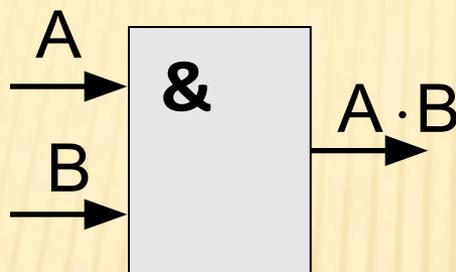
Таблица истинности этого элемента выглядит следующим образом:

ВХОД1	ВХОД2	ВЫХОД
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

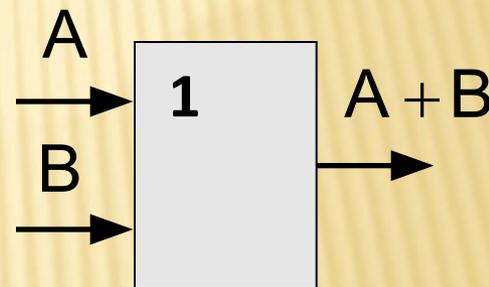
Логические элементы компьютера



НЕ



И



ИЛИ

Все многообразие устройств ЭВМ базируется на ограниченном наборе типовых электронных элементов. Поэтому принцип действия даже сверхсложного компьютера легко понять, если предварительно разобраться в структуре и принципе работы **базовых электронных элементов, к которым относятся инвертор (ключ), вентиль и триггер**

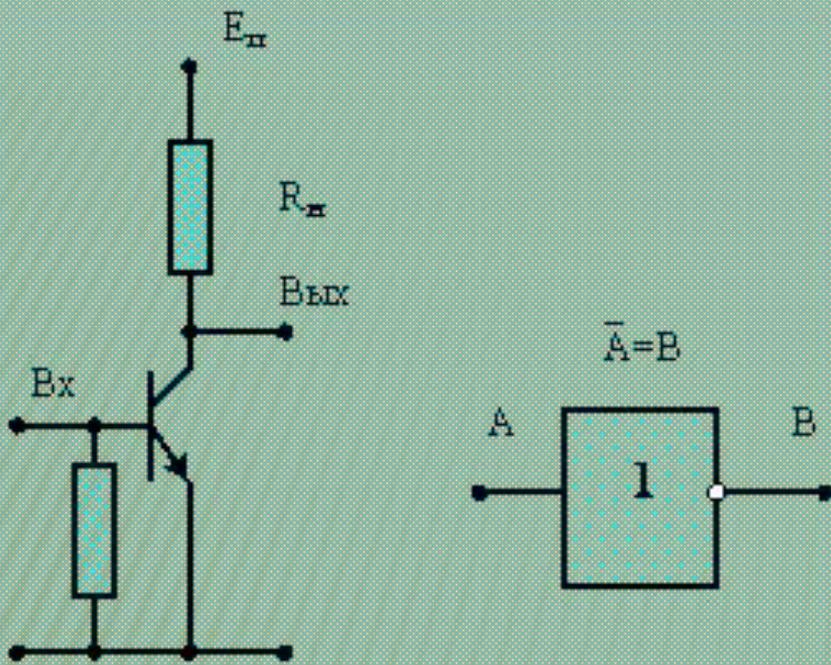


Рис 3, а, б

Инвертор. На рисунке представлена схема электронного ключа на биполярном транзисторе, реализующая логическую функцию **«НЕ» (отрицание)**, и его условное обозначение.

При подаче на вход схемы сигнала низкого уровня (логического «0») транзистор будет заперт, т.е. ток через него проходить не будет, и на выходе будет сигнал высокого уровня (напряжение источника питания E_p , логическая «1»).

Если же на вход схемы подать сигнал высокого уровня (логическую «1»), то транзистор «откроется», начнет пропускать электрический ток. На его выходе за счет падения напряжения на сопротивлении нагрузки R_n установится напряжение низкого уровня (логический «0»). Таким образом, схема преобразует (инвертирует) сигналы одного уровня в другой, тем самым выполняя логическую функцию «НЕ».

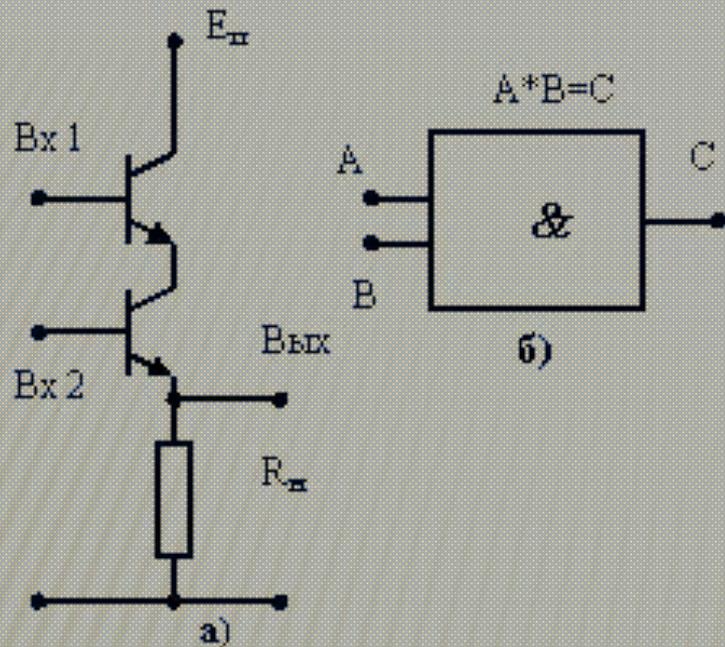


Рис 4

Вентиль. На рисунке изображена схема вентиля на биполярных транзисторах, реализующего логическую функцию «И», и его условное обозначение. Функция «И» - логическое умножение, ее результат C равен единице, когда оба аргумента, A и B , равны единице.

Если на входы $Vx1$ и $Vx2$ поданы сигналы низкого уровня (логические «0»), то оба транзистора закрыты, ток через них не проходит, выходное напряжение на R_n близко к 0. Пусть на один из входов подано напряжение высокого уровня (логическая «1»). Тогда соответствующий транзистор откроется, однако другой останется закрытым, и ток через транзисторы и сопротивление нагрузки R_n по-прежнему не будет проходить. Следовательно, при подаче напряжения высокого уровня лишь на один из транзисторов схема не переключается и на выходе остается напряжение низкого уровня. И лишь при одновременной подаче на входы сигналов высокого уровня (логических «1») на выходе мы также получим сигнал высокого уровня: открытые транзисторы практически не оказывают сопротивление току, все напряжение падает на сопротивлении нагрузки, потенциал вывода $V_{ых}$ становится высоким.

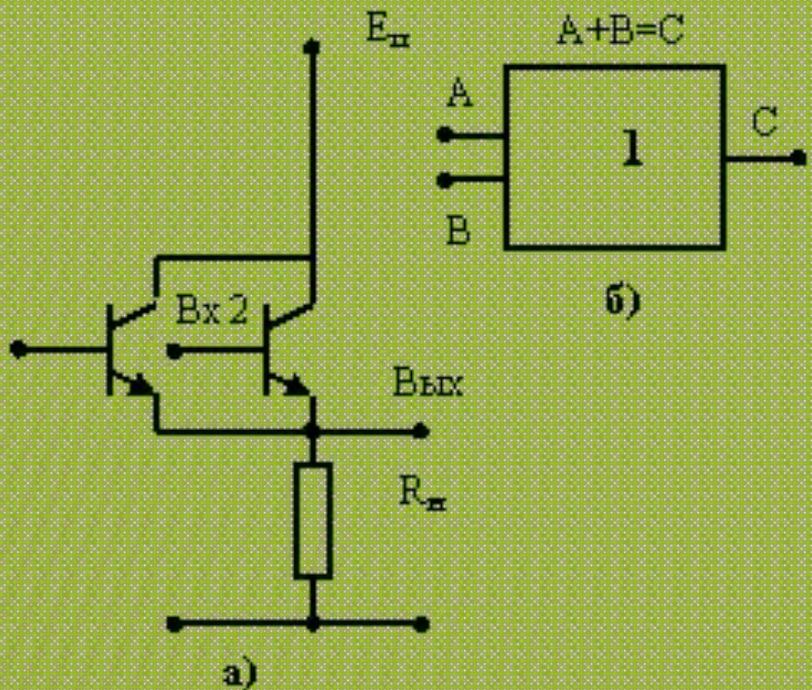


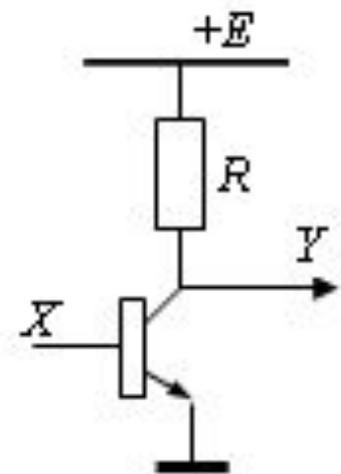
Рис 5

На рисунке приведена схема вентиля на биполярных транзисторах, реализующего логическую функцию **«ИЛИ»**, и его условное обозначение. Функция «ИЛИ» - логическое сложение, ее результат C равен единице, если хотя бы один из аргументов равен единице.

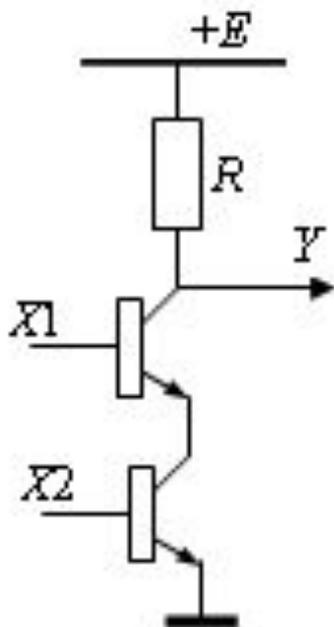
Здесь транзисторы включены параллельно друг другу. Если оба закрыты, то их общее сопротивление велико и на выходе будет сигнал низкого уровня (логический «0»). Достаточно подать сигнал высокого уровня (логическую «1») на один из транзисторов, как схема начнет пропускать ток и на сопротивлении нагрузки установится также сигнал высокого уровня (логическая «1»).

Доказано, что любая логическая функция может быть разложена на комбинацию функций «НЕ», «И-НЕ» и «ИЛИ-НЕ», так что из инвертора и соответствующих вентилях можно построить электронную логическую схему, выполняющую любое запланированное действие.

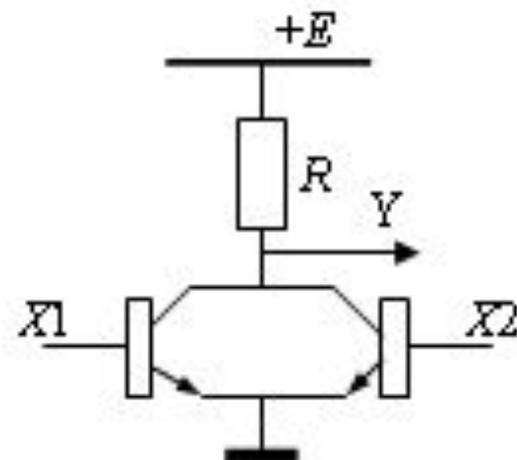
Для получения вентилях «И-НЕ» и «ИЛИ-НЕ» из «И» и «ИЛИ» достаточно перенести сопротивление нагрузки R_n из эмиттерной цепи в коллекторную (как в схеме инвертора).



а) инвертор

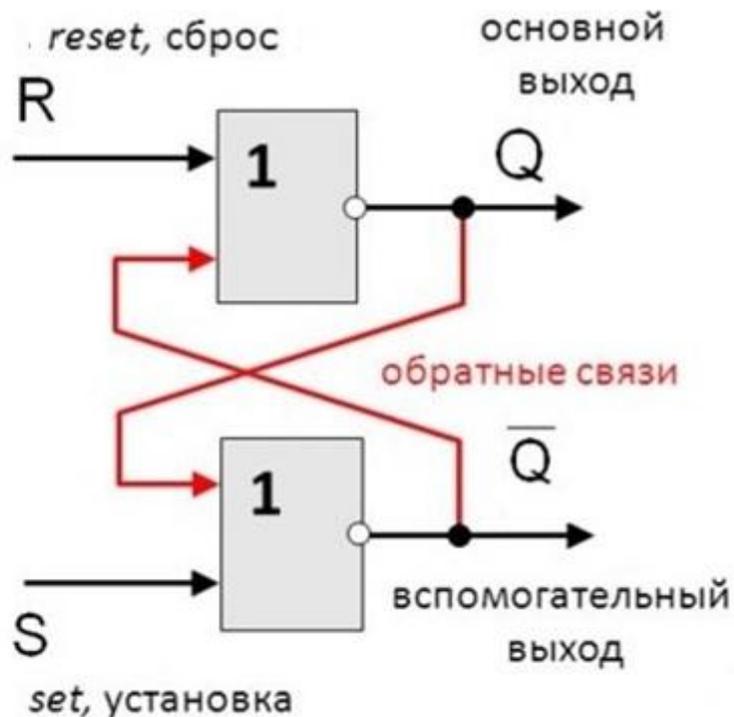


б) элемент "И-НЕ"



в) элемент "ИЛИ-НЕ"

Триггер – это логическая схема, способная хранить 1 бит информации (1 или 0). Строится на 2-х элементах **ИЛИ-НЕ** или на 2-х элементах **И-НЕ**.



S	R	Q	\bar{Q}	режим
0	0	Q	\bar{Q}	хранение
0	1	0	1	сброс
1	0	1	0	установка 1
1	1	0	0	запрещен

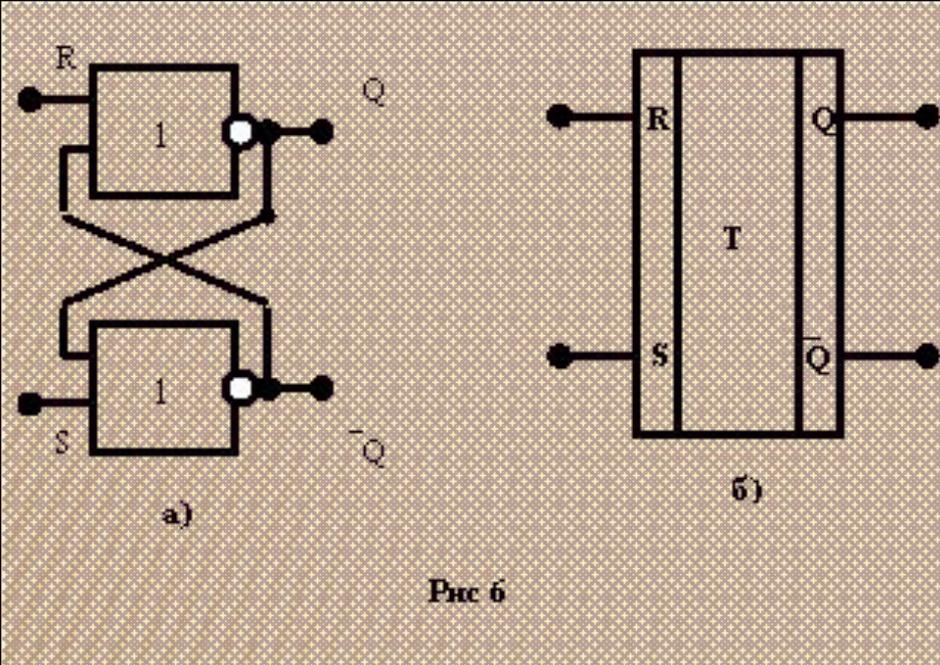


Рис 6

На рисунке показан триггер, составленный из двух вентилях «ИЛИ-НЕ» (точно так же для этой цели используются и вентили «И-НЕ»), и его условное обозначение.

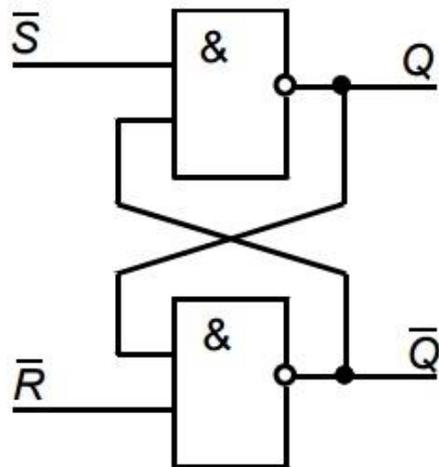
Рассмотрим работу этой схемы. Пусть в начальный момент времени входы R , S и выход Q имеют низкий логический уровень

Для переключения триггера в состояние $Q=1$ необходимо на вход S подать «1». На входе соответствующего вентиля будут действовать входные логические сигналы: «0» (с выхода Q) и «1» (со входа S). На его выходе возникает инвертированная «1», т. е. «0». Следовательно, через некоторое время Dt , в течение которого входной сигнал $S=1$ достигнет выхода вентиля, состояние выхода \bar{Q} изменится с «1» на «0». Теперь на входы второго вентиля будет действовать новая пара сигналов: «0» на вход R и «0» с выхода \bar{Q} . Следовательно, еще через Dt на выходе этого вентиля возникнет инвертированный сигнал «0», т. е. «1». Таким образом, через время $2Dt$ после подачи входного сигнала $S=1$ на выходе Q триггера логический «0» изменится на логическую «1». Следующее переключение триггера произойдет, если на вход R подать сигнал высокого уровня, и т. д.

В современных транзисторных вентилях Dt составляет единицы наносекунд (10^{-9} с), поэтому быстродействие электронных элементов вычислительных устройств очень большое, достигающее сотен миллионов переключений в секунду.

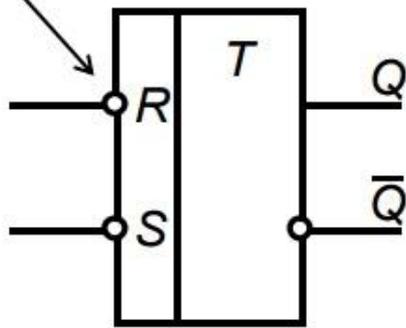
Типы триггеров

RS-триггер асинхронный

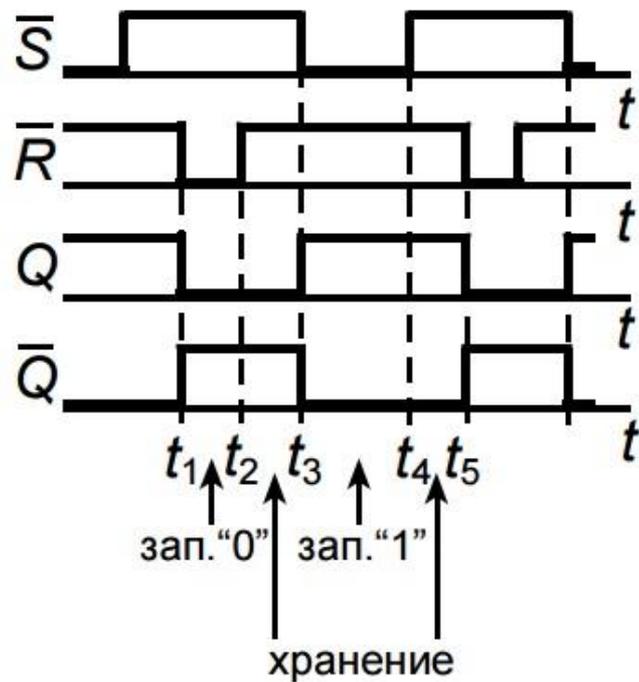


\bar{R}	\bar{S}	Q^n	Q^{n+1}	
0	0	X		запрещенное состояние!
0	1	X	0	запись «0»
1	0	X	1	запись «1»
1	1	X	Q^n	хранение

Активный уровень «0»

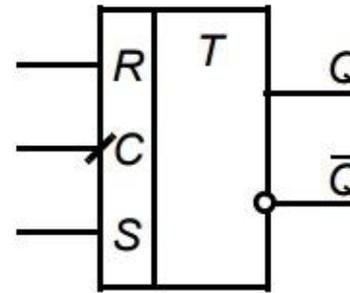
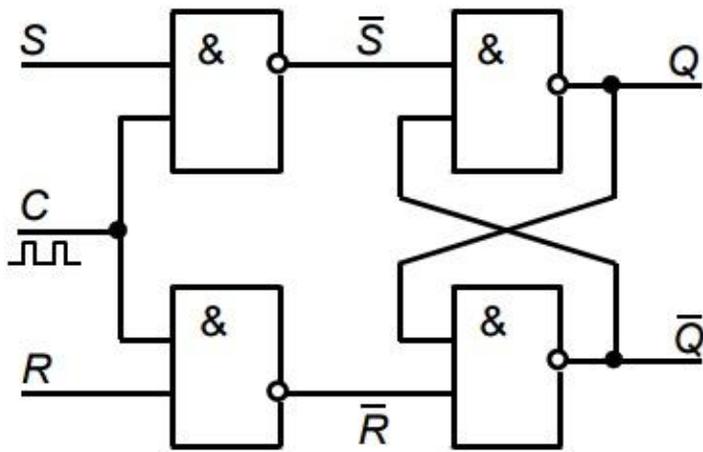


УГО триггера

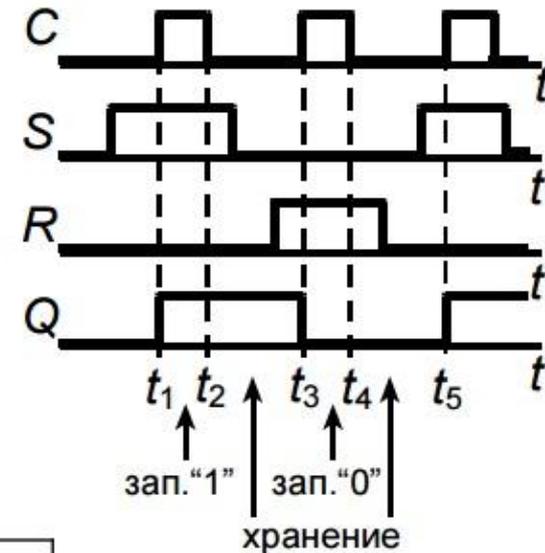


RS-триггер синхронный

В этой схеме при подаче «1» на С устройство обеспечивает режим «прозрачности». Изменения на входах R и S с минимальной внутренней задержкой отображаются в промежуточных точках /R и /S. После установки управляющего сигнала «0» включается хранение данных.



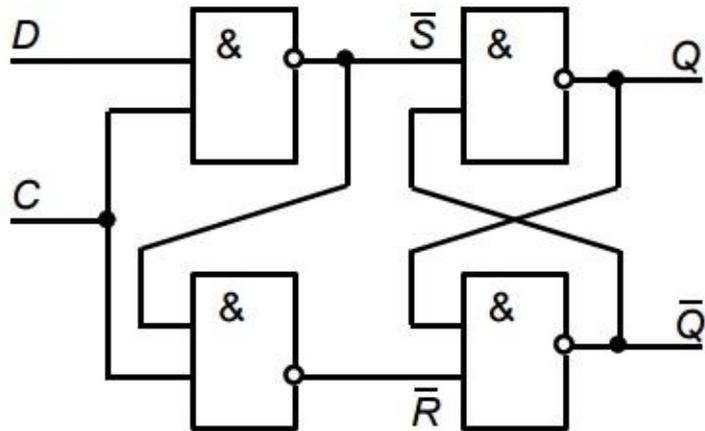
УГО триггера



S	R	C	Q^n	Q^{n+1}	
X	X	0	X	Q^n	хранение
1	0	1	X	1	запись «1»
0	1	1	X	0	запись «0»
1	1	1	X		неопределенность (запрещенный режим)

D-триггер синхронный

На графиках работы видно, что изменение выходного сигнала происходит только при наличии «1» на входе С. Данные сохраняются в неизменном состоянии до поступления следующего импульса синхронизации. В этом цикле обеспечивается беспрепятственная проводимость данных.



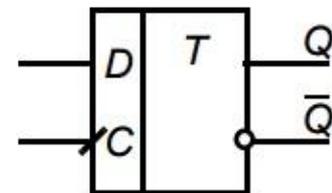
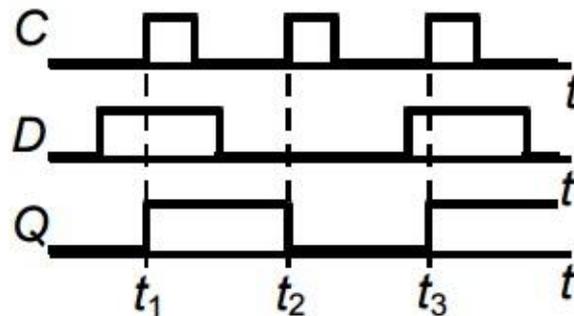
$$Q^{n+1} = D$$

C	D	Q^n	Q^{n+1}	
0	X	Q^n	Q^n	хранение
1	1	X	1	запись «1»
1	0	X	0	запись «0»

Прозрачная защелка



Триггер задержки



УГО D-триггера

Регистр

Из триггеров (они бывают и других типов, отличных от рассмотренных) строятся многие элементы ЭВМ, например **регистры**.

Они предназначены для приема, временного хранения и передачи информации в двоичном коде.

Каждый **триггер** регистра используется для ввода, хранения и вывода **одного разряда** двоичного числа.

Регистр, предназначенный для **хранения** информации, называют **накопительным**.

Существуют также **сдвигающие** регистры, в которых двоичную информацию можно перемещать поразрядно влево и вправо, а также **счетные** регистры, предназначенные для преобразования десятичных чисел в двоичные и обратно.

На основе базовых элементов строятся различные микросхемы ЭВМ, например, процессор, память, сумматор, дешифратор, мультиплексор и др.

Сумматор

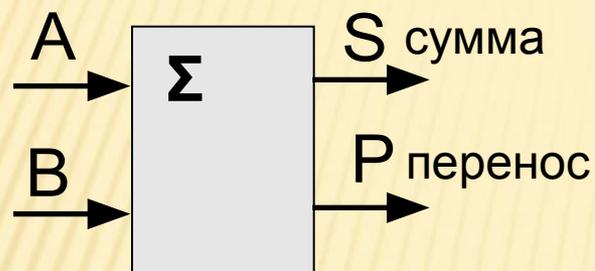
- устройство, предназначенное для арифметического сложения двух чисел.

По известному нам правилу сложения многоразрядных двоичных чисел, каждый разряд суммы формируется из разрядов слагаемых и переноса из младшего разряда. Кроме того, формируется перенос в старший разряд.

Простейшим сумматором является сумматор одноразрядный или полусумматор.

Полусумматор

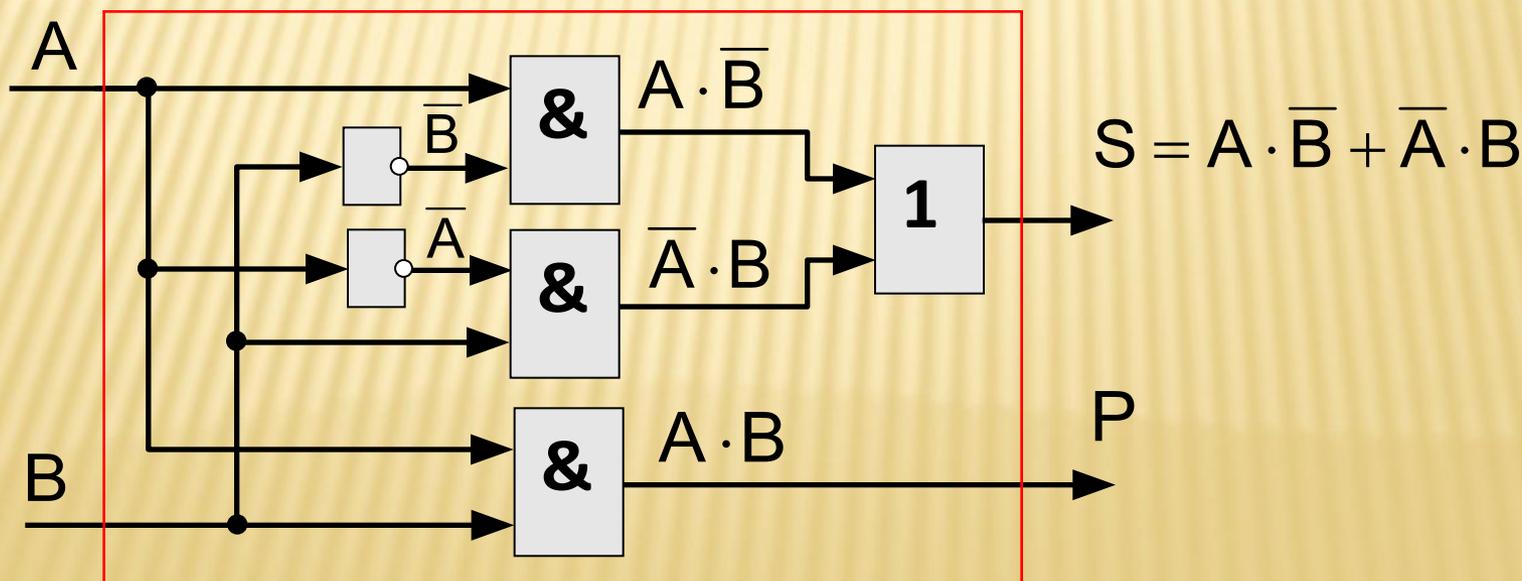
Полусумматор – это логическая схема, способная складывать два одноразрядных двоичных числа.



$$P = A \cdot B$$

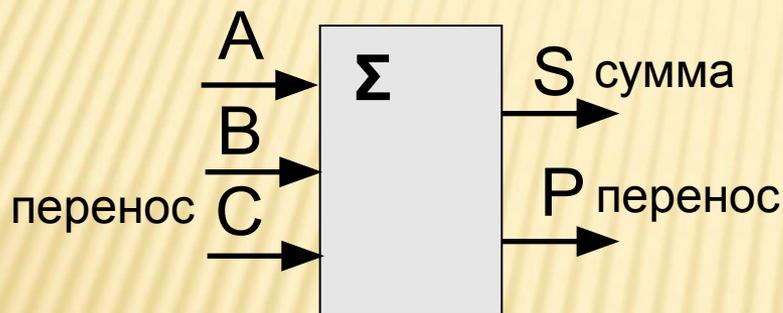
$$S = A \oplus B = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B$$

A	B	P	S
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

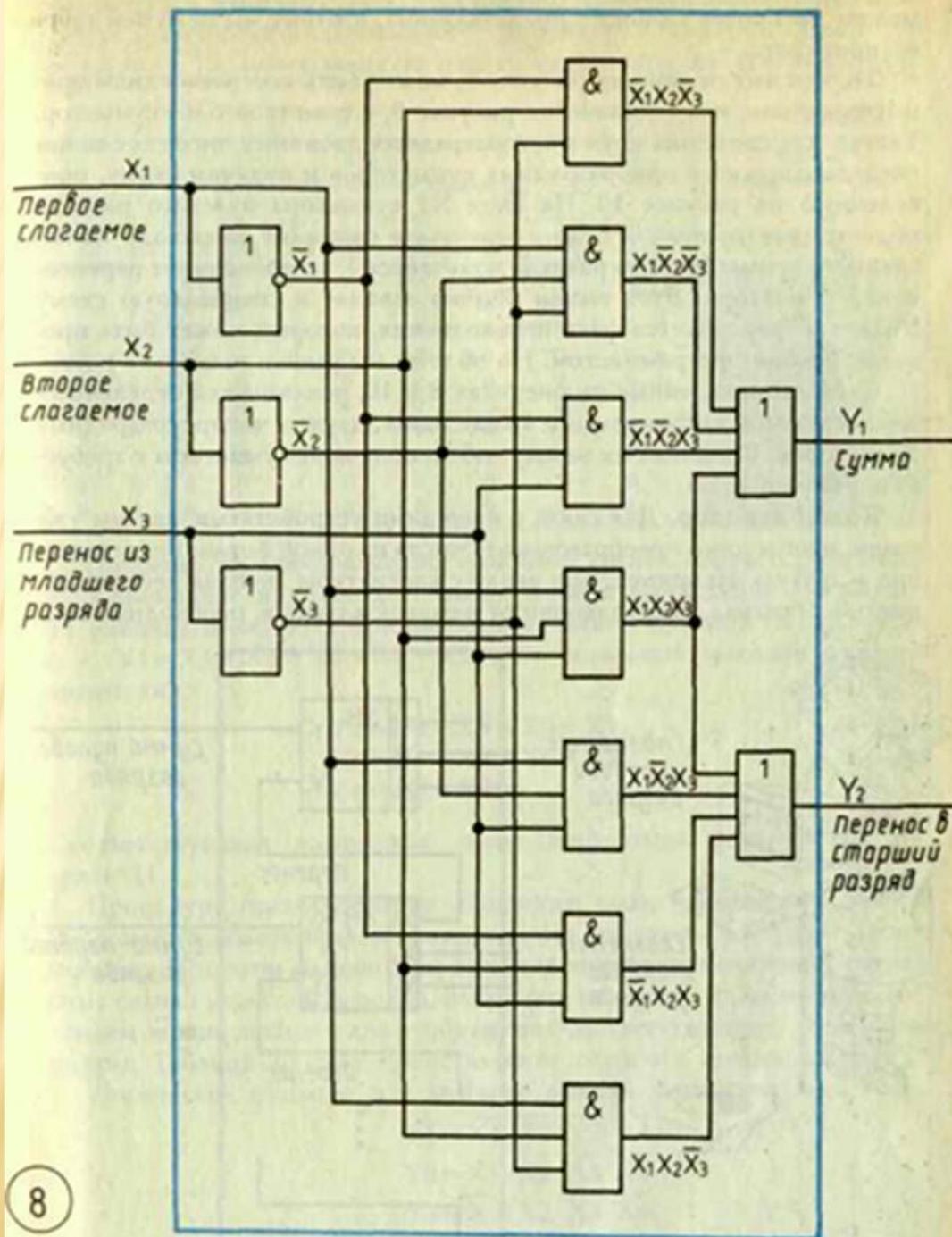


Сумматор

Сумматор – это логическая схема, способная складывать два одноразрядных двоичных числа с переносом из предыдущего разряда.



A	B	C	P	S
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1



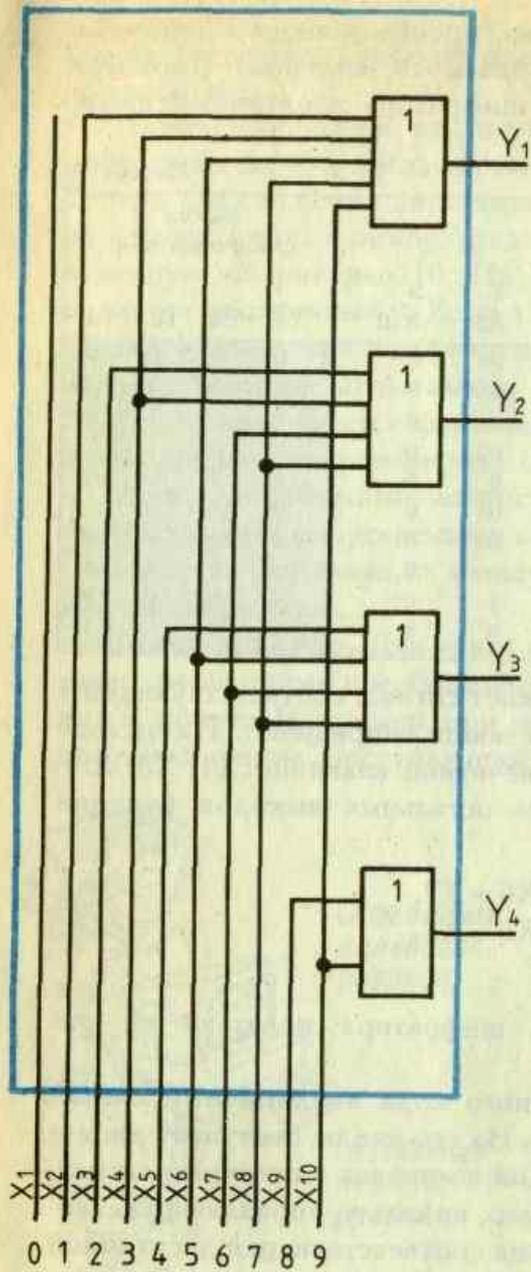
Кодер-декодер(шифратор-дешифратор)

Для связи с внешними устройствами, как мы уже знаем, необходимо преобразовывать числа из одной формы представления в другую.

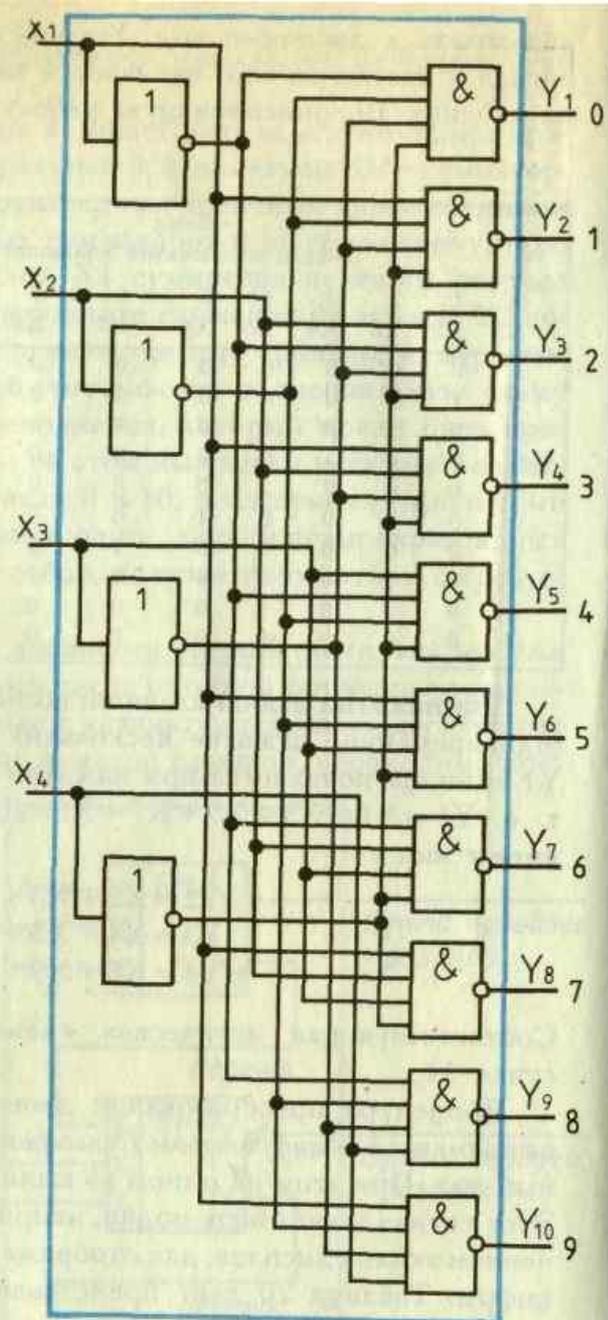
Например, при вводе с клавиатуры десятичных цифр 0...9, сигнал, поступающий от нажатой клавиши, необходимо преобразовать в двоичный код.

Устройство, преобразующее одиночный сигнал в двоичный код, называется **шифратором (кодером)**.

Процедура преобразования двоичного кода в единичный сигнал выполняется **дешифратором (декодером)**.



(11)



(12)

