

## **Лекция 12**

### **Тема: Элементы цифровых устройств**

В радиотехнических системах, технике связи, телевидении и т. д. широко используют импульсные и цифровые устройства. К импульсным относят устройства, работающие в прерывистом (импульсном) режиме. При этом кратковременное воздействие чередуется с паузой. Импульсная и цифровая техника базируются на использовании последовательностей импульсов определенной формы. Устройства, с помощью которых формируют и обрабатывают импульсные сигналы, действуют, как правило, в ключевом режиме. Такой режим работы усилительных приборов имеет ряд существенных преимуществ перед активным режимом. Основное преимущество ключевого режима – высокий, близкий к 90...95 % КПД. В ключевом режиме достигается достаточно большая мощность во время действия импульсов при малом значении средней мощности, расходуемой в схеме. Поэтому импульсные и цифровые устройства обладают меньшими массой и габаритными размерами. Транзисторы в импульсных и цифровых схемах либо закрыты, либо полностью открыты (насыщены), поэтому на них рассеивается незначительная мощность и надежность устройств очень высока.

### **Логические сигналы и элементы**

Будучи тесно и органично связанными, импульсная и цифровая техника отражает различные характеристики функционирования одних и тех же устройств. Прежде всего, это связано с тем, что импульсные сигналы являются носителями цифровой информации, а импульсные устройства лежат в основе реализации цифровых схем. Импульсная техника связана с формированием, усилением и преобразованием импульсных сигналов по их физическим параметрам (амплитуде, мощности, длительности и частоте следования). Цифровые устройства выполняют лишь логические преобразования информации, которую несут в себе различные последовательности импульсных сигналов, выраженных условными параметрами, например совокупностью разных уровней или чередованием высоких и низких уровней напряжения. Цифровые устройства осуществляют логическое запоминание, суммирование, умножение, шифрацию и дешифрацию кодов, деление частоты следования импульсов и ряд других операций.

Как в цифровой технике осуществляется отражение информации? Люди для обозначения различных предметов, понятий, действий или намерений

пользуются словами. Слова строят из букв, которые берут из некоторого набора, называемого алфавитом. В цифровой технике для этих целей используют кодовые слова. Особенность кодовых слов заключается в том, что для конкретной схемы они имеют одинаковую длину (т. е. представляют собой буквенные последовательности одинаковой длины), и для их построения часто применяется простейший алфавит, состоящий из двух букв. Как уже

отмечалось, в современной цифровой технике наиболее часто информация (кодовые слова) представляется импульсными сигналами прямоугольной формы, имеющими два фиксированных уровня напряжения. Сигналу «1» (единице) соответствует уровень «высокого» напряжения – потенциал напряжения питания, а сигналу «0» (нулю) – уровень «нулевого» напряжения, т. е. потенциал, близкий к потенциалу корпуса (общей шины). Таким образом, кодовое слово в цифровой технике имеет вид последовательности символов 1 и 0 определенной длины, например 10110110. Подобными кодовыми словами может представляться и цифровая, и нецифровая информация. Различие в физической сущности импульсных и цифровых сигналов предопределяет разные методы их описания, теоретического исследования и практического использования.

Как известно, в основу анализа и синтеза импульсных устройств, представляющих собой совокупности пассивных и активных элементов, заложены известные законы электрических и электромагнитных цепей. Теоретической базой построения подавляющего большинства систем цифровой обработки информации являются дискретная математика и алгебра логики Дж. Буля, оперирующие с логическими сигналами.

### **Логические сигналы**

Цифровые сигналы отражают числовые значения физических величин, например напряжения. Наряду с ними в цифровых устройствах могут действовать сигналы, появление которых связано с наступлением или ненаступлением какого-либо события, т. е. сигналы, отражающие логические задачи. Несмотря на формальную схожесть, между импульсными и цифровыми сигналами существенная разница. Чтобы ее увидеть, рассмотрим цифровое сравнивающее устройство (цифровой компаратор), на входы которого поступают цифровые коды, а результат этого воздействия отражается на двух выходах. Когда коды на входах компаратора окажутся равными, на одном из его выходов появится потенциал определенного уровня (например, импульс, т. е. «единица»), свидетельствующий о наступлении события, – равенстве кодов. Такой же сигнал появится на этом выходе при равенстве кодов другого значения. Тот же сигнал появится на другом выходе компаратора, если один код меньше другого, причем значение их разности никакого влияния на величину сигнала не оказывает.

Построение компаратора предусмотрено таким образом, что появление описанных сигналов на выходах есть ответ на наступление того или иного события вне зависимости от его содержания; важны лишь истинность этого события или его ложность. Наличие или отсутствие описанных сигналов и порождающие их условия связаны с логическим выражением типа «если ..., то» и другими логическими связями. Поэтому такие сигналы и называют логическими. Название объясняется тем, что аналогичные условия между причиной и следствием являются предметом изучения в формальной логике. Как известно, формальная логика оперирует с высказываниями вне зависи-

мости от их содержания, учитывая лишь их истинность или ложность. Истинное высказывание: «Постоянный ток не протекает через конденсатор», ложное: «Одиночный видеоимпульс имеет линейчатый характер частотного спектра».

По структуре высказывания могут быть и простыми, и сложными. Приведенные высказывания являются простыми. Простое высказывание содержит один факт, который не зависит от других фактов, а значит, может быть либо истинным, либо ложным. Сложное высказывание содержит несколько простых. Формальная логика позволяет однозначно представлять сложное высказывание совокупностью простых, а введение символов, обозначающих простые высказывания, – решать логические задачи математическими средствами. Их совокупность составляет содержание алгебры логики, разработанной английским математиком Джорджем Булем. В соответствии с булевой алгеброй истинному высказыванию (наступлению события) ставится в соответствие символ 1 (логическая единица), а ложному (ненаступлению события) – символ 0 (логический нуль). Значит, булева алгебра оперирует с двумя переменными: 1 и 0, т. е. с двоичными переменными. Функция двоичных переменных принимает те же два значения (1 и 0) и называется логической функцией.

Логические символы 1 и 0 никакого отношения к числовому значению сигнала не имеют. Они лишь описывают качественное состояние события, и к ним не применимы арифметические операции. В электрических цепях эти символы представляют так же, как и аналогичные в цифровой структуре сигнала: логическая 1 – высоким (часто импульсом), а логический 0 – низким (часто нулевым) уровнем потенциала.

В основе алгебры логики Буля лежат три основные элементарные операции: ИЛИ {логическое сложение, или дизъюнкция, И {логическое умножение, или конъюнкция), НЕ {логическое отрицание, или инверсия). С помощью этих логических операций можно описать функционирование электрической цепи, радиотехнического устройства и т. д.

Не вдаваясь в подробное изучение, приведем математические записи основных аксиом и законов алгебры Буля. Применение этих аксиом и законов позволяет существенно упростить представление логических функций, которые имеют различные формы записи: алгебраическое, табличное, графическое и т. д. В классической математике для задания функции обычно используют два способа – аналитический (формулы) и табличный (таблицы с значениями функций). Подобными же способами можно задавать и логические функции. Наибольшее распространение в теории и практике получило представление логических функций в виде таблиц, называемых таблицами состояний, диаграммами состояния, переключательными таблицами или таблицами истинности. Таблица истинности – табличное представление логической схемы (операции), в котором перечислены все возможные сочетания значений истинности входных сигналов (операндов) вместе со значением истинности выходного сигнала (результата логической операции) для каждого из этих сочетаний входных сигналов.

Аксиомы	Законы
$1 + X = 1$	$X_1 + X_2 = X_2 + X_1$
$0 \cdot X = 0$	$X_1 \cdot X_2 = X_2 \cdot X_1$
$0 + X = X$	$X_1 + X_2 + X_3 = X_1 + (X_2 + X_3)$
$1 \cdot X = X$	$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 = X_1 \cdot (X_2 \cdot X_3)$
$X + X = X$	$X_1 \cdot (X_2 + X_3) = (X_1 \cdot X_2) + (X_1 \cdot X_3)$
$X \cdot X = X$	$X_1 + (X_2 \cdot X_3) = (X_1 + X_2) \cdot (X_1 + X_3)$
$X + \bar{X} = 1$	$\overline{X_1 + X_2} = \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_2$
$X \cdot \bar{X} = 0$	$\overline{X_1 \cdot X_2} = \bar{X}_1 + \bar{X}_2$
$\overline{\bar{X}} = X$	$X_1 + (X_1 \cdot X_2) = X_1$ $X_1 \cdot (X_1 + X_2) = X_1$

Используя основные законы булевой алгебры, нетрудно показать, что функционально полным набором, позволяющим осуществить любую логическую операцию, являются три логические функции ИЛИ, И и НЕ.

### Логические элементы

Логические элементы выполняют все возможные операции над логическими переменными. Логический элемент – часть электронной логической схемы, которая реализует элементарную логическую функцию. Логическими элементами являются электронные схемы ИЛИ, И, НЕ, ИЛИ-НЕ, И-НЕ и др. (называемые вентилями). К ним в компьютерной технике часто относят триггер. С помощью этих схем можно реализовать любую логическую функцию, описывающую работу устройств компьютера. Обычно у вентиляей бывает от двух до восьми входов и один или два выхода. Каждый логический элемент имеет свое условное обозначение, которое выражает его логическую функцию, но не указывает на то, какая именно электронная схема в нем реализована. Это упрощает запись и понимание сложных логических схем.

Логический элемент ИЛИ имеет два или более входов  $X_1, X_2, \dots$  и один выход  $Y$  (рисунок 1, а)).

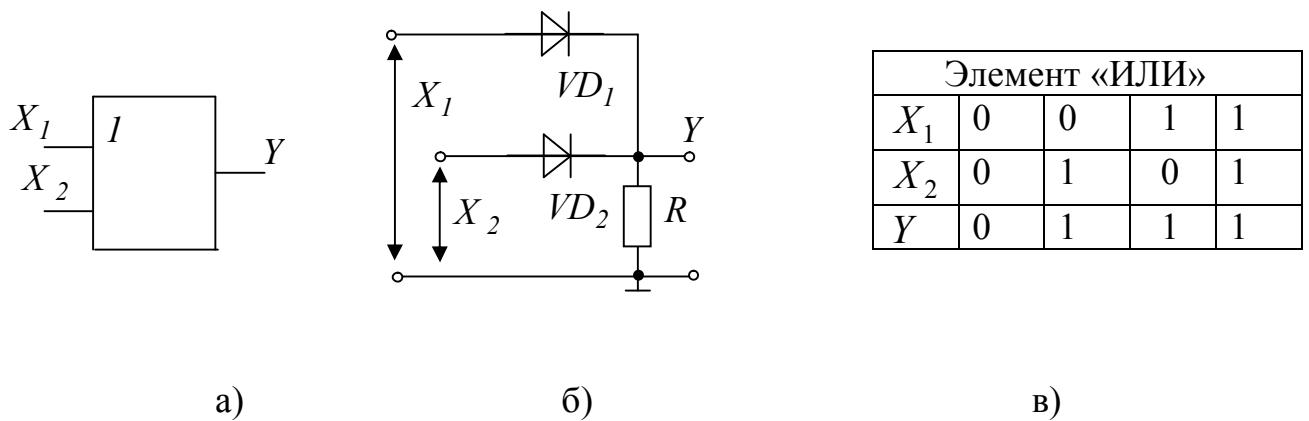


Рисунок 1 – Логический элемент ИЛИ:

а) – обозначение; б) – диодная реализация; в) – таблица истинности

Операция дизъюнкции для двух переменных

$$Y = X_1 + X_2 \quad (7.1)$$

Рассмотрим диодный двухвходового элемента *ИЛИ* (рисунок 1, б)). Если единичный уровень напряжения (логическая «1») присутствует или на первом  $X_1$ , или на втором  $X_2$ , или на обоих входах, то через открытые диоды  $VD1$  или  $VD2$  это напряжение поступит на выход, создавая единичный уровень выходного напряжения. При нулевых входных напряжениях диоды закрыты, и на выходе элемента будет нулевое напряжение. В соответствии с этими условиями элементу *ИЛИ* отвечает таблица истинности, показанная на рисунке 1, в).

Логический элемент *И* (логическая схема совпадения) содержит два или более входов  $X_1, X_2, \dots$  и один выход  $Y$  (рисунок 2, а)). Представленный в обозначении символ  $\&$  (and – читается «энд», т. е. *И*) отражает операцию конъюнкции для двух переменных и определяется выражением

$$Y = X_1 \cdot X_2 \quad (7.2)$$

Обратимся к элементарной, двухвходовой диодной реализации элемента *И* (рисунок 1, б)). Если любое входное напряжение равно нулю, то катод соответствующего диода через источник на входе замкнут на корпус, и выходное напряжение равно нулю. Напряжение на выходе появится, если высокое напряжение, запирающее диоды, будет подано одновременно и на первый и на второй входы

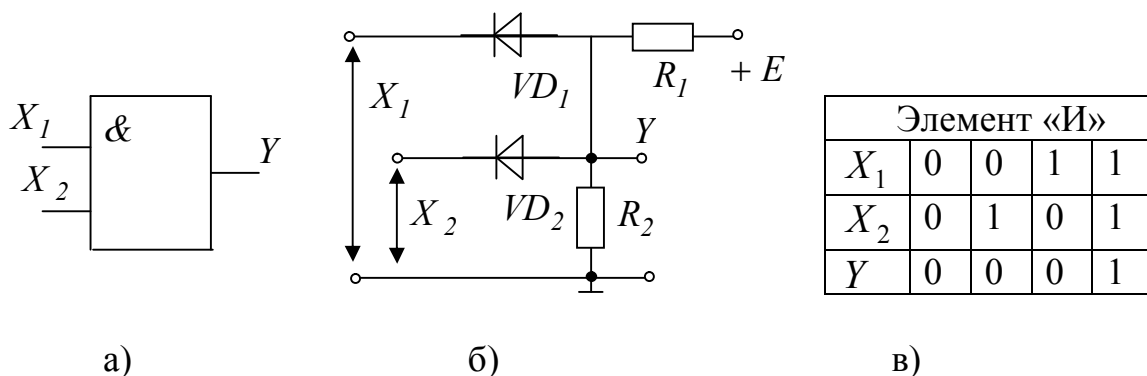


Рисунок 2 – Логический элемент И:

а) – обозначение; б) – диодная реализация; в) – таблица истинности

В этом случае оба диода будут закрыты, и через резисторы  $R_1, R_2$  потечет ток, который создаст на резисторе  $R_2$  высокое выходное напряжение (сигнал  $Y = 1$ ). Таблица истинности элемента *И* показана на рисунке 2, в).

Логический элемент *НЕ* (инвертор) выполняет операцию инверсии, т. е. инвертирует входную логическую величину в соответствии с формулой  $Y = \overline{X}$ . (7.3)

Словами данная операция трактуется как «игрек равен не иксу», или «игрек равен иксу под чертой».

В обозначении элемента *НЕ* (рисунок 3, а)) операция инверсии отражена кружком на выходе схемы. Работу элемента *НЕ* иллюстрирует таблица истинности, показанная на рисунке 3, б). Операцию инверсии выполняют электронные ключи – транзисторные усилительные каскады (транзисторные ключи).

Рассмотрим простейшую схему транзисторного усилительного ключевого каскада с общим эмиттером (рисунок 3, в)). Транзистор, работающий в ключевом режиме, может находиться только в двух определенных состояниях. Первому из них соответствует точка 1 на выходных характеристиках (рисунок 3, г)): при  $U_{BX} = 0$  ( $X = 0$ ) транзистор закрыт (устанавливают резистором  $R_B$ ), ток коллектора практически равен нулю, а напряжение на коллекторе (выходе)  $U_{ВЫХ} \approx E_K$  ( $Y = 1$ ). Второе состояние транзистора (точка 2 на рисунок 3, г)) обеспечивают подачей на вход высокого положительного напряжения ( $X = 1$ ). При этом  $U_{ВЫХ} \approx U_{НАС} \approx 0$ , и ток коллектора насыщения возрастает до предельно возможного  $I_{KH} \approx E_K / R_K$ .

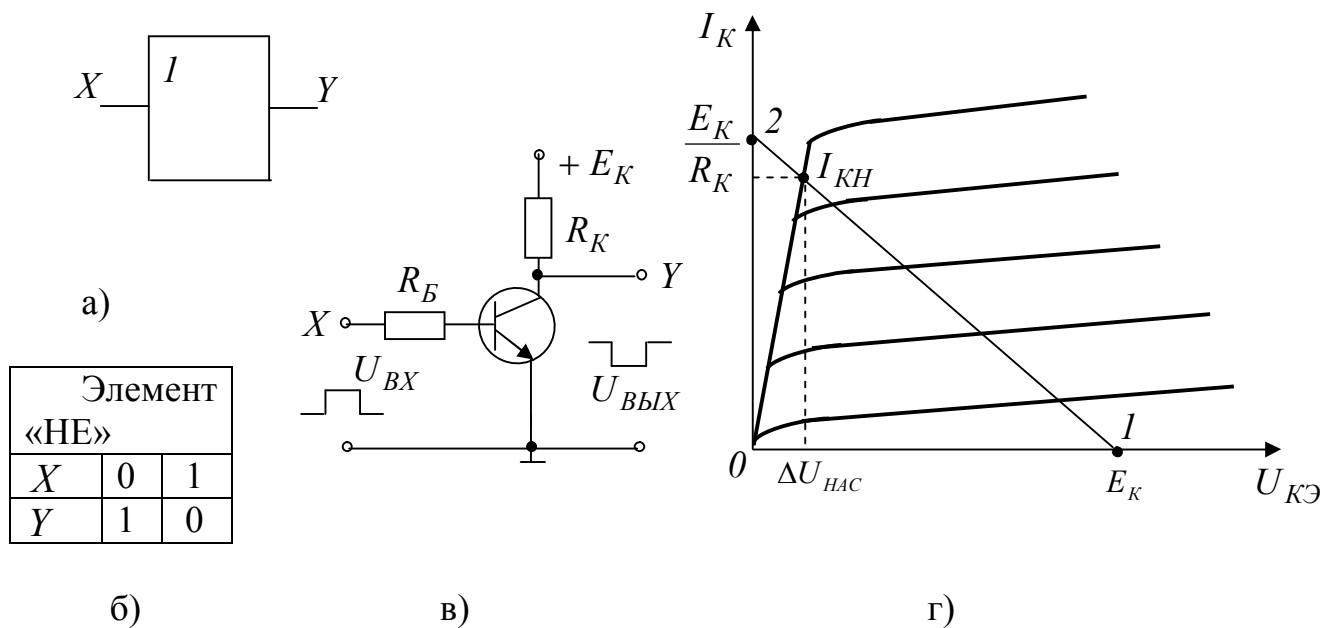


Рисунок 3 – Логический элемент НЕ: а) – обозначение; б) – таблица истинности; в) – транзисторный ключ; г) – характеристики ключа

Элемент *ИЛИ – НЕ* (рисунок 3, а) осуществляет логическое сложение двух (и более) цифровых сигналов с инверсией результата:

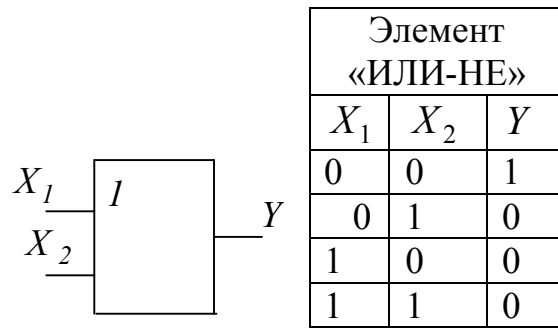
$$Y = X_1 + X_2 .$$

Элемент *И – НЕ* (рисунок 3, б)) производит логическое умножение двух (и более) цифровых сигналов с инверсией результата:

$$Y = \overline{X_1 \cdot X_2} .$$

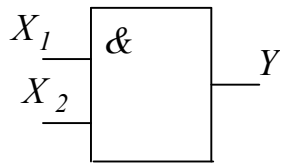
Таблицы истинности элементов *ИЛИ – НЕ* и *И – НЕ* показаны на рисунке 4, в), г).

Базовые схемы можно использовать в свою очередь для построения простейших логических элементов. Так объединение входов схемы *И – НЕ* превращают ее в инвертор (рисунок 4, а)). Наличие усилительного элемента в логических схемах *ИЛИ – НЕ* и *И – НЕ* позволяет сохранить высокий потенциал напряжения сигнала (логическую «1») в процессе передачи при последовательном многократном соединении этих устройств.



а)

в)



Элемент «И-НЕ»		
$X_1$	$X_2$	$Y$
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	0

б)

г)

Рисунок 4 – Базовые элементы: а) – ИЛИ – НЕ и; б) – И – НЕ; в), г) – соответствующие таблицы истинности