## Лабораторная работа №1

Исследование работы базовых цифровых устройств.

## 1. Определения комбинационных и последовательных устройств

Устройства, реализующие функции алгебры логики, называют *логическими* или *цифровыми* и классифицируют по различным отличительным признакам. Так, по характеру информации на входах и выходах логические устройства подразделяют на устройства последовательного, параллельного и смешанного действия, а по схемному решению и характеру связи между входными и выходными переменными с учётом их изменения по тактам работы − на комбинационные и последовательностные.

В *комбинационных* устройствах значения (0 или 1) сигналов на выходах в каждый конкретный момент времени полностью определяются значениями (комбинацией, набором) действующих в данный момент цифровых входных сигналов.

В *последовательностных* же устройствах значения выходных сигналов в *п*-такте определяются не только значениями входных сигналов в этом такте, но и зависят от внутренних состояний устройств, которые произошли в результате воздействия входных сигналов в предшествующие такты.

**2. Комбинационные цифровые устройства**

**2.1 Шифратор**

Шифратор (кодер) - это устройство, преобразующее m- разрядный позиционный код в n- разрядный двоичный код.

В позиционном коде число определяется позицией единицы в серии нулей, или позицией нуля в серии единиц .

000000100

111110111

Наибольшее применение он находит(л) в устройствах ввода информации (пультах управления) для преобразования десятичных чисел в двоичную систему счисления.

Предположим, на пульте десять клавиш с гравировкой от 0 до 9. При нажатии любой из них на вход шифратора подается единичный сигнал (Х0, ..., Х9).

На выходе шифратора должен появиться двоичный код (Y0, ..., Y9) этого десятичного числа. Таблица истинности шифратора приведена на рисунке 2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Входы | Входы | Выходы | | | |
| X |  | Y3 | Y2 | Y1 | Y0 |
| 0 | 0000000000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0000000001 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0000000010 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0000000100 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 0000001000 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 0000010000 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 0000100000 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 0001000000 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 0010000000 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 01000000000 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Рисунок 2 - Таблица истинности шифратора

СДНФ для выходов шифратора можно записать:

Y0 = X1 + X3 + X5 + X7 + X9 ; Y1 = X2 + X3 + X6 + X7;

Y2 = X4 + X5 + X6 + X7; Y3= X8 +X9;

По логическим выражениям построим схему шифратора:

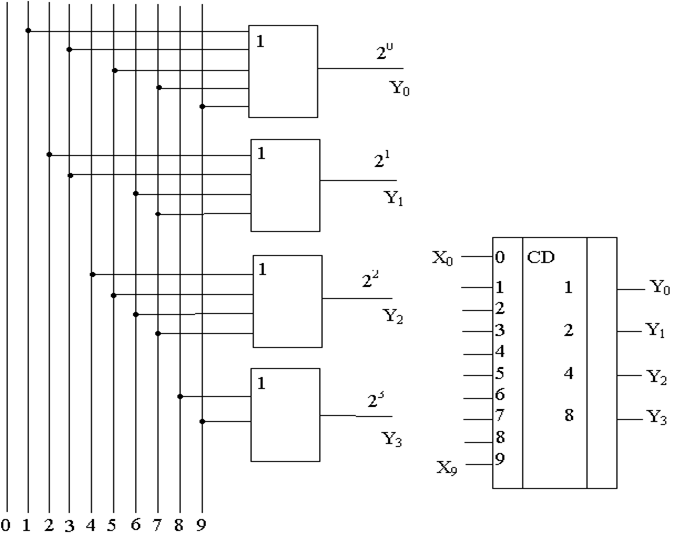


Рисунок 3 - Цифровая логическая схема шифратора и его графическое изображение (УГО)

**2.2 Дешифратор**

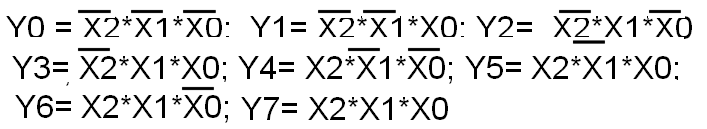
Дешифратор (декодер) - устройство, преобразующее входной n – разрядный двоичный код в m - разрядный позиционный код по формуле:



Дешифраторы широко применяются в устройствах управления, для построения распределителей импульсов по различным цепям, в элементах памяти и др. Таблица истинности дешифратора на три входа имеет вид:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| X2 X1 X0 | Y0 | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | Y6 | Y7 |
| 000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 001 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 010 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 011 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 101 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 111 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Логические выражения для выходныъ функций дешифратора:



Функциональная схема:

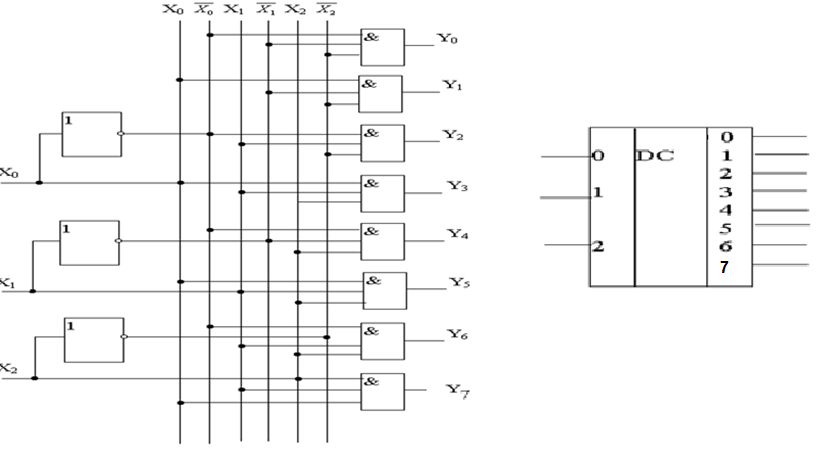


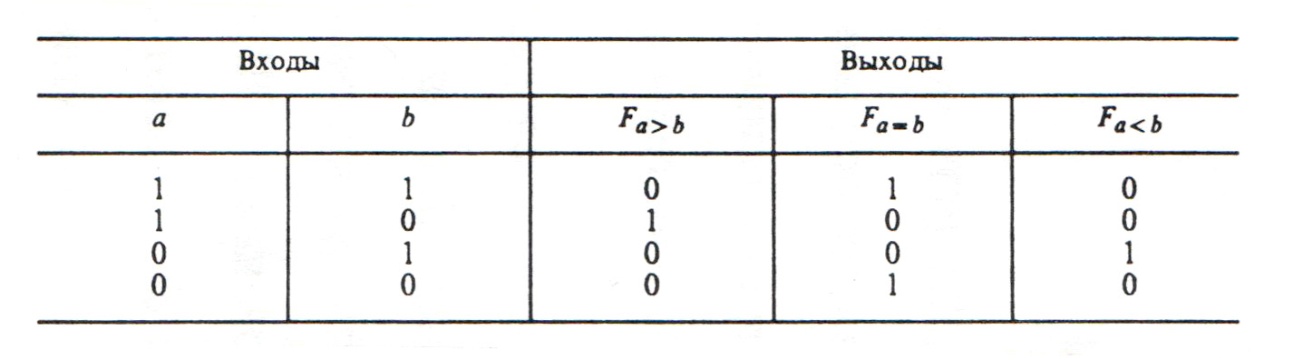
Рисунок 4 – Функциональная схема дешифратора

**2.3 Цифровой компаратор**

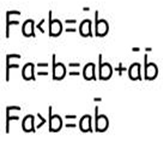
Цифровые компараторы выполняют сравнение двух чисел А и В, заданных в двоичном коде с одинаковым количеством разрядов.

Цифровые компараторы имеют три выхода: Fa > b, Fa = b, Fa < b.

Таблица истинности одноразрядного компаратора :



Логические выражения для каждой функции имеют вид:



Функциональная схема:

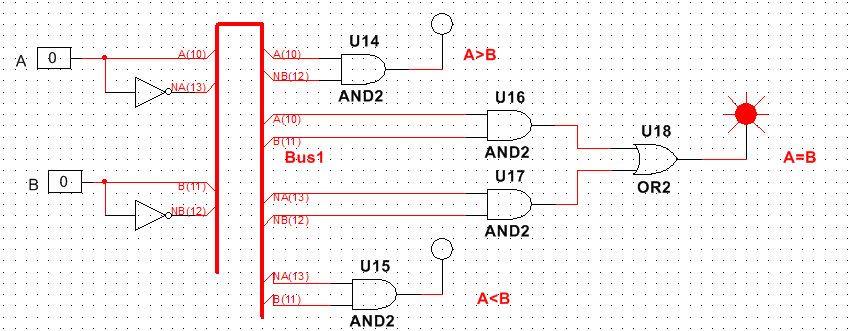


Рисунок 5 – Функциональная схема одноразрядного цифрового компаратора

Цифровой компаратор в виде микросхемы представлен на рисунке 6

Входы A>B, A<B, A=B служат для наращивания разрядов сравниваемых чисел.

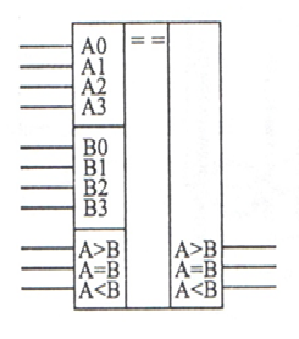


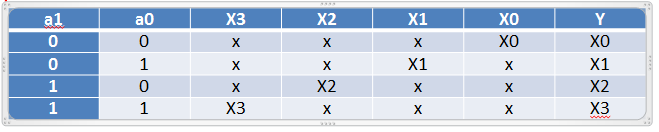
Рисунок 6 - Условное графическое изображение компаратора на четыре входа

**2.4 Цифровой мультиплексор**

Пропускает(коммутирует) сигнал с одного из входов на один выход в зависимости от состояния двоичного кода на адресных входах.

Таблица истинности мультиплексора 4 в 1:

мультиплексора 4 в 1:



Логическая функция мультиплексора 4 в 1:

Y=X0\*a1\*a0 + X1\*a1\*a0 + X2\*a1\*a0 + X3\*a1\*a0

Функциональная схема мультиплексора и его изображение приведено на рисунке 7

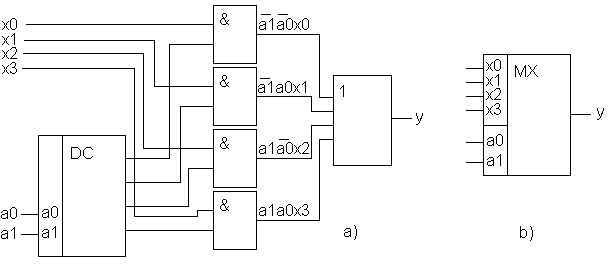
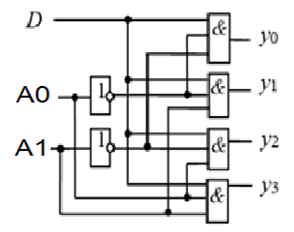


Рисунок 7 Цифровая схема мультиплексора

**2.5 Демультиплексор**

Демультиплексором называют устройство, в котором сигналы с одного информационного входа поступают на требуемый выход в зависимости от кода на адресных шинах. Таблица истинности логических функции выходных сигналов, функциональная схема и УГО демультиплексора 1 в 4 приведена на рисунке 8





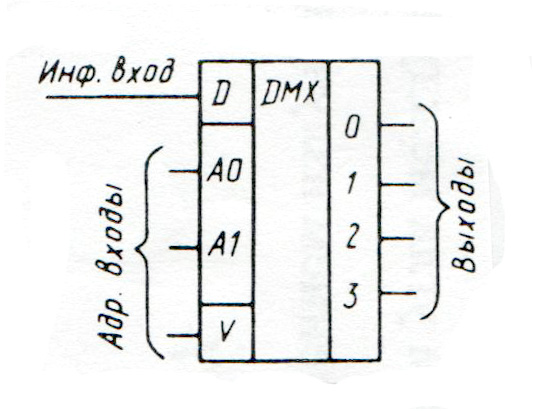


Рисунок 8 - Демультиплексор

**2.6 Сумматоры**

Сумматоры – это комбинационные устройства, предназначенные для сложения двух входных двоичных кодов. Например, арифметическая сумма кодов 0111 (число 7) и 0101 (число 5) равна 1100 (число 12). Арифметическая сумма кодов 1101 (число 13) и 0110 (число 6) равна 10011 (число 19), т. е. сумма двух двоичных чисел с числом разрядов n может иметь результат с числом разрядов n + 1.

Таблица истинности одноразрядного сумматора с учетом переноса из младшего разряда РI и переноса в старший разряд Р0 приведена на рисунке 9.

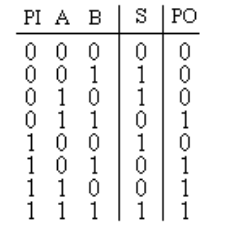
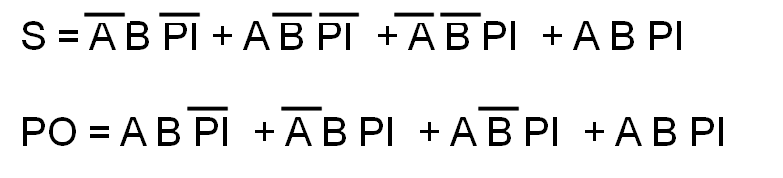


Рисунок 9 - Таблица истинности сумматора

СДНФ для функции суммы и переноса имеет вид:



Цифровая схема одноразрядного сумматора приведена на рисунке 10

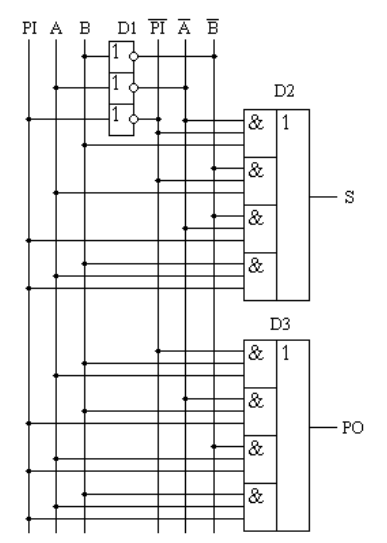
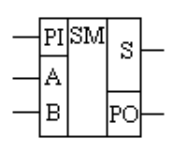


Рисунок 10 - Цифровая логическая схема одноразрядного сумматора

УГО сумматора имеет вид:



Для сложения чисел различной разрядности сумматоры последовательно соединяются дгуг с другом:

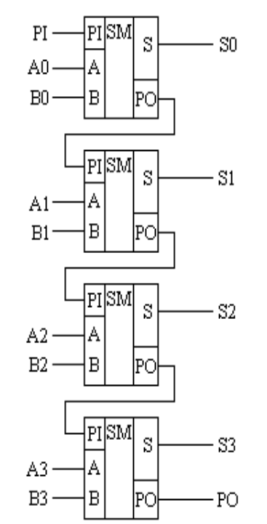


Рисунок 11 - Четырехразрядный двоичный сумматор

**3Цифровые устройства последовательного типа (устройства с памятью)**

**3.1 Триггер**

Триггер – это устройство последовательного типа с двумя устойчивыми состояниями предназначенное для записи и хранения и чтения информации (RS, D, T и JK).

Под действием входных сигналов триггер может переключаться из одного устойчивого состояния в другое.

Как правило, триггер имеет два выхода: прямой Q и инверсный .

По способу записи информации триггеры делят на :

асинхронные, которые переключаются в момент подачи входных сигналов;

синхронные (тактируемые), которые переключаются только при подаче дополнительных синхронизирующих сигналов (импульсов);

статические - момент переключения связан с определённым уровнем синхросигнала (статические триггеры);

динамические - момент переключения связан с фронтом (перепада напряжения) синхросигнала.

Наибольшее распространение в цифровых устройствах получили триггеры RS, D, T и JK.

**3.1.1 Асинхронный RS - триггер**

. В простейшем RS-триггере информационные сигналы подаются непосредственно на входы S (Set — установка) и R(Reset — сброс) .

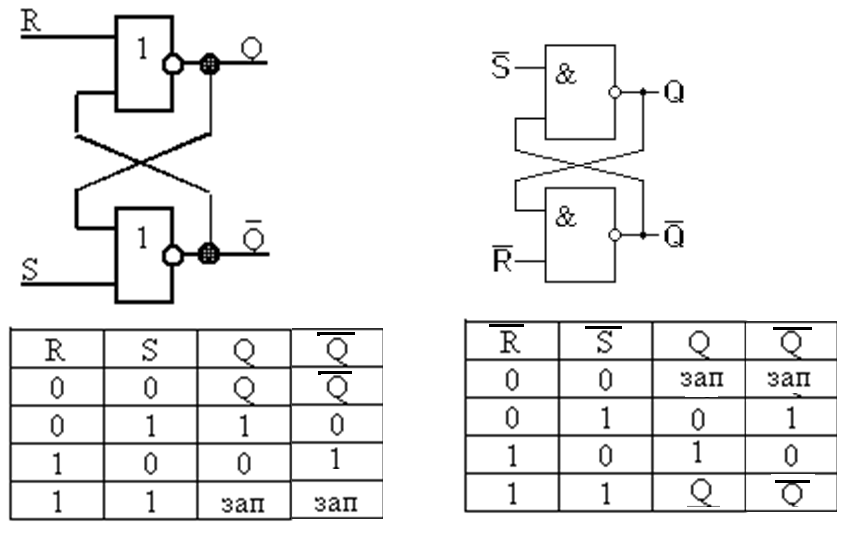
RS-триггеры применяются как самостоятельно, так и в составе других более сложных триггеров, а также входят в состав регистров и счётчиков.

Триггер может быть реализован как на элементах NOR так и на элементах NAND

В первом случае активным является высокий уровень сигналов во втором низкий уровень.

В первом случае при подаче на RS - входы логического нуля триггер хранит предыдущее состояние. Переключение в единичное состояние происходит при S=1 и R=0. При S=0 и R=1 триггер переключается в нулевое состояние. При подаче S=1 и R=1 триггер может переключится либо в состояние 1 либо в состояние 0, эта комбинация является запрещенной.

При использовании NAND - логики переключение триггер происходит инверсными сигналами. При этом режим хранения задается при S=1 и R=1 и запрещенная комбинация при S=0 и R=0 (рисунок 12).



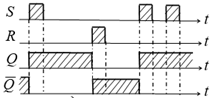
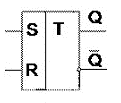
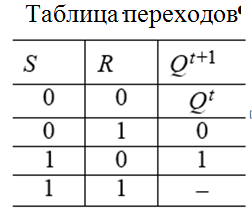


Рисунок 12 - Логическая схема RS - триггера, таблица истинности, временная диаграмма и УГО

Функционирование логических устройств последовательного типа описывается таблицами переходов, которые отличаются от таблиц истинности тем, что в них учитываются только результативные переходы, когда изменение комбинации сигналов на входе приводит к изменению выходного состояния. Так если принять текущее состояние триггера за Qt, а следующее состояние за Qt+1, то таблица переходов для триггера NOR будет иметь вид:



**3.1.2** Синхронный RS триггер

В устройствах цифровой техники, для исключения опасных "состязаний" входных сигналов, срабатывание всех узлов и элементов в каждом такте должно происходить строго одновременно. Для достижения этой цели применяется жёсткая синхронизация с помощью специальных синхроимпульсов. Для работы в схемах с синхронизацией режима разработаны синхронные RS-триггеры. Так на схеме (рисунок 13 а) при С=1, триггер будет хранить информацию, при этом значения сигналов на входах RS не будет влиять на работу триггера. Переключение триггера будет происходить при С=0. Применение синхронизации не устраняет неопределённое состояние триггера, возникающее при подаче запрещенной комбинации сигналов.

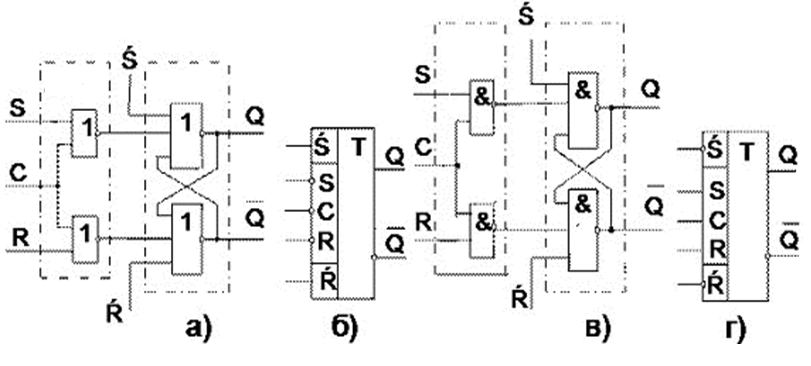


Рисунок 13 Синхронный RS-триггер

S, R – информационные входы

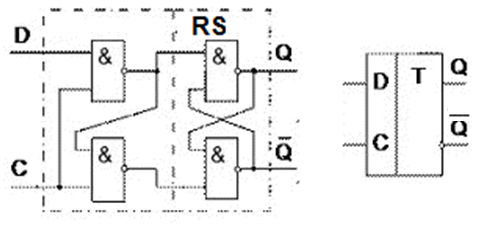
S, R – входы принудительной установки

С – вход синхронизации

**3.1.3 D-триггер**.

D - триггеры — это электронные устройства с двумя устойчивыми выходными состояниями одним информационным входом D и одним входом синхронизации. Триггер переключается по уровню синхросигнала. Запрещенных комбинаций нет. На рисунке 13 приведена таблица истинности, цифровая логическая схема и УГО D - триггера





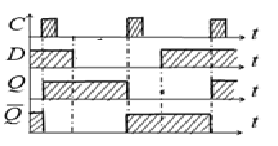


Рисунок 14 - D - триггер

Недостаток простейшего D-триггера (защелки), Пока на входе синхронизации присутствует высокий потенциал, триггер записывает входную информацию. Чтобы избежать прохождения входного сигнала на выход схемы приходится на вход триггера подавать очень узкие синхроимпульсы на вход С. Для исключения этого недостатка разработан динамический двухступенчатый D-триггер.

**3.1.4** Двухступенчатый (двухтактный) динамический D-триггер

Двухступенчатый D-триггер, построен по схеме «ведущий-ведомый» на двух триггерах D1 и D2 соединенных последовательно.

При С = 1 информация с входа D записывается в ведущий триггер D1.

При переходе уровня тактируемого синхросигнала С из 1 в 0 информация из D1 перезаписывается в ведомый D2. Т.е. по спадающему фронту синхроимпульса (рисунок 15).

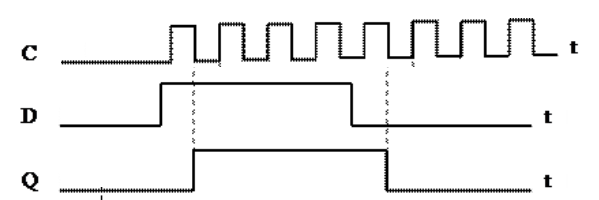
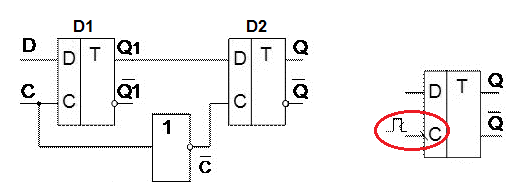
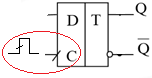


Рисунок 15 Двухступенчатый D-триггер

Существуют D-триггеры, в которых информация записывается по переднему (возрастающему фронту) сигнала на входе С, т.е. по переходу из 0 в единицу.



**3.1.5 Т - триггер.**

Т – триггеры работают в счетном режиме и меняют свое состояние на противоположное на каждом периоде тактового сигнала . На рисунке 16 показан T - триггер на основе двухступенчатого динамического D-триггера. Т – триггер делит тактовую частоту импульсов в два раза.

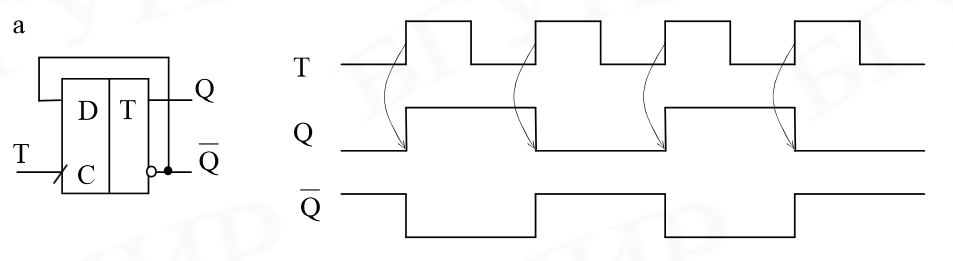
****

Рисунок 16 - Логическая схема Т - триггера

**3.2 Регистры**

Регистры — это функциональные узлы на основе триггеров, предназначенные для приёма, хранения, передачи и преобразования многоразрядной цифровой информации ( например из параллельного кода в последовательный и наоборот, из прямого кода в обратный, сдвиг числа и др.).

В зависимости от способа записи и чтения информации (кода числа) регистры бывают:

* параллельные;
* последовательные (сдвигающие);
* параллельно — последовательные.

**3.2.1 Параллельный регистр**

Запись кода в параллельные регистры осуществляется параллельно, то есть во все разряды регистра одновременно.

Каждый разряд регистра представляет собой двухступенчатый динамический (или реже одноступенчатый) D - триггер, хранящий значение одного разряда.

Вход R служит для установки триггеров в нулевое состояние перед записью информации.

Входное двоичное число подается на входы D0-D2 и при подаче импульса на вход С записывается в триггеры регистра.

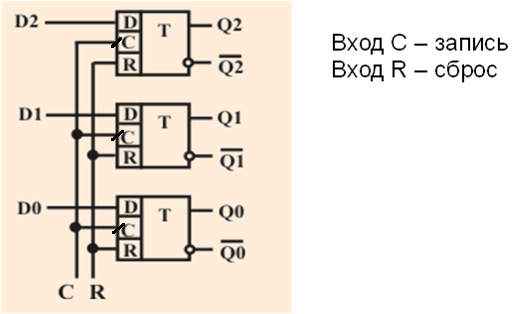


Рисунок 17 - Параллельный регистр

**3.2.2 Последовательный сдвиговый регистр**

Каждый выход триггера соединен с входом следующего. Информация подается на D-вход первого двухступенчатого триггера. При подаче импульса на вход С, бит информации на D – входе записывается в первый триггер. При подаче следующего синхроимпульса этот бит перезаписывается в следующий триггер. При этом в первый триггер записывается следующий бит информации и т. д. Информация продвигается по регистру от первого триггера к последнему (рисунок 16).

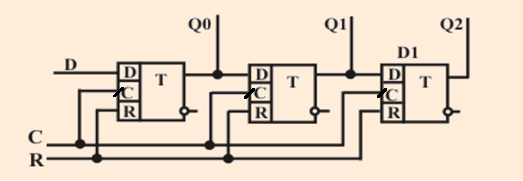


Рисунок 18 - Функциональная схема последовательного регистра

3.2.3 Реверсивный регистр сдвига

Реверсивные регистры сдвига обеспечивают возможность сдвига информации как вправо, так и влево. Они имеют специальный вход управления направлением сдвига.

Поскольку логические элементы способны передавать сигналы только в одном направлении с входа на выход (слева направо), то, для сдвига информации влево, необходимо информацию с выхода последующих триггеров по специально созданным цепям подавать на входы предыдущих триггеров и записывать их следующим тактовым сигналом. Это эквивалентно сдвигу информации влево(рисунок 17).

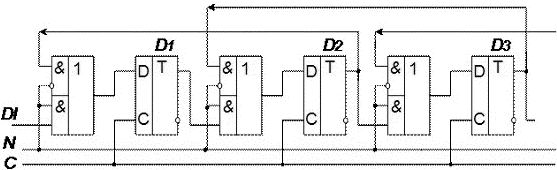


Рисунок 19- Схема реверсивного регистра сдвига

При N=1 тактовые импульсы производят сдвиг информации вправо, а при N=0 –— сдвиг информации влево

**3.3 Двоичный счетчик**

Счётчик предназначен для счёта поступающих на его вход импульсов, в интервале между которыми он должен хранить информацию об их количестве. Поэтому счётчик состоит из запоминающих ячеек – триггеров.

Каждый разряд счётчика может находиться в двух состояниях.

**Число устойчивых состояний , которое может принимать двоичный счётчик, разрядностью n называют коэффициентом пересчёта:**

Kcч=2n

Коэффициент пересчета равен количеству импульсов, которое может подсчитать счетчик.

Максимальное число N , которое может быть получено в счетчике равно разрядностью n: N=2n - 1

Если с каждым входным импульсом «записанное» в счётчике число увеличивается, то такой счётчик является суммирующим, если же оно уменьшается, то − вычитающим.

Счётчик, работающий как на сложение, так и на вычитание, называют реверсивным.

На рис 20 приведен четырехразрядный двоичный счетчик (суммирующий с верху и вычитающий с низу) с коэффициентом пересчета 16.



Рисунок 20 - Функциональная схема трехразрядного суммирующего счетчика

Временная диаграмма работы для трех разрядов суммирующего счетчика:

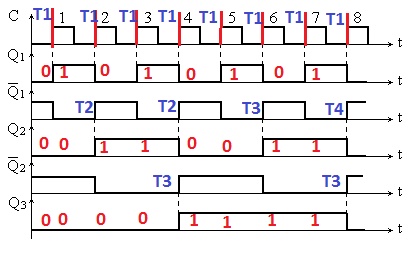


Рисунок 21 Временная диаграмма счетчика

**3.3.1 Счетчики с переменным коэффициентом пересчета (таймер)**.

Счетчик с переменным коэффициентом пересчета представляет собой комбинацию параллельного регистра и счетчика. Ниже приведена схема счетчика и его диаграмма функционирования, а также схема исследования счетчика на базе микросхемы аналога 74193N(рисунок 22).

Счетчик может работать как в прямом режиме (увеличение содержимого по каждому счетному импульсу на входе +1»UP»), так и в обратном (содержимого по каждому импульсу на входе -1»DOWN»).

На начальном этапе производится сброс счетчика высоким уровнем сигнала на входе R (CLR). Далее необходимо выбрать режим прямого счета (на вход +1,»DOWN» подать логическую единицу) или обратного счета (на вход -1,»DOWN» подать логическую единицу)

Для задания коэффициента пересчета в регистр счетчика по низкому уровню сигнала на входе С (LOAD)заносится необходимое начальное число, которое находится на входах D0 – D3 и в дальнейшем увеличение или уменьшение значения содержимого счетчика происходит начиная с этого числа по возрастающему фронту каждого счетного импульса на входе +1 («UP») или -1»DOWN».



Рисунок 22 – УГО счетчика с переменным коэффициентом пересчета.

Диаграмма работы счетчика

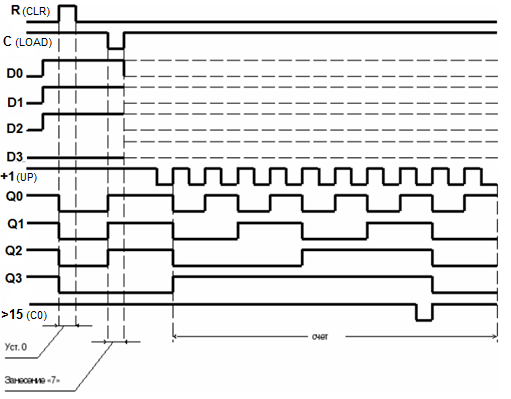


Рисунок 23 – Диаграмма работы счетчика с переменным коэффициентом пересчета

На рисунке 24 приведена схема исследования работы счетчика

Счетчика U1 работает на вычитание, а U11 на сложение. На начальном этапе в U1 по входам ABCD заносится требуемое значение коэффициента пересчета (на рисунке 0011 - 3) по низкому сигналу ЗАГРУЗКА.

По переходу сигнала из 0 в 1 на входе Up (кнопка СЧЕТ) значение счетчика уменьшается на 1. При достижении в счетчике минимального значения значения 0 в на выходе обратного переноса (13) «>15»(С0) возникает логический 0, который поступает через элемент AND на вход загрузки и в счетчик записывается следующее значение коэффициента пересчета. Т.е. на 13 выходе при повторении описанной процедуры будет появляться сигнал после каждого третьего импульса на входе -1. Если предварительно записать в регистр счетчика другое число, то сигал переноса будет появляться после другого количества счетных импульов.



Рисунок 24 – Схема исследования работы счетчика

Счетчик U11 служит для подсчета количества состояний счетчика U1 и работает в суммирующем режиме. Кнопка СБРОС служит для обнуления значений счетчика U11.

Задание к лабораторной работе.

Моделируемые элементы:

а) комбинационные:

1. Шифратор;

2. Дешифратор (число входов 4);

3. Двухразрядный цифровой компаратор(построить таблицу истинности, записать СКНФ, минимизировать с помощью карт Карно-Вейча, построить схеиу);

4. Цифровой мультиплексор (8 в 1, дешифратор взять как готовую компоненту);

5. Демультиплексор (1 в 8);

6. Четырехразрядный сумматор (последовательно соединить четыре одноразрядных сумматора в цепочку, учитывая переносы из предыдущих разрядов);

б) последовательные:

7. Асинхронный RS -триггер;

8. Синхронный RS -триггер;

9. Однотактный D - триггер;

10. Двухтактный D - триггер;

11. Т - триггер(на основе двухтактного D - триггера, триггер взять как готовую компоненту);

12.Параллельный регистр (4 -разряда, двухтактный D - триггер взять как готовую компоненту);

13. Последовательный регистр сдвига в право (4 -разряда, двухтактный D - триггер взять как готовую компоненту);

14. Реверсивный регистр сдвига (4 -разряда, двухтактный D - триггер взять как готовую компоненту);

15. Суммирующий счетчик с коэффициентом пересчета 16(4 разряда, двухтактный D - триггер взять как готовую компоненту);

16. Суммирующий счетчик с переменным коэффициентом пересчета (счетчик взять как готовую компоненту).

Варианты заданий

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Элемент 1 | Элемент 2 | Элемент 3 | Элемент 4 |
| 1 | 1 | 5 | 9 | 13 |
| 2 | 2 | 6 | 10 | 14 |
| 3 | 3 | 7 | 11 | 15 |
| 4 | 4 | 8 | 12 | 16 |
| 5 | 1 | 8 | 12 | 13 |
| 6 | 2 | 7 | 11 | 14 |
| 7 | 3 | 6 | 10 | 15 |
| 8 | 4 | 5 | 9 | 16 |
| 9 | 1 | 5 | 12 | 16 |
| 10 | 3 | 7 | 11 | 15 |
| 11 | 2 | 6 | 10 | 14 |
| 12 | 4 | 8 | 9 | 13 |
| 13 | 1 | 8 | 9 | 16 |
| 14 | 2 | 7 | 10 | 15 |
| 15 | 3 | 6 | 11 | 14 |
| 16 | 4 | 5 | 12 | 13 |
| 17 | 3 | 7 | 9 | 13 |
| 18 | 4 | 8 | 10 | 14 |
| 19 | 1 | 5 | 11 | 15 |
| 20 | 2 | 6 | 12 | 16 |
| 21 | 3 | 6 | 12 | 16 |
| 22 | 5 | 8 | 9 | 14 |
| 23 | 4 | 5 | 11 | 15 |
| 24 | 1 | 8 | 10 | 14 |
| 25 | 3 | 7 | 9 | 13 |
| 26 | 1 | 6 | 12 | 15 |
| 27 | 2 | 5 | 11 | 16 |
| 28 | 3 | 8 | 10 | 14 |
| 29 | 4 | 7 | 9 | 13 |
| 30 | 3 | 7 | 11 | 15 |

Требования к отчету:

Отчет представляется в двух видах

1) В бумажном виде (описательная часть - использование черновиков приветствуется) должен содержать

- номер задания;

- Для комбинационных элементов :

- таблица истинности, СДНФ (СКНФ) функции (функций).

- скриншот схемы в Proteus или Multisim;

- рисунок временной диаграммы ( для проектов выполненных в среде Multisim).

- для последовательных элементов :

- скриншот схем Proteus или Multisim;

- рисунок временной диаграммы (в Multisim).

2) Практическая часть должна содержать проект исследуемых элементов в Proteus или Multisim.

Контрольные вопросы

1. **.Кроме цифровых элементов своего задания необходимо уметь изобразить условное обозначение остальных элементов и пояснить принцип их работы.**
2. Приведите основные составляющие цифрового сигнала (передний фронт, задний фронт, активный единичный уровень, активный нулевой уровень, прямой и инверсный вход (выход), выход с третьим состоянием (высоким сопротивлением).
3. Принцип работы P/N перехода
4. Принцип работы диода, светодиода, фотодиода
5. Принцип работы биполярного транзистора.
6. Принцип работы полевого транзистора.
7. Реализация логических элементов НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ на полевых транзисторах.
8. Понятие аналогового и дискретного сигнала.

Дополнительные вопросы:

1. Аналого-цифровой преобразователь: назначение, этапы преобразования – дискретизация, квантование, кодирование. Структурная схема АЦП последовательного приближения. Теорема Котельникова-Найквиста.
2. Цифроаналоговый преобразователь. Назначение и принцип работы.