

Министерство транспорта РФ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет транспорта"

Кафедра: «Системы управления транспортной инфраструктурой»
(название кафедры)

Автор: Лунев С.А., к.т.н, доц.
(ф.и.о., ученая степень, ученое звание)

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ УКАЗАНИЯМИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ

«Теория дискретных устройств»

(название дисциплины)

Направление/специальность: **23.05.05. Системы обеспечения движения поездов**
(код, наименование специальности /направления)

Профиль/специализация: **Все специализации**

Квалификация (степень) выпускника: **инженер путей сообщения**

Форма обучения: **заочная**

Москва 2022 г.

ТЕМА: СИНТЕЗ КОНЕЧНОГО АВТОМАТА

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Каждый студент должен выполнить в требуемом объеме курсовую работу в соответствии с индивидуальным заданием, приобрести навыки синтеза конечного автомата

Для успешного выполнения курсовой работы студент должен иметь представление об основных функциях и законах алгебры логики, способах задания и минимизации функций алгебры логики, а также о методах синтеза комбинационных дискретных устройств и конечных автоматов.

Необходимые чертежи выполняются на белой бумаге стандартных размеров: 297x210 мм. Пояснительная записка оформляется на одной стороне стандартного листа аналогичного формата. Все листы записки, в том числе чертежи и таблицы, должны быть сброшюрованы, и иметь сплошную нумерацию. Исправления отмеченных при рецензировании курсовой работы замечаний делаются на чистой стороне листа рядом с замечаниями рецензента.

Пояснительная записка должна содержать исходные данные по варианту, краткие пояснения к методике выполнения задания с приложением необходимых чертежей и таблиц. Чертеж вставляется в пояснительную записку после той страницы, на которой имеется первая ссылка на него.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОСНОВНЫМ РАЗДЕЛАМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

2.1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В этой части работы необходимо изложить особенности синтеза конечного автомата.

Работу над данной частью рекомендуется начать с изучения лекционного материала и учебной литературы [1]. Не следует переписывать вопрос целиком из каких-либо монографий или учебников. В тексте обязательно должны быть ссылки на используемые литературные источники.

2.2 СИНТЕЗ КОНЕЧНОГО АВТОМАТА ПОД ЗАДАННЫЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ

В комбинационных дискретных устройствах значение выходных сигналов в каждый момент времени определяется только значением входных сигналов в этот же момент времени. Соответственно, класс задач, решаемых комбинационными дискретными устройствами, ограничен лишь теми задачами, где требуется однозначная зависимость выходных реакций устройства от сигналов, подаваемых на его входы. Эта зависимость отражается таблицей истинности комбинационного дискретного устройства.

Существует множество задач управления, в которых от дискретного устройства требуется реализация зависимости значений его выходных сигналов не только от значений входных сигналов в данный момент времени, но и от их значений в предыдущие моменты времени.

Для решения таких задач дискретное устройство должно обладать памятью, для реализации которой требуются дополнительные элементы. В качестве таких элементов могут быть использованы триггеры, реле и др. Дискретные устройства с памятью также называются многотактными схемами или автоматами.

Отличие комбинационного дискретного устройства от дискретного устройства с памятью заключается в том, что значения выходных сигналов комбинационного дискретного устройства определяются исключительно значениями входных сигналов в данный момент времени, в то время как дискретные устройства с памятью реализуют зависимость значений выходных сигналов от входных не только в данный, но и в предыдущие моменты времени.

В данной курсовой работе конечный автомат рассматривается как дискретное устройство, имеющее один вход, один выход и в каждый момент времени находящееся в одном состоянии из множества возможных

Существует два основных типа конечных автоматов (КА):

1. Автомат Мили. В автомате Мили выходной сигнал Z является функцией его входного сигнала X и выходных сигналов элементов памяти (в качестве которых в основном применяются триггеры различных типов).

2. Автомат Мура. В автомате Мура выходной сигнал является функцией только выходных сигналов элементов памяти.

Конечный автомат может быть задан словесным алгоритмом, таблицами переходов (ТП) и выходов (ТВ), графом состояний и системой уравнений, выражающих зависимости между входами, выходами и внутренними состояниями КА.

Последний (алгебраический) способ задания представляет собой математическую модель, по которой составляется схема, реализующая заданный алгоритм. Следовательно, в любом случае конечной формой задания КА является алгебраическая, а порядок синтеза сводится к получению математической модели и функциональной схемы КА.

2.2.1. Способы задания конечного автомата

Конечный автомат может быть задан в виде графа, в котором вершины соответствуют состояниям, а ребра – переходам из одного состояния в другое. Рядом с ребром графа указывается входной сигнал (X), при котором конечный автомат выполняет данный переход. Для автомата Мили рядом с ребром графа также указывается выходной сигнал (Z), который появляется на выходе КА. Для автомата Мура выходной сигнал (Z) указывается рядом с каждой вершиной графа.

Из графа для автомата Мили, приведенного на рис. 1а, видно, что если, например, автомат находится в состоянии S_0 и на его вход подан сигнал X_1 , то автомат переходит в состояние S_1 . При этом на выходе появляется сигнал Z_1 . Аналогично может быть рассмотрено любое другое сочетание состояния КА и входного сигнала. Таким образом, на графе задано поведение автомата в любом состоянии при любых значениях входных сигналов.

Аналогично может быть рассмотрен и граф для автомата Мура. Например, в соответствии с графом, приведенным на рисунке 1б, если автомат находится в состоянии S_1 и на его вход подан сигнал X_0 , автомат переходит в состояние S_2 . При этом на выходе появляется сигнал Z_1 .

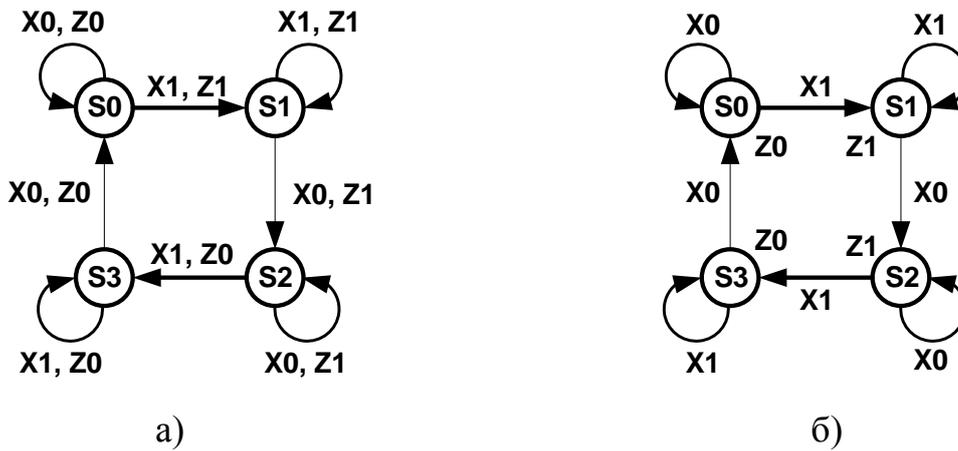


Рис. 1. Графический способ задания конечного автомата
 а) автомат Мили; б) автомат Мура

Конечный автомат может быть полностью задан с помощью двух таблиц – таблицы переходов (ТП) и таблицы выходов (ТВ). Эти таблицы задают функцию переходов и функцию выходов конечного автомата. Как и с помощью графа, эти таблицы задают поведение автомата при всех возможных сочетаниях состояний конечного автомата и входных сигналов.

S(t)	S(t+1)	
	X0	X1
S0	(S0)	S1
S1	S2	(S1)
S2	(S2)	S3
S3	S0	(S3)

Рис. 2. Табличный способ задания конечного автомата. Таблица переходов

В таблице переходов (см. рис. 2), которая соответствует графу конечного автомата Мили (см. рис. 1а), для каждого набора значений входных сигналов (X0, X1) отводится отдельный столбец. В столбце S(t) таблицы указаны состояния, в которых автомат находится в текущий момент времени. В столбце S(t+1) таблицы указаны состояния, в которые переходит КА при подаче на вход сигналов (X0, X1). В строках таблицы указываются состояния (S0, S1, S2, S3), в которые переходит конечный автомат. Например, если конечный автомат находится в состоянии S0, то при подаче входного сигнала X1 конечный автомат переходит в состояние S1 и т.д.

Если при некотором входном сигнале автомат переходит в то же самое состояние, в котором он находится в момент поступления сигнала, то такое состояние называется устойчивым. В таблице переходов такое состояние указывается в скобках.

В таблице выходов автомата Мили, так же как и в таблице переходов, для каждого набора значений входных сигналов отводится отдельный столбец. В строках указываются наборы значений выходных сигналов, поступающие на выход КА при каждом переходе из одного состояния в другое состояние.

На рисунках 3 и 4 приведены таблицы выходов конечных автоматов Мили и Мура соответственно, составленные в соответствии с графами этих автоматов, приведенными на рисунках 1а и 1б.

S(t)	S(t+1)	
	X0	X1
S0	Z0	Z1
S1	Z1	Z1
S2	Z1	Z0
S3	Z0	Z0

Рис. 3. Таблица выходов конечного автомата Мили

S(t)	Z
S0	Z0
S1	Z1
S2	Z1
S3	Z0

Рис. 4. Таблица выходов конечного автомата Мура

2.2.2. Структурные схемы конечных автоматов

В схеме, реализующей конечный автомат, можно выделить три основные части:

- блок памяти, осуществляющий запоминание текущего состояния конечного автомата.
- входной логический преобразователь, представляющий собой комбинационную схему, на которую подаются входные сигналы конечного автомата, а также сигналы из блока памяти. На основании этих сигналов, входной логический преобразователь управляет блоком памяти, изменяя таким образом состояние конечного автомата.
- выходной логический преобразователь, осуществляющий формирование выходных сигналов конечного автомата.

В конечном автомате Мура выходные сигналы формируются выходным логическим преобразователем только на основе состояния, в котором находится конечный автомат. Так как состояние конечного автомата изменяется под воздействием входных сигналов, то выходные сигналы в автомате Мура косвенно зависят от входных.

На рисунках 5 и 6 приведены структурные схемы конечного автомата Мили и конечного автомата Мура соответственно.

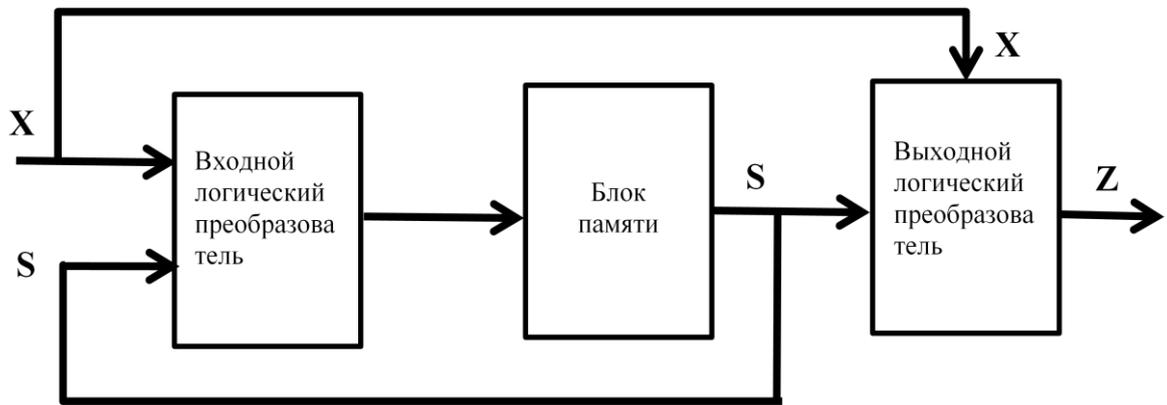


Рис. 5. Структурная схема конечного автомата Мили

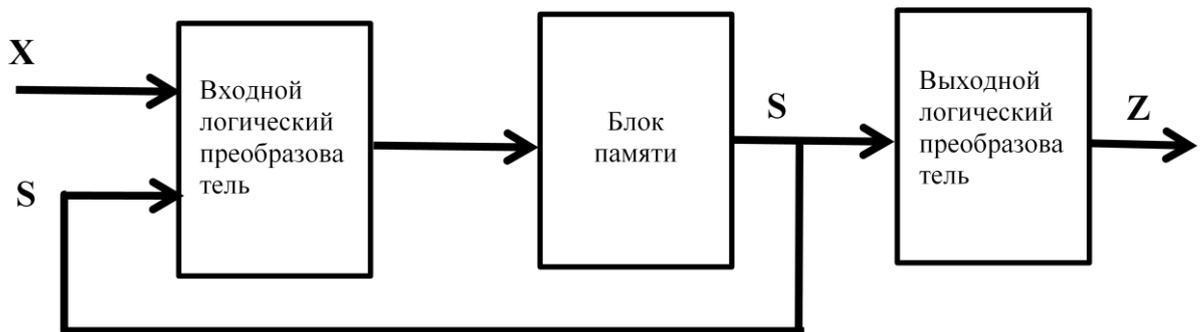


Рис. 6. Структурная схема конечного автомата Мура

В момент начала работы, конечный автомат находится в начальном состоянии, которое всегда определено. То есть, содержимое блока памяти считается заданным.

При поступлении входных сигналов X на вход конечного автомата, входной логический преобразователь на основе входных сигналов X и сигналов из блока памяти S формирует сигнал управления для блока памяти. Таким образом, состояние конечного автомата может измениться.

Выходной логический преобразователь автомата Мили на основе сигналов S из блока памяти и входных сигналов X формирует выходные сигналы конечного автомата Z . Выходной логический преобразователь автомата Мура формирует выходные сигналы Z конечного автомата только на основе сигналов S из блока памяти.

Последовательность, в которой на входы автомата подаются комбинации входных сигналов называется входной историей. Число возможных входных историй бесконечно, так как бесконечно время, в течение которого может работать автомат.

На один и тот же входной сигнал конечный автомат может реагировать по-разному, в зависимости от того, в каком состоянии он находится в данный момент.

Если количество состояний автомата ограничено, то такой автомат называется конечным.

2.2.3. Критические состязания элементов памяти

Критические состязания возникают между элементами памяти, когда при переходе из одного состояния в другое изменяют свое состояние 2 и более элементов памяти. Однако элементы памяти срабатывают не одновременно (см. рис. 7), в результате чего на выходе блока памяти на некоторое время появляется искаженная информация о состоянии конечного автомата. Это нарушает правильную работу устройства.

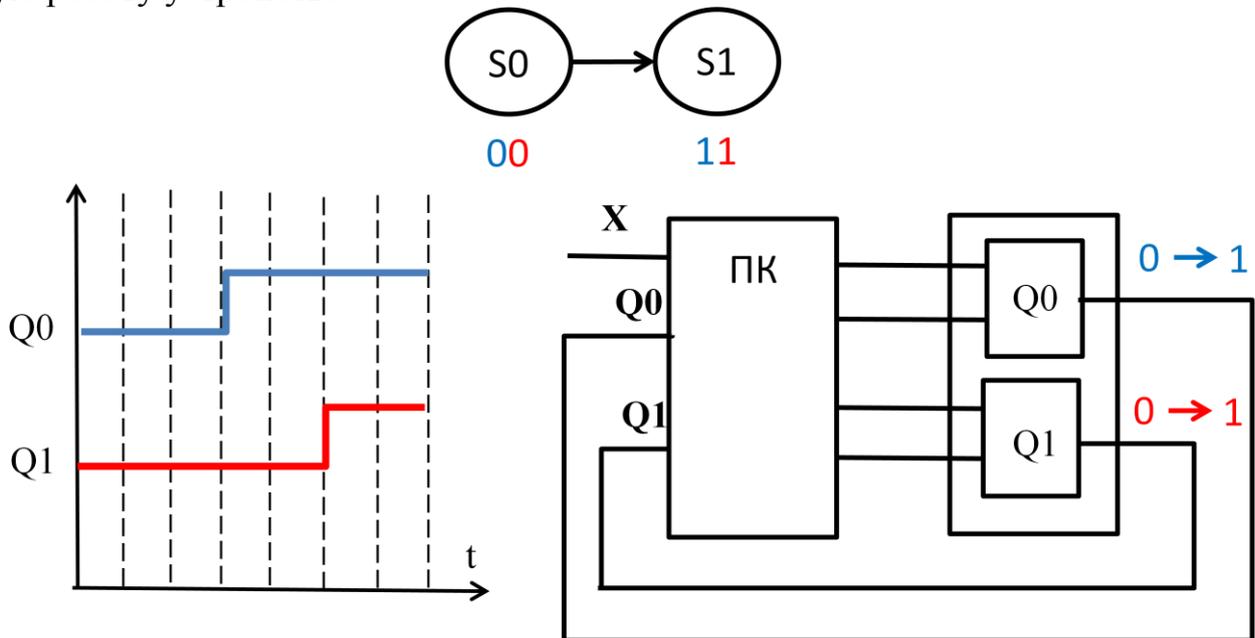


Рис. 7. Критические состязания элементов памяти

Для исключения критических состязаний элементов памяти состояния конечного автомата нужно кодировать таким образом, чтобы при переходе из одного состояния в другое изменялся только один разряд кода состояния (то есть переключался только один элемент памяти). В качестве такого кода может быть использован код Грея. В этом случае при переходе КА из одного состояния в другое переключается только один элемент памяти (см. рис. 8)

S	КОД
S0	00
S1	01
S2	11
S3	10

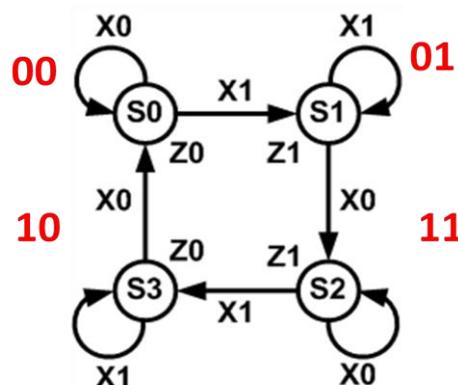


Рис. 8. Таблица кодирования состояний конечного автомата кодом Грея

При невозможности исключения критических состязаний путем кодирования состояний конечного автомата кодом Грея, в качестве элементов памяти при-

меняются специальные элементы памяти, исключаяющие влияние критических состояний на работу конечного автомата.

2.2.4. Элементы памяти конечного автомата

Элементом памяти называется такой элемент, который сохраняет свое состояние после прекращения действия сигнала управления.

Триггер типа RS. Элементы памяти данного типа имеют два стабильных состояния обозначаемых как 0 и 1. Также имеются входы управления, с помощью которых триггер переводится в одно из стабильных состояний. Состояние триггера, в котором он находится в данный момент, отражается на его выходе. Таким образом, с помощью одного триггера может быть зафиксирован один разряд двоичного числа, или один разряд двоичного кода.

Асинхронный RS-триггер имеет два управляющих входа R и S, с помощью которых триггер переводится в одно из двух устойчивых состояний. У триггера имеется два выхода, прямой и инверсный, на которых отображается его состояние. Асинхронный RS-триггер может быть реализован на двух логических элементах базиса ИЛИ-НЕ, или на двух логических элементах базиса И-НЕ.

Высокий уровень сигнала на входе S триггера приводит к тому, что на выходе Q появляется сигнал логической единицы, а на выходе \bar{Q} – сигнал логического нуля. Таким образом, в триггер записывается единица.

Высокий уровень сигнала на входе R приводит к появлению на выходе Q сигнала логического нуля, а на выходе \bar{Q} – сигнала логической единицы. Таким образом, в триггер записывается 0.

Для RS-триггера комбинация сигналов, при которой на обоих входах триггера одновременно присутствуют высокие уровни, является запрещенной. В момент поступления этой комбинации на обоих выходах триггера появляется одинаковое значение. При снятии запрещенной комбинации триггер случайным образом оказывается в одном из двух состояний, так как одновременно переключить оба управляющих сигнала практически невозможно. Схема RS-триггера (реализована на элементах базиса ИЛИ-НЕ) и его таблица истинности приведены на рис. 9.

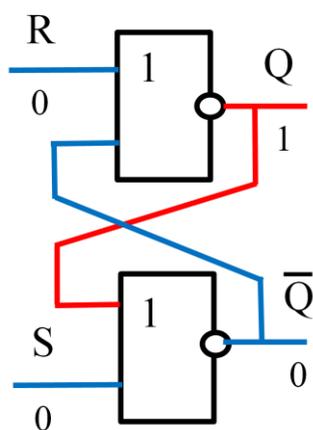


Таблица истинности RS-триггера

Управляющие сигналы		Состояния триггера	
S	R	Q(t)	Q(t+1)
0	~	0	0
1	0	0	1
0	1	1	0
~	0	1	1

Рис. 9. Управление асинхронным RS-триггером

Для построения некоторых дискретных устройств с памятью требуется чтобы сигналы на выходе триггера изменялись только после того, как его управляющие входы будут заблокированы. Особенно такое свойство триггера является важным, когда в дискретном устройстве с памятью существует возможность возникновения критических состязаний элементов памяти. Триггеры данного типа способны сохранять состояние входных сигналов в буферной памяти и передавать ее содержимое на выход лишь после очередного блокирования входов. Данные устройства состоят из двух синхронных триггеров со статическим управлением. Первый статический синхронный триггер является ведущим (Master), второй статический синхронный триггер на выходе называется ведомым (Slave). Распространенное название этих триггеров (Master-Slave, MS-триггер, FlipFlop). Схема синхронного RS-триггера с динамическим управлением приведена на рисунке 10.

Два статически тактируемых синхронных триггера взаимноинверсно блокируются тактовым сигналом C (что обеспечивается инвертированием тактового сигнала для ведомого триггера Slave).

Пока на тактовом входе $C = 1$ входная информация считывается ведущим триггером Master. При этом она не записывается в ведомый (Slave) и не поступает на выход всей схемы, так как ведомый триггер в это время заблокирован инвертированным сигналом синхронизации.

При $C=0$ ведущий триггер (Master) блокируется и в нем фиксируется состояние управляющих входов, которое было непосредственно перед сменой тактового сигнала с 1 на 0.

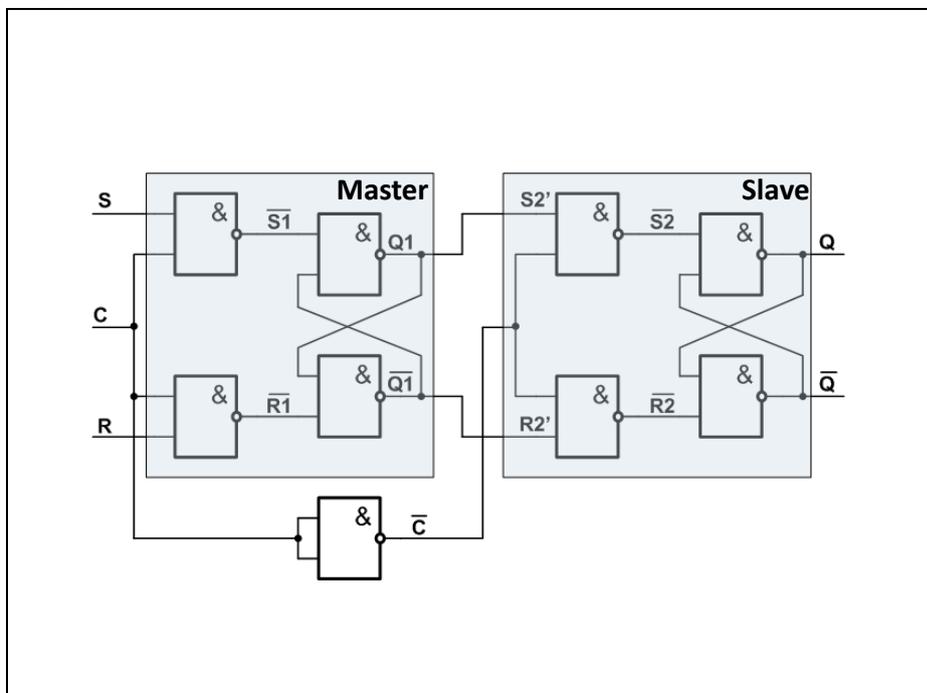


Рис. 10. Синхронный RS-триггер с динамическим управлением

Одновременно с этим снимается блокировка ведомого триггера (Slave) и состояние с выходов ведущего триггера (Master) передается на выход всей схемы. То есть, не существует такого состояния управляющих сигналов, при котором состояние со входа схемы передается на ее выход (триггеры данного типа являются

непрозрачными). Состояния элементов памяти в схемах с динамической синхронизацией не влияют на работу таких схем (см. рисунок 11).

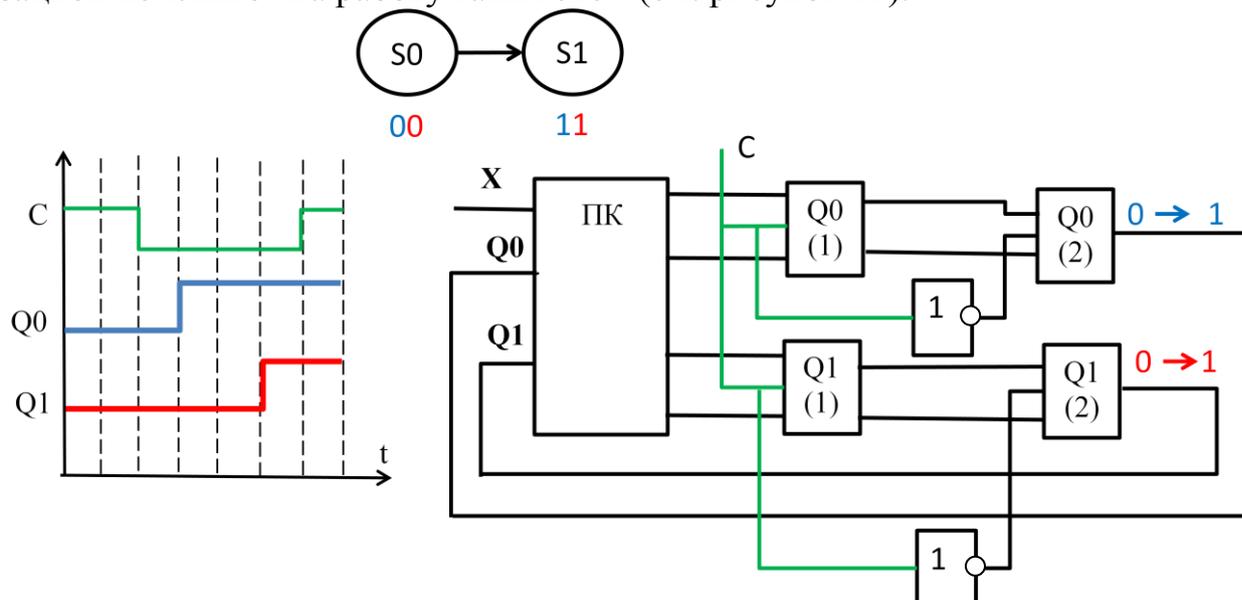


Рис. 11. Состояния элементов памяти в схемах с динамической синхронизацией

При равенстве сигналов $R=S=1$, и изменении тактового сигнала с 1 на 0 на выходе схемы появляется случайное значение. То есть комбинация сигналов $R=S=1$ является для данной схемы запрещенной.

Таблица истинности синхронного RS-триггера с динамическим управлением совпадает с таблицей истинности асинхронного RS-триггера (см. рис. 9).

Синхронный JK-триггер.

Основное отличие JK-триггера от RS-триггера состоит в том, что у JK-триггера отсутствует запрещенная комбинация входных сигналов. Вход J JK-триггера соответствует входу S RS-триггера, вход K JK-триггера соответствует входу R RS-триггера. Если на оба управляющих входа JK-триггера подаются сигналы логической единицы (что для RS-триггера является запрещенной комбинацией), то состояние JK-триггера изменяется на противоположное (выходные сигналы инвертируются). Это обеспечивается за счет дополнительных обратных связей, которые участвуют в пропуске сигналов J и K. Схема синхронного JK-триггера и таблица истинности приведены на рисунке 12.

Одновременно подать и снять оба управляющих сигнала практически невозможно, поэтому асинхронные JK-триггеры не применяются. В JK-триггере предусматривается вход синхронизации C. Управляющие сигналы на входах J и K изменяют состояние JK-триггера только при активном уровне сигнала на входе C.

Управляющие сигналы		Состояния триггеров	
J	K	Q(t)	Q(t+1)
0	~	0	0
1	~	0	1
~	1	1	0
~	0	1	1

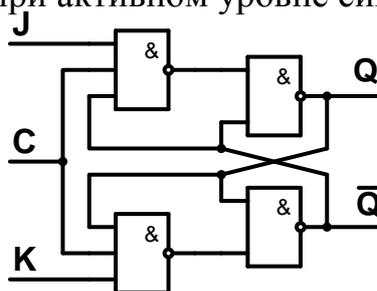


Рис. 12. Синхронный JK-триггер

2.3. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Требуется выполнить синтез конечного автомата, функционирование которого описывается заданными таблицами переходов и выходов.

1. Варианты таблиц переходов определяются следующим образом: по двум последним цифрам шифра из таблицы 1 определяется последовательность восьми состояний (из четырех заданных S_0, S_1, S_2, S_3). Эта последовательность построено сверху вниз и слева направо заносится в таблицу переходов следующим образом: символы из колонок 1 - 4, записываются сверху вниз в левый столбец, который будет определять состояние автомата при воздействии входного сигнала $X=0$; символы из колонок 5 - 8 записываются сверху вниз в правый столбец, который будет определять состояние автомата при воздействии входного сигнала $X=1$ (см. рис. 2).

Таблица 1

Варианты таблиц переходов

Две последние цифры шифра	Последовательность состояний автомата							
	1	2	3	4	5	6	7	8
00	S1	S3	S0	S0	S0	S2	S3	S1
01	S2	S0	S3	S0	S0	S2	S2	S1
02	S2	S1	S3	S2	S1	S0	S1	S0
03	S2	S0	S1	S1	S3	S2	S2	S2
04	S0	S0	S3	S3	S3	S2	S1	S1
05	S1	S0	S1	S3	S3	S2	S3	S2
06	S3	S3	S0	S2	S2	S1	S1	S1
07	S1	S3	S3	S3	S2	S0	S1	S0
08	S3	S2	S1	S0	S1	S0	S3	S2
09	S1	S0	S2	S1	S3	S2	S3	S0
10	S3	S0	S2	S0	S2	S3	S1	S1
11	S1	S2	S3	S0	S0	S0	S2	S2
12	S1	S3	S2	S1	S0	S1	S0	S2
13	S0	S1	S1	S3	S2	S3	S0	S2
14	S1	S2	S0	S3	S3	S3	S2	S1
15	S2	S1	S0	S1	S3	S3	S3	S2
16	S1	S3	S3	S0	S2	S2	S1	S1
17	S0	S1	S3	S3	S3	S2	S0	S1
18	S2	S0	S1	S1	S3	S1	S3	S2
19	S0	S1	S0	S2	S1	S3	S2	S3
20	S0	S0	S0	S2	S3	S1	S1	S3
21	S2	S1	S2	S0	S3	S0	S1	S2
22	S1	S0	S2	S1	S3	S2	S1	S0
23	S2	S2	S0	S1	S1	S3	S2	S2
24	S0	S3	S3	S3	S2	S1	S1	S0
25	S3	S2	S1	S0	S1	S3	S3	S3
26	S1	S1	S3	S0	S0	S2	S2	S1
27	S1	S0	S1	S2	S3	S3	S2	S0

28	S3	S2	S3	S2	S1	S0	S1	S0
29	S3	S0	S1	S0	S2	S1	S3	S2
30	S2	S0	S2	S3	S1	S1	S3	S0
31	S2	S2	S1	S2	S0	S3	S0	S0
32	S0	S1	S0	S2	S1	S3	S2	S1
33	S2	S2	S0	S0	S1	S1	S3	S2
34	S2	S1	S0	S3	S3	S2	S1	S1
35	S3	S3	S0	S1	S0	S2	S3	S2
36	S1	S2	S1	S3	S3	S0	S2	S2
37	S0	S1	S0	S1	S3	S3	S3	S2
38	S1	S3	S2	S1	S2	S1	S0	S2
39	S2	S3	S0	S1	S0	S2	S1	S3
40	S0	S2	S3	S1	S1	S3	S0	S0
41	S0	S2	S2	S1	S2	S0	S3	S0
42	S1	S0	S1	S0	S2	S1	S3	S2
43	S2	S2	S3	S2	S1	S0	S1	S0
44	S3	S2	S1	S1	S0	S0	S3	S3
45	S1	S3	S2	S3	S3	S2	S1	S0
46	S2	S1	S1	S1	S3	S2	S0	S0
47	S2	S0	S1	S0	S1	S3	S3	S3
48	S1	S0	S3	S2	S3	S2	S1	S0
49	S3	S2	S3	S0	S1	S0	S2	S1
50	S2	S3	S1	S1	S3	S0	S0	S0
51	S3	S0	S2	S2	S1	S2	S0	S3
52	S2	S1	S0	S1	S0	S2	S3	S3
53	S3	S2	S2	S2	S2	S0	S1	S1
54	S3	S3	S2	S1	S1	S2	S0	S3
55	S3	S3	S3	S2	S2	S0	S0	S0
56	S2	S2	S1	S1	S1	S3	S3	S0
57	S3	S2	S0	S1	S0	S1	S3	S3
58	S1	S1	S0	S2	S2	S3	S2	S1
59	S1	S3	S1	S0	S0	S1	S0	S2
60	S3	S1	S1	S3	S0	S0	S0	S2
61	S3	S0	S0	S2	S2	S1	S1	S0
62	S3	S2	S1	S0	S1	S0	S2	S1
63	S1	S3	S2	S2	S2	S2	S0	S1
64	S3	S3	S3	S2	S1	S1	S0	S0
65	S3	S3	S3	S2	S1	S0	S1	S3
66	S3	S2	S0	S1	S1	S1	S3	S3
67	S3	S3	S2	S0	S1	S0	S1	S2
68	S1	S0	S1	S0	S3	S2	S3	S2
69	S2	S1	S3	S2	S3	S0	S1	S0
70	S1	S1	S3	S0	S3	S2	S2	S1

71	S0	S3	S0	S0	S2	S2	S1	S2
72	S1	S3	S2	S1	S0	S1	S0	S2
73	S1	S1	S3	S2	S2	S2	S2	S0
74	S0	S3	S3	S3	S2	S1	S1	S0
75	S0	S1	S3	S0	S2	S0	S2	S1
76	S3	S0	S2	S2	S1	S1	S1	S3
77	S3	S3	S3	S2	S0	S1	S0	S1
78	S2	S2	S0	S1	S1	S3	S1	S2
79	S0	S2	S1	S3	S2	S3	S0	S1
80	S0	S3	S0	S0	S2	S2	S1	S2
81	S2	S1	S3	S2	S1	S0	S1	S0
82	S2	S0	S1	S1	S3	S2	S2	S2
83	S1	S1	S0	S0	S3	S3	S3	S2
84	S2	S1	S0	S1	S3	S2	S3	S3
85	S2	S1	S1	S1	S3	S3	S0	S2
86	S3	S2	S0	S1	S0	S0	S3	S3
87	S2	S0	S0	S1	S0	S3	S1	S2
88	S3	S2	S1	S0	S1	S0	S3	S2
89	S0	S2	S1	S3	S2	S3	S0	S1
90	S1	S0	S2	S1	S3	S2	S3	S0
91	S0	S1	S0	S2	S1	S3	S2	S0
92	S3	S0	S1	S0	S2	S1	S3	S2
93	S2	S3	S0	S1	S0	S2	S1	S3
94	S2	S0	S3	S0	S0	S2	S2	S1
95	S1	S2	S0	S3	S3	S0	S2	S2
96	S0	S3	S1	S1	S3	S2	S0	S0
97	S0	S2	S2	S1	S2	S0	S3	S0
98	S2	S1	S2	S0	S3	S0	S0	S1
99	S0	S2	S3	S1	S1	S3	S0	S0

2. Варианты таблицы выходов:

2.1. Для автомата Мили

По сумме трех последних цифр шифра из таблицы 2 определяется состоящая из восьми значений последовательность выходов. Эта двоичная последовательность построчно сверху вниз и слева направо заносится в таблицу выходов, состоящую из двух столбцов, следующим образом: символы из колонок 1 - 4, записываются сверху вниз в левый столбец, который будет определять выходные сигналы автомата при воздействии входного сигнала $X=0$; символы из колонок 5 - 8 записываются сверху вниз в правый столбец, который будет определять выходные сигналы автомата при воздействии входного сигнала $X=1$ (см. рис. 3).

2.2. Для автомата Мура

По сумме двух последних цифр шифра из таблицы 3 определяется состоящая из четырех значений последовательность выходов. Эта двоичная последова-

тельность сверху вниз заносится в таблицу выходов, состоящую из одного столбца (см. рис. 4).

Таблица 2

Варианты таблицы выходов для автомата Мили

Сумма трех последних цифр шифра	Последовательность выходных сигналов для автомата Мили							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	Z0	Z0	Z1	Z0	Z0	Z0	Z0	Z1
1	Z0	Z0	Z1	Z0	Z1	Z0	Z0	Z0
2	Z0	Z0	Z1	Z1	Z0	Z0	Z1	Z0
3	Z0	Z0	Z1	Z1	Z1	Z1	Z0	Z0
4	Z0	Z1	Z0	Z0	Z0	Z1	Z1	Z0
5	Z0	Z1	Z0	Z1	Z0	Z0	Z0	Z1
6	Z0	Z1	Z0	Z1	Z1	Z0	Z1	Z0
7	Z0	Z1	Z1	Z0	Z0	Z1	Z0	Z0
8	Z0	Z1	Z1	Z0	Z1	Z1	Z0	Z0
9	Z0	Z1	Z1	Z1	Z1	Z0	Z0	Z0
10	Z1	Z0	Z0	Z0	Z1	Z0	Z0	Z0
11	Z1	Z0	Z0	Z0	Z1	Z1	Z0	Z0
12	Z1	Z0	Z0	Z1	Z0	Z1	Z1	Z0
13	Z1	Z0	Z1	Z0	Z0	Z0	Z1	Z0
14	Z1	Z0	Z1	Z0	Z1	Z0	Z1	Z0
15	Z0	Z1	Z0	Z0	Z1	Z0	Z1	Z1
16	Z0	Z0	Z0	Z1	Z1	Z0	Z0	Z1
17	Z0	Z0	Z1	Z0	Z1	Z0	Z1	Z1
18	Z0	Z0	Z1	Z1	Z0	Z1	Z0	Z1
19	Z0	Z1	Z0	Z0	Z0	Z0	Z1	Z1
20	Z0	Z1	Z0	Z0	Z1	Z0	Z0	Z1
21	Z0	Z1	Z0	Z1	Z0	Z0	Z1	Z1
22	Z0	Z1	Z0	Z1	Z1	Z0	Z0	Z1
23	Z0	Z0	Z1	Z0	Z1	Z1	Z0	Z1
24	Z0	Z0	Z1	Z1	Z0	Z1	Z1	Z0
25	Z0	Z1	Z0	Z0	Z1	Z0	Z0	Z1
26	Z0	Z1	Z0	Z1	Z0	Z1	Z1	Z0
27	Z1	Z0	Z1	Z1	Z0	Z1	Z0	Z0

Варианты таблицы выходов для автомата Мура

Сумма двух последних цифр шифра	Последовательность выходных сигналов для автомата Мура			
0	Z0	Z0	Z0	Z1
1	Z0	Z0	Z1	Z0
2	Z0	Z0	Z1	Z1
3	Z0	Z1	Z0	Z0
4	Z0	Z1	Z0	Z1
5	Z0	Z1	Z1	Z0
6	Z0	Z1	Z1	Z1
7	Z1	Z0	Z0	Z0
8	Z1	Z0	Z0	Z1
9	Z1	Z0	Z1	Z0
10	Z1	Z0	Z1	Z1
11	Z1	Z1	Z0	Z0
12	Z1	Z1	Z0	Z1
13	Z1	Z1	Z1	Z0
14	Z0	Z1	Z1	Z1
15	Z1	Z1	Z0	Z0
16	Z0	Z0	Z1	Z0
17	Z1	Z0	Z1	Z1
18	Z0	Z1	Z1	Z1

3. По предпоследней цифре шифра выбрать тип конечного автомата:

- четная цифра - автомат Мили;
- нечетная цифра - автомат Мура.

4. В качестве элемента памяти применяется синхронный RS-триггер с динамическим управлением.

3. ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка, объемом 25...30 страниц, должна включать:

1. Задание на выполнение курсовой работы и исходные данные.
2. Основные теоретические сведения.
3. По заданному варианту в соответствии с таблицей переходов и таблицей выходов составить граф конечного автомата.
4. Определить количество элементов памяти конечного автомата.
5. Выполнить кодирование:
 - состояний конечного автомата;

- входных сигналов конечного автомата;
 - выходных сигналов конечного автомата.
6. Построить кодированную таблицу переходов конечного автомата.
 7. Построить кодированную таблицу выходов конечного автомата.
 8. Построить таблицу истинности входного логического преобразователя и выполнить минимизацию функций входного логического преобразователя.
 9. Построить таблицу истинности выходного логического преобразователя и выполнить минимизацию функции выходного логического преобразователя.
 10. Построить принципиальную схему конечного автомата, используя базис И-НЕ.
 11. Построить принципиальную схему конечного автомата, используя базис ИЛИ-НЕ.
 12. Привести реализацию конечного автомата на релейно-контактных элементах.
 13. Построить временную диаграмму работы конечного автомата.

Графические материалы должны быть оформлены с соблюдением требований ЕСКД.

4. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.

4.1. СИНТЕЗ КОНЕЧНОГО АВТОМАТА МИЛИ.

1) Вариант таблицы переходов

S0	S2	S2	S0	S1	S1	S3	S3
----	----	----	----	----	----	----	----

2) Вариант таблицы выходов

Z0	Z0	Z0	Z0	Z1	Z1	Z1	Z0
----	----	----	----	----	----	----	----

3) Предпоследняя цифра шифра - четная (автомат Мили)

В соответствии с заданием и рисунком 2 составим таблицу переходов конечного автомата Мили:

S0	S2	S2	S0	S1	S1	S3	S3
----	----	----	----	----	----	----	----

Таблица переходов конечного автомата Мили

S(t)	S(t+1)	
	X0	X1
S0	(S0)	S1
S1	S2	(S1)
S2	(S2)	S3
S3	S0	(S3)

S(t) - текущее состояние конечного автомата

S(t+1) - состояние, в которое переходит конечный автомат при подаче входного сигнала X0 (X1).

В скобках указаны устойчивые состояния конечного автомата, например при нахождении автомата в состоянии S0 и подаче входного сигнала X0 состояние конечного автомата не изменится - S0 и т.п.

Таблица 4

В соответствии с заданием и рисунком 3 составим таблицу выходов конечного автомата Мили:

Z0	Z0	Z0	Z0	Z1	Z1	Z1	Z0
----	----	----	----	----	----	----	----

Таблица 5

Таблица выходов конечного автомата Мили

S(t)	S(t+1)	
	X0	X1
S0	Z0	Z1
S1	Z0	Z1
S2	Z0	Z1
S3	Z0	Z0

Построение графа конечного автомата Мили

На основании таблицы переходов (Таблица 4) и таблицы выходов (Таблица 5) и в соответствии с рис. 1а составим граф конечного автомата Мили:

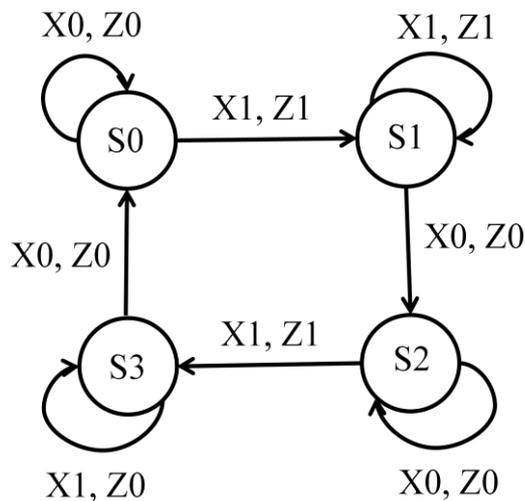


Рис. 13. Граф конечного автомата Мили

Из приведенного графа для автомата Мили следует, что если, например, автомат находится в состоянии S0 и на вход подан сигнал X1, то автомат переходит в состояние S1. При этом на выходе появляется сигнал Z1

Определим минимальную разрядность кода состояния конечного автомата по формуле:

$$k = \lceil \log_2 N_S \rceil$$

где N_S - количество состояний конечного автомата, в рассматриваемом примере равно четырем (S0, S1, S2, S3).

Знаки $\lceil \rceil$ показывают необходимость округления в большую сторону при получении дробного значения k .

Таким образом, минимальная разрядность кода состояния конечного автомата (то есть число элементов памяти) равна двум.

В качестве элемента памяти применяется синхронный RS-триггер с динамическим управлением.

Кодирование состояний конечного автомата

Выполним кодирование состояний конечного автомата (см. рис. 14).

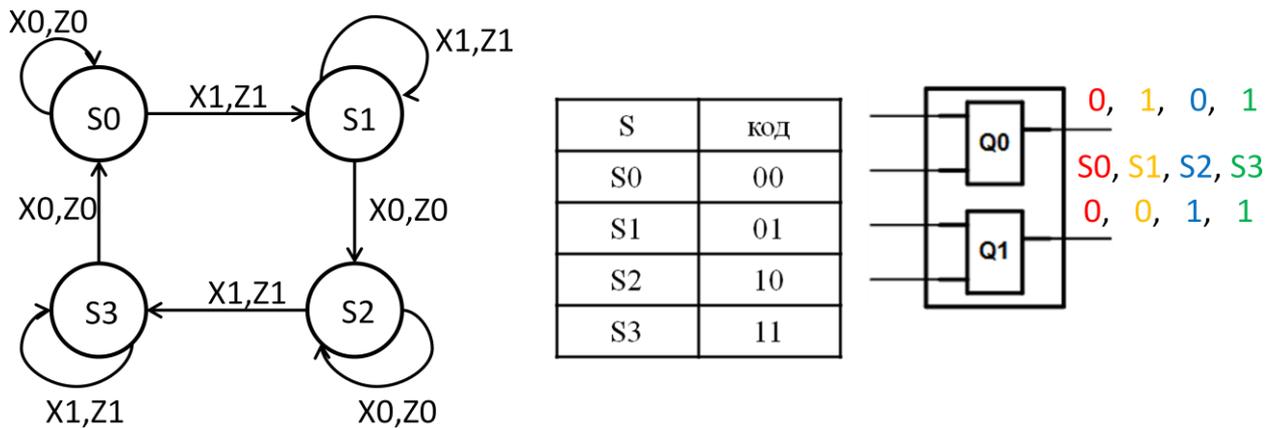


Рис. 14. Кодирование состояний конечного автомата

Кодирование входных сигналов конечного автомата.

Разрядность входного кода конечного автомата может быть определена по формуле Шеннона:

$$m = \lceil \log_2 N_X \rceil$$

где N_X - количество всех возможных наборов входных сигналов.

Приведенный на рисунке граф задает конечный автомат, на вход которого подается всего два значения: X0 и X1, то есть $N_X=2$. Согласно формуле Шеннона, эти значения могут быть закодированы одноразрядным кодом, и схема конечного автомата имеет один вход.

Таблица кодирования входных сигналов приведена на рис. 15:

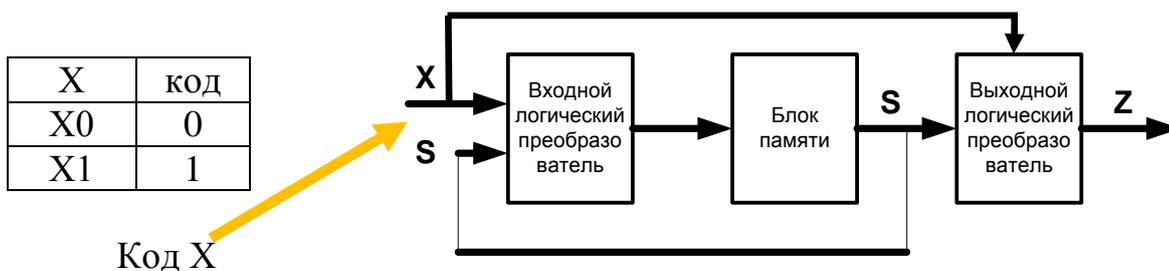


Рис. 15. Кодирование входных сигналов X

Кодирование выходных сигналов конечного автомата.

Методика кодирования выходных сигналов аналогична той, что была применена для кодирования входных сигналов. Выходные сигналы кодируются кодовыми комбинациями рассчитанной разрядности.

Разрядность выходного кода конечного автомата может быть определена по формуле:

$$n = \lceil \log_2 N_Z \rceil$$

где N_Z – количество всех возможных наборов выходных сигналов.

Приведенный на рисунке 13 граф задает конечный автомат, на выход которого подается всего два значения: Z0 и Z1, то есть $N_z=2$. Следовательно, эти значения могут быть закодированы одноразрядным кодом, и схема конечного автомата имеет один выход.

Таблица кодирования выходных сигналов (рис. 16):

Z	код
Z0	0
Z1	1

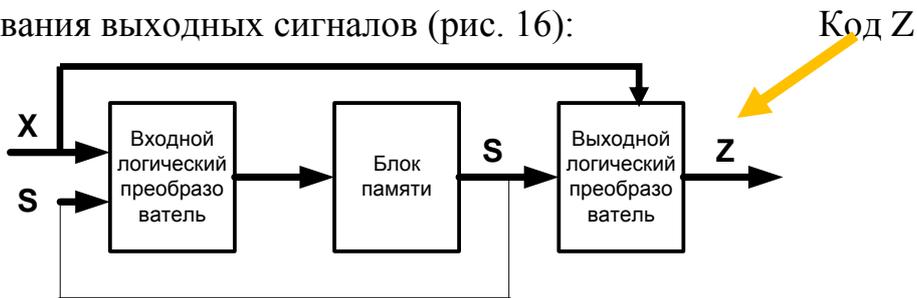


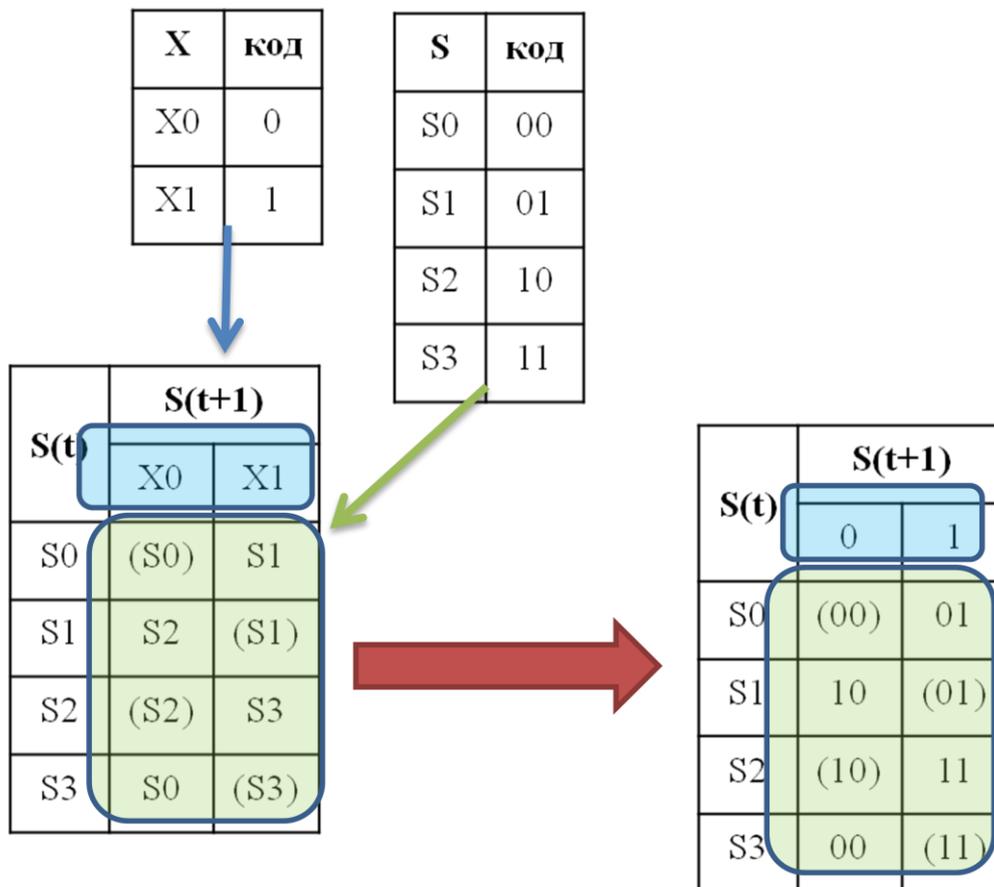
Рис. 16. Кодирование выходных сигналов

Кодирование таблицы переходов

Кодированная таблица переходов строится на основе некодированной таблицы переходов (см. таблицу 4). В этой таблице кодами заменяются входные переменные (X) и состояния (S), расположенные в соответствующих входным переменным колонках. Первая колонка кодированной таблицы переходов остается неизменной, то есть состояния в ней представляются буквенными обозначениями (см. Таблицу 6).

Таблица 6

Кодированная таблица переходов

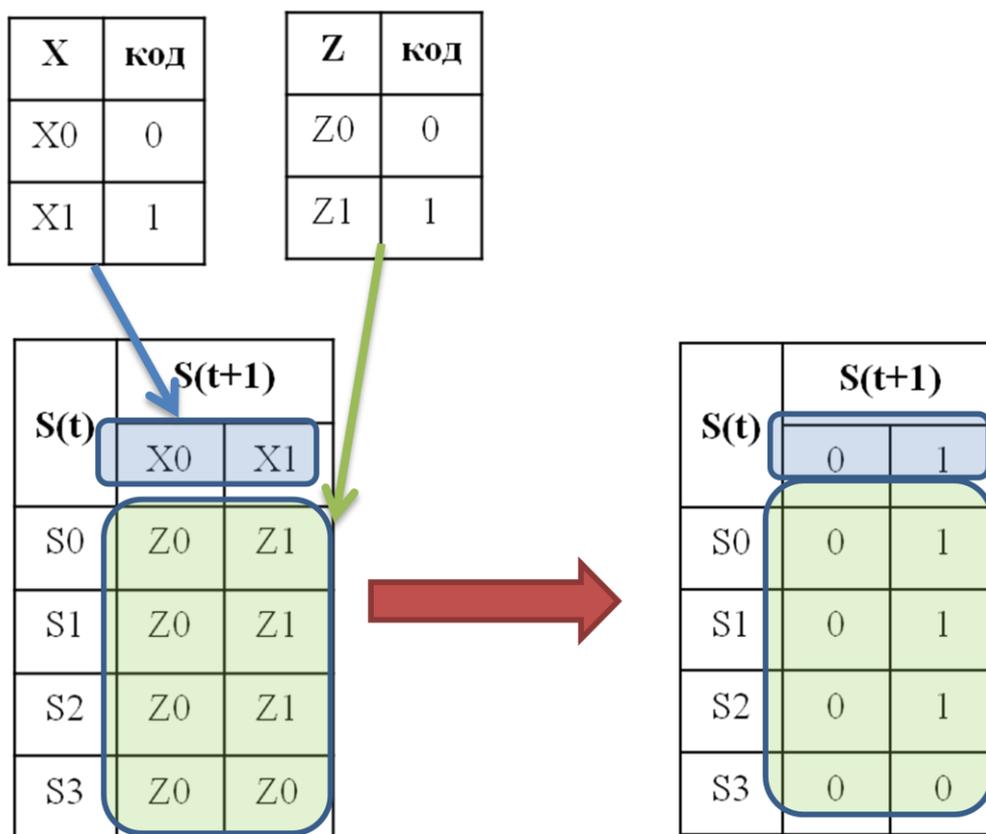


Кодирование таблицы выходов

При кодировании таблицы выходов конечного автомата Мили, в некодированной таблице выходов (см. таблицу 5) кодами заменяются входные X (отмечены синим цветом) и выходные Z (отмечены зеленым цветом) переменные. Первая колонка таблицы выходов сохраняется без изменений (см. Таблицу 7).

Таблица 7

. Кодированная таблица выходов



Построение таблицы истинности функций конечного автомата

Таблица истинности функций конечного автомата состоит из нескольких разделов, которые заполняются на основе ранее составленных таблиц поэтапно. Для каждого разряда любого кода в таблице истинности функций конечного автомата отводится отдельный столбец.

Этап 1. Основу таблицы истинности функций конечного автомата составляет таблица кодов текущего состояния конечного автомата (определяется состоянием триггеров Q_1, Q_0) и кодов входной переменной X (Таблица 8).

В таблице 8 состояние конечного автомата показано через состояние триггеров Q_1, Q_0 . При этом используется информация, приведенная на рисунке 14.

Этап 2. Раздел «Код нового состояния» (Таблица 9) заполняется на основе кодированной таблицы переходов. Для каждой комбинации состояния конечного автомата (Q_1, Q_0) и кода входной переменной X по кодированной таблице переходов на пересечении соответствующих строки и столбца определяется код нового состояния (в Таблице 9 отмечены зеленым цветом).

Таблица 8

Таблица всех возможных сочетаний текущих состояний (Q1, Q0) конечного автомата и кодов входных переменных (X)

S	Код входной переменной X	Код текущего состояния	
		Q1	Q0
S0	0	0	0
S1	0	0	1
S2	0	1	0
S3	0	1	1
S0	1	0	0
S1	1	0	1
S2	1	1	0
S3	1	1	1

S	код
S0	00
S1	01
S2	10
S3	11

Таблица 9

Таблица кодов входных переменных, текущих и новых состояний КА

S	Код входной переменной X	Код текущего состояния		Код нового состояния	
		Q1	Q0	Q1	Q0
S0	0	0	0	0	0
S1	0	0	1	1	0
S2	0	1	0	1	0
S3	0	1	1	0	0
S0	1	0	0	0	1
S1	1	0	1	0	1
S2	1	1	0	1	1
S3	1	1	1	1	1

S(t)	S(t+1)	
	0	1
S0	(00)	01
S1	10	(01)
S2	(10)	11
S3	00	(11)

Этап. 3. Каждому триггеру в блоке памяти соответствует раздел «Функции управления триггером». Число столбцов в этом разделе определяется типом триггера. Для каждого управляющего сигнала триггера предусмотрен отдельный столбец (Таблица 10).

Функции управления триггером заполняются по таблице истинности триггера (для RS-триггера см. рис. 9). Подставляя в таблицу истинности триггера значения одного и того же разряда в кодах текущего и нового состояний конечного автомата, можно определить комбинацию управляющих сигналов триггера.

Таблица 10

Функции управления триггерами

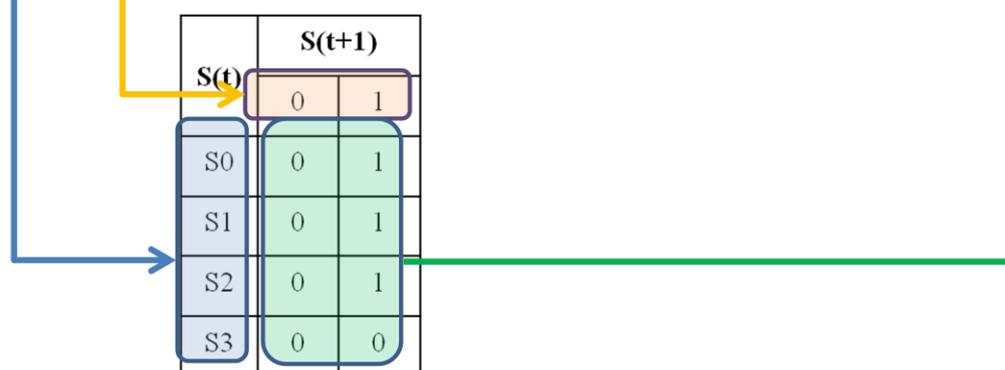
S	X	Код текущего состояния		Код нового состояния		Функции управления триггером Q1		Функции управления триггером Q0	
		Q1	Q0	Q1	Q0	S1	R1	S0	R0
S0	0	0	0	0	0	0	~	0	~
S1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
S2	0	1	0	1	0	~	0	0	~
S3	0	1	1	0	0	0	1	0	1
S0	1	0	0	0	1	0	~	1	0
S1	1	0	1	0	1	0	~	~	0
S2	1	1	0	1	1	~	0	1	0
S3	1	1	1	1	1	~	0	~	0

Управляющие сигналы		Состояния триггера	
S	R	Q(t)	Q(t+1)
0	~	0	0
1	0	0	1
0	1	1	0
~	0	1	1

Этап 4. Заполнение раздела «Код выходной переменной» в таблице истинности функций конечного автомата (Таблица 11). Этот раздел заполняется на основе кодированной таблицы выходов (Таблица 7). Для каждой комбинации состояния S (в Таблице 11 отмечены синим цветом) и кода входной переменной X (в Таблице 11 отмечен коричневым цветом) по кодированной таблице выходов на пересечении соответствующих строки и столбца определяется код выходной переменной (в Таблице 11 отмечен зеленым цветом).

Код выходной переменной

S	Код входной переменной X	Код текущего состояния		Код нового состояния		Функции управления триггером Q1		Функции управления триггером Q0		Код выходной переменной Z
		Q1	Q0	Q1	Q0	S1	R1	S0	R0	
S0	0	0	0	0	0	0	~	0	~	0
S1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
S2	0	1	0	1	0	~	0	0	~	0
S3	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0
S0	1	0	0	0	1	0	~	1	0	1
S1	1	0	1	0	1	0	~	~	0	1
S2	1	1	0	1	1	~	0	1	0	1
S3	1	1	1	1	1	~	0	~	0	0



Согласно структурной схеме конечного автомата Мили (см. рис. 5), в таблице истинности функций конечного автомата независимыми переменными являются разряды кода входной переменной (X) и разряды кода состояния (Q1, Q0). Функциями, реализуемыми во входном логическом преобразователе конечного автомата, являются сигналы управления триггерами (в данном примере S1, R1, S0, R0).

Построение таблицы истинности и минимизация функций входного логического преобразователя.

Входной логический преобразователь представляет собой преобразователь кода (ПК), который преобразовывает кодовую комбинацию, образованную кодом входной переменной (X) и кодом текущего состояния конечного автомата (Q1, Q0) в кодовую комбинацию, состоящую из управляющих сигналов, подаваемых в блок памяти (рис. 17). Из выполненного ранее анализа известно, что конечный автомат имеет двухразрядные коды состояний и один вход, а блок памяти реализуется на двух RS-триггерах. Следовательно, входной логический преобразователь, преобразует 3-разрядную входную комбинацию кода состояния (Q1, Q0) и кода входной переменной (X) в 4-разрядную выходную комбинацию сигналов управления двумя RS-триггерами (S1, R1, S0, R0).

Для построения входного логического преобразователя необходимо на основании Таблицы 10 составить таблицу истинности, содержащую все возможные входные (X и $Q1, Q0$) и выходные комбинации ($S1, R1, S0, R0$). При этом входные комбинации могут быть получены путем образования всех возможных сочетаний кодов состояний S ($Q1, Q0$) и кодов входных переменных X .

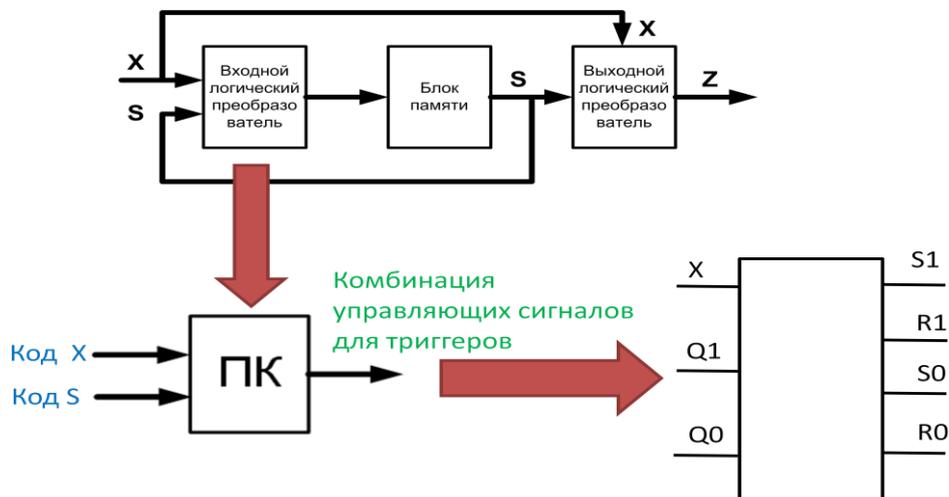


Рис. 17. Входной логический преобразователь конечного автомата

Для математического описания комбинационной схемы входного логического преобразователя в составе конечного автомата требуется построить таблицу истинности (см. Таблицу 12), описывающую его работу.

Таблица 12

Таблица истинности входного логического преобразователя

Номер комбинации	Код входной переменной	Код текущего состояния		Код нового состояния		Функции управления триггером Q1		Функции управления триггером Q0	
	X	Q1	Q0	Q1	Q0	S1	R1	S0	R0
0	0	0	0	0	0	0	~	0	~
1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
2	0	1	0	1	0	~	0	0	~
3	0	1	1	0	0	0	1	0	1
4	1	0	0	0	1	0	~	1	0
5	1	0	1	0	1	0	~	~	0
6	1	1	0	1	1	~	0	1	0
7	1	1	1	1	1	~	0	~	0

Согласно структурной схеме конечного автомата, в таблице истинности функций конечного автомата независимыми переменными являются разряды кода входной переменной X и разряды кода состояния $Q1, Q0$. Функциями, реализуемыми во входном логическом преобразователе являются сигналы управления триггерами ($S1, R1, S0, R0$). Используем для представления этих функций числовой способ:

$$S0 = \{4, 6/0, 1, 2, 3\}X, Q1, Q0, \quad R0 = \{1, 3/4, 5, 6, 7\}X, Q1, Q0, \quad S1 = \{1/0, 3, 4, 5\}X, Q1, Q0,$$

$$R1 = \{3/1, 2, 6, 7\}X, Q1, Q0$$

Выполним минимизацию функций входного логического преобразователя с помощью карт Карно в формате ДНФ

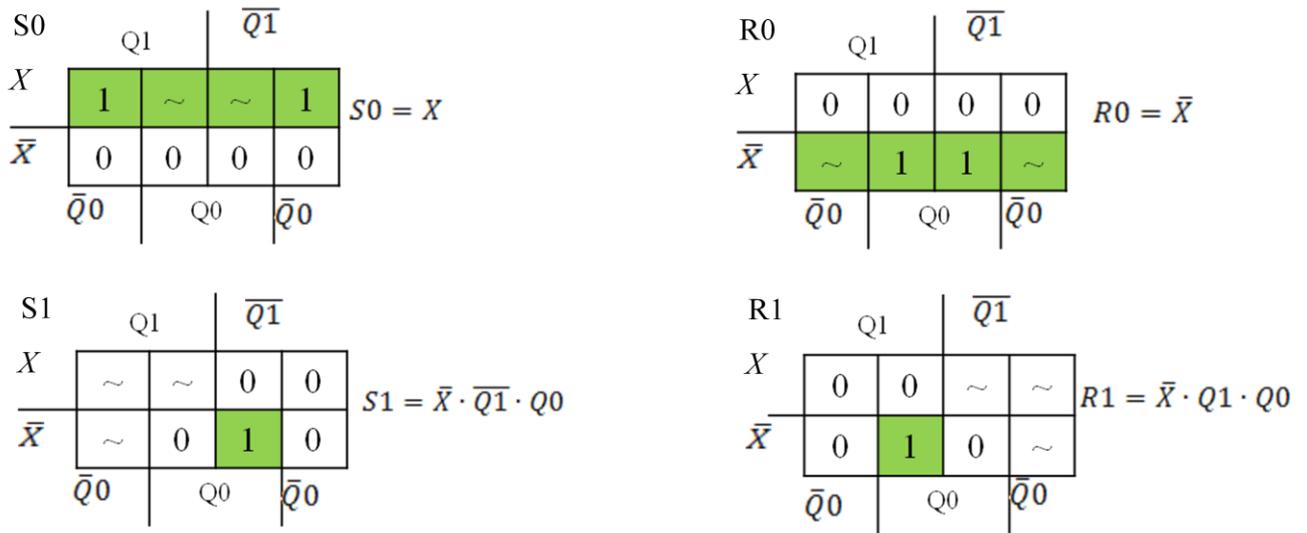


Рис. 18. Минимизация функций входного логического преобразователя

Построение таблицы истинности и минимизация функции выходного логического преобразователя конечного автомата Мили.

Выходной логический преобразователь представляет собой преобразователь кода (ПК), который преобразовывает кодовую комбинацию, образованную кодом входной переменной (X) и кодом текущего состояния S конечного автомата (Q1, Q0) в код выходной переменной Z (рис. 19).

Из выполненного ранее анализа известно, что конечный автомат имеет двухразрядные коды состояний и один вход, а также один выход. Таким образом, все возможные кодовые комбинации на входе выходного логического преобразователя конечного автомата Мили совпадают с такими же комбинациями для входного логического преобразователя. Следовательно, выходной логический преобразователь, преобразует 3-разрядную входную комбинацию кода состояния (Q1, Q0) и кода входной переменной (X) в одноразрядную комбинацию выходного кода (Z).

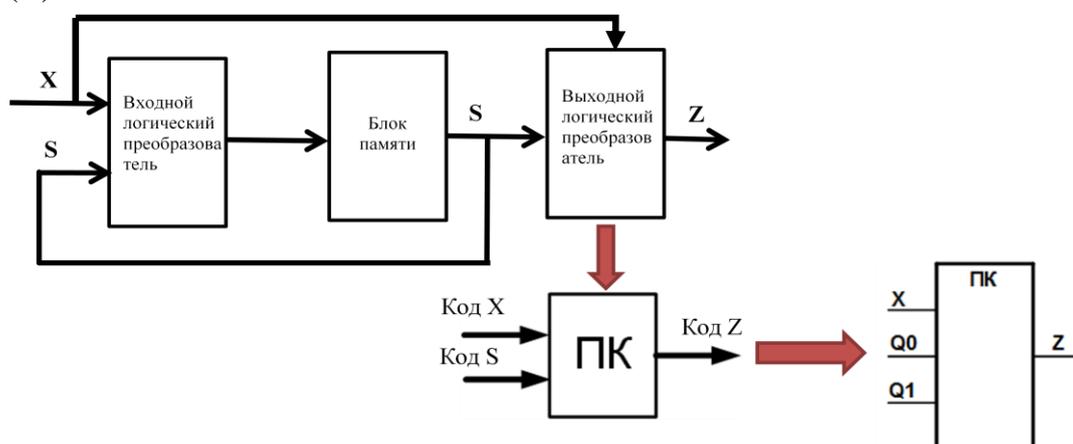


Рис. 19. Выходной логический преобразователь конечного автомата

Для математического описания комбинационной схемы выходного логического преобразователя в составе конечного автомата требуется построить таблицу истинности (см. Таблицу 13), описывающую его работу.

Таблица 13

Таблица истинности выходного логического преобразователя

Номер комбинации	Код входной переменной	Код текущего состояния		Код выходной переменной
	X	Q1	Q0	Z
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	1	0	0	1
5	1	0	1	1
6	1	1	0	1
7	1	1	1	0

Согласно структурной схеме конечного автомата, в таблице истинности выходного логического преобразователя независимыми входными переменными являются разряды кода входной переменной X и разряды кода состояния Q1, Q0. Функцией, реализуемой в выходном логическом преобразователе является выходной сигнал конечного автомата Z.

Используем для представления этой функции числовой способ:

$$z = \{4, 5, 6\}X, Q1, Q0$$

Выполним минимизацию функции выходного сигнала конечного автомата с помощью карты Карно в формате ДНФ:

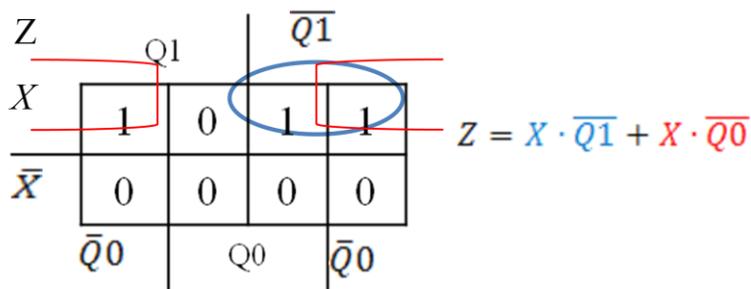


Рис. 20. Минимизация функций выходного логического преобразователя

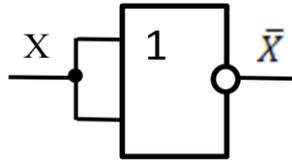
Построение принципиальной схемы конечного автомата в базисе ИЛИ-НЕ.

Преобразуем полученные значения функций управления триггерами (S1, R1, S0, R0) и функции выходного кода (Z) конечного автомата в соответствии с правилами алгебры логики:

$$S0 = X$$

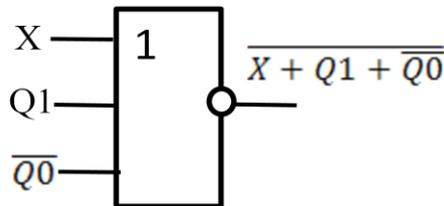
$$R0 = \bar{X}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на одном элементе 2ИЛИ-НЕ следующим образом:



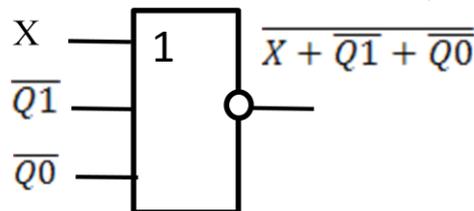
$$S1 = \bar{X} \cdot \bar{Q1} \cdot Q0 = \overline{\overline{\bar{X} \cdot \bar{Q1} \cdot Q0}} = \overline{(X + Q1 + \bar{Q0})}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на одном элементе 3ИЛИ-НЕ следующим образом:



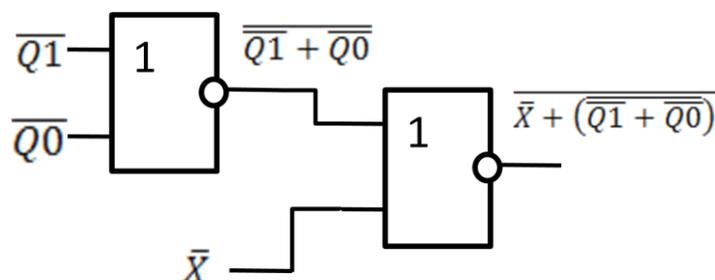
$$R1 = \bar{X} \cdot Q1 \cdot Q0 = \overline{\overline{\bar{X} \cdot Q1 \cdot Q0}} = \overline{(X + \bar{Q1} + \bar{Q0})}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано аналогично реализации функции S1 на одном элементе 3ИЛИ-НЕ следующим образом:



$$Z = X \cdot \bar{Q0} + X \cdot \bar{Q1} = \overline{\overline{X \cdot (\bar{Q0} + \bar{Q1})}} = \bar{X} + \overline{(\bar{Q0} + \bar{Q1})}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на двух элементах 2ИЛИ-НЕ следующим образом:



Таким образом, для построения схемы входного логического преобразователя потребуется один элемент 2ИЛИ-НЕ (функция R0), два элемента 3ИЛИ-НЕ (функции S1, R1), а для построения схемы выходного логического преобразователя потребуется два элемента 2ИЛИ-НЕ (функция Z).

На основании полученных алгебраических соотношений построим принципиальную схему конечного автомата Мили:

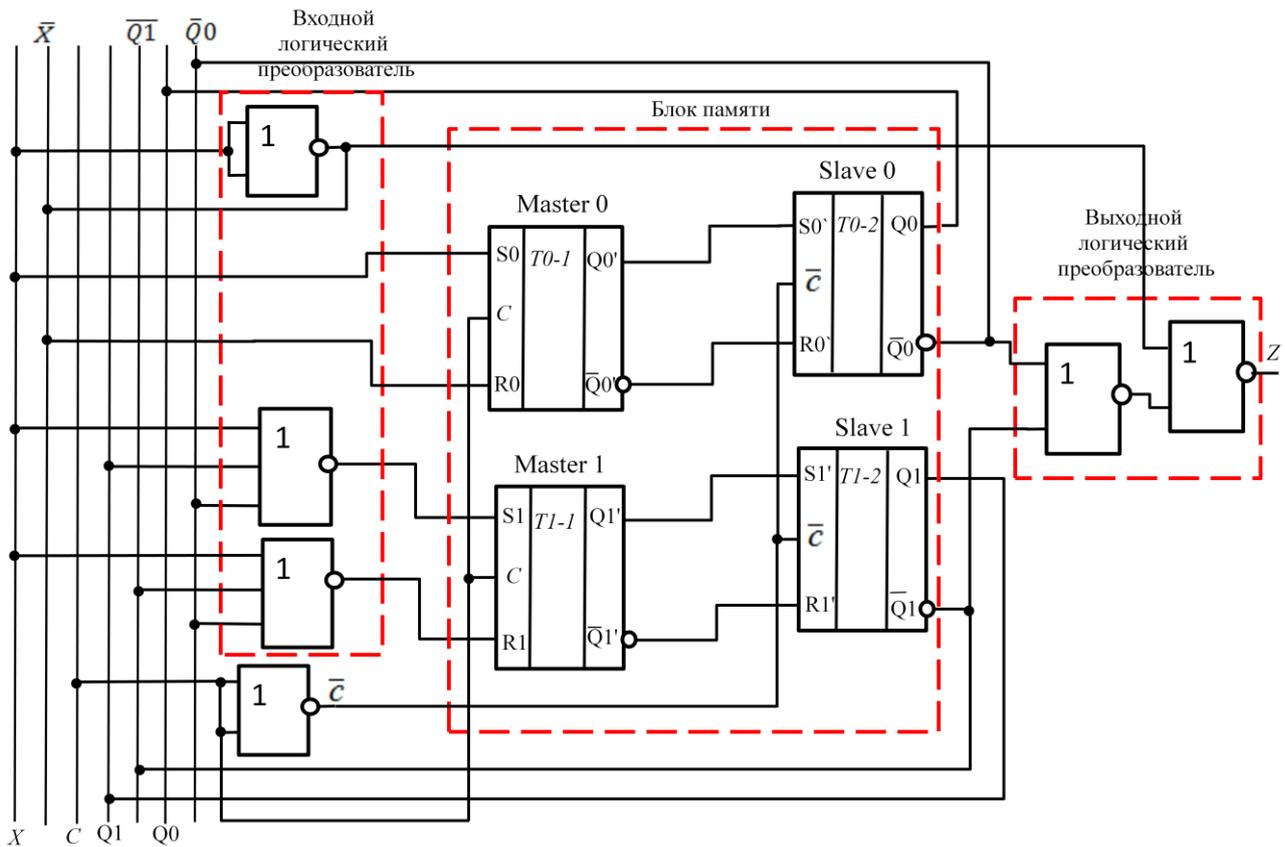


Рис. 21. Схема конечного автомата Мили в базисе ИЛИ-НЕ

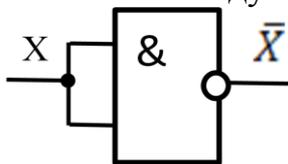
Построение принципиальной схемы конечного автомата в базисе И-НЕ.

Преобразуем полученные значения функций управления триггерами (S_0 , R_0 , S_1 , R_1) конечного автомата в соответствии с правилами алгебры логики:

$$S_0 = X$$

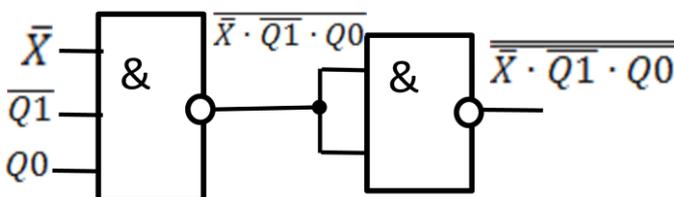
$$R_0 = \bar{X}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на одном элементе 2И-НЕ следующим образом:



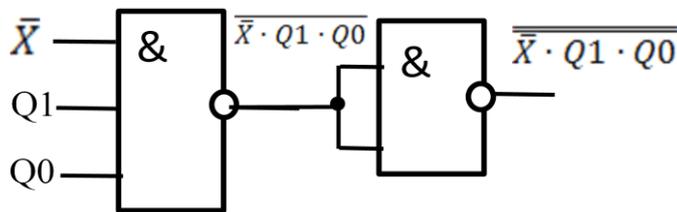
$$S_1 = \bar{X} \cdot \bar{Q_1} \cdot Q_0 = \overline{\overline{\bar{X} \cdot \bar{Q_1} \cdot Q_0}}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на одном элементе 3И-НЕ и одном элементе 2И-НЕ следующим образом:



$$R1 = \bar{X} \cdot Q1 \cdot Q0 = \overline{\overline{\bar{X} \cdot Q1 \cdot Q0}}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано аналогично реализации функции S1 на одном элементе 3И-НЕ и одном элементе 2И-НЕ следующим образом:

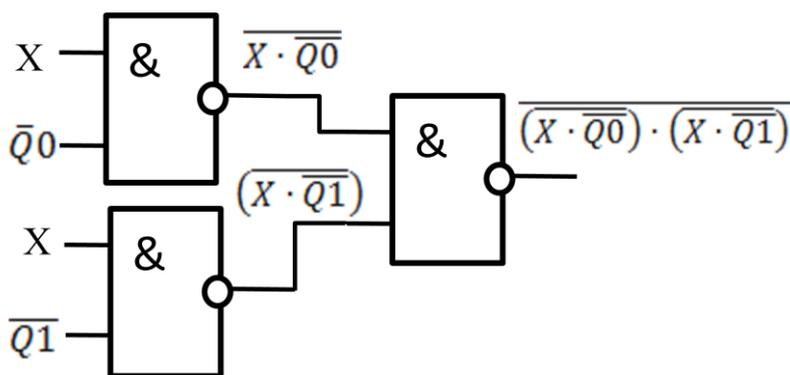


Таким образом, для построения схемы входного логического преобразователя потребуется один элемент 2И-НЕ (функция R0), два элемента 3И-НЕ и два элемента 2И-НЕ (функции S1, R1).

Преобразуем полученное значение функции выходного кода (Z) конечного автомата в соответствии с правилами алгебры логики:

$$Z = X \cdot \bar{Q0} + X \cdot \bar{Q1} = \overline{\overline{X \cdot \bar{Q0}} + \overline{X \cdot \bar{Q1}}} = \overline{\overline{X \cdot \bar{Q0}} \cdot \overline{X \cdot \bar{Q1}}}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на трех элементах 2И-НЕ следующим образом:



Таким образом, для построения схемы выходного логического преобразователя потребуется три элемента 2И-НЕ.

На основании полученных алгебраических соотношений построим принципиальную схему конечного автомата Мили, реализованную на логических элементах базиса И-НЕ

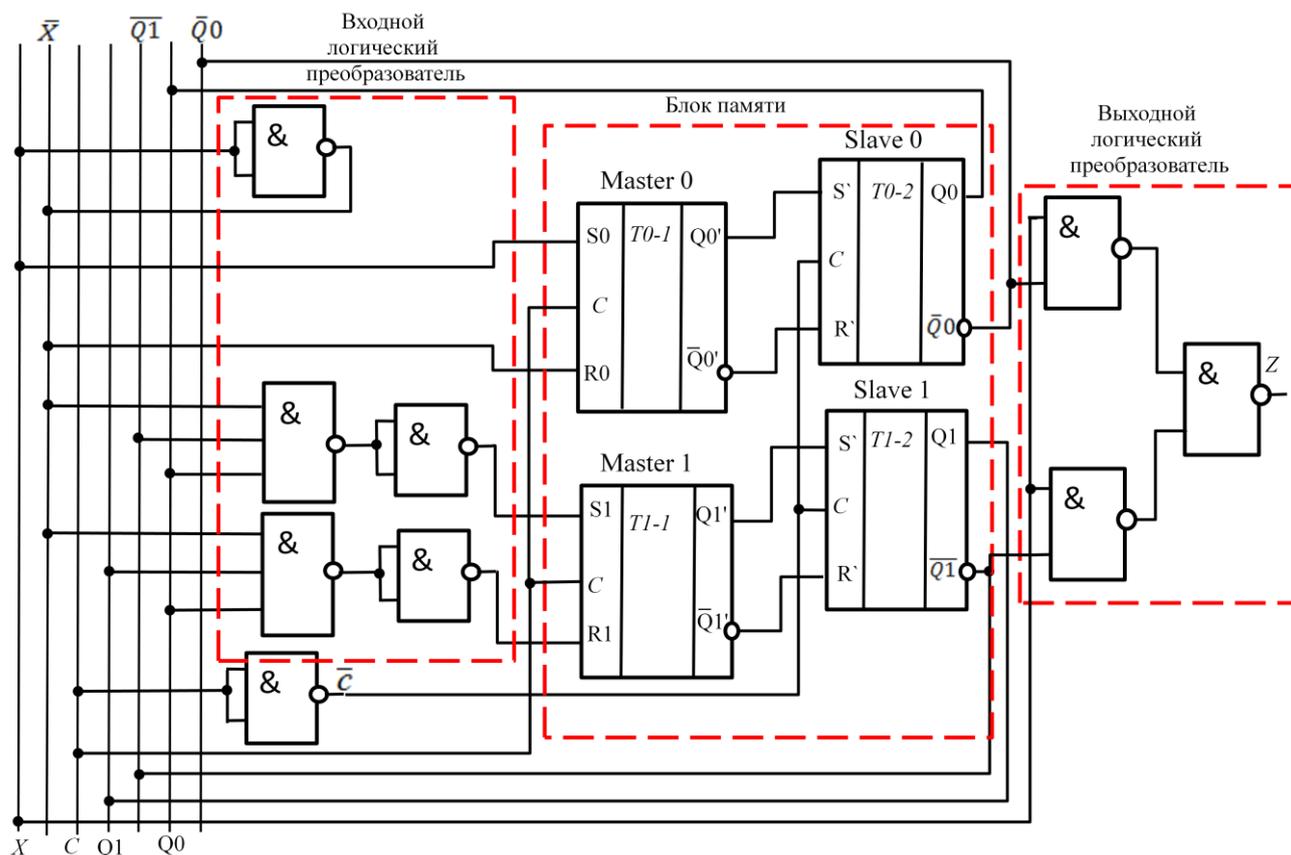


Рис. 22. Схема конечного автомата Мили в базисе И-НЕ

Синтез конечного автомата Мили на релейно-контактных элементах

В качестве элементов памяти используются реле Q_1 и Q_0 .

Составим по аналогии с конечным автоматом на бесконтактных элементах таблицу истинности функций конечного автомата Мили на релейно-контактных элементах (Таблица 14).

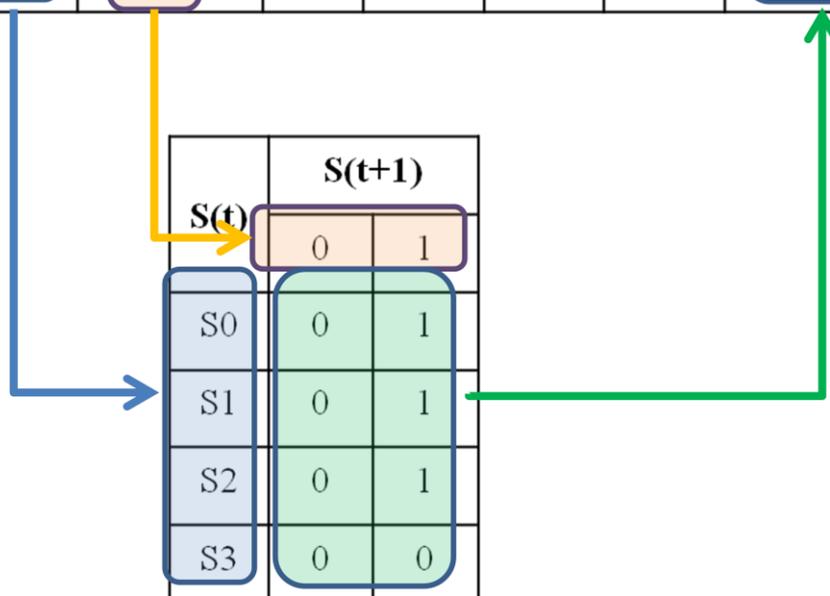
Отличием данной таблицы истинности от таблицы истинности конечного автомата на бесконтактных элементах является то, что в этой таблице отсутствуют столбцы, содержащие сигналы управления входами RS-триггера (S_1 , R_1 , S_0 , R_0) по причине отсутствия триггеров.

На основе таблицы 14 могут быть построены таблицы истинности входного логического преобразователя (Таблица 15) и выходного логического преобразователя (Таблица 16).

Входной логический преобразователь преобразовывает кодовую комбинацию, образованную кодом входной переменной (X) и кодом текущего состояния конечного автомата ($Q_1(t)$, $Q_0(t)$) в кодовую комбинацию, состоящую из управляющих сигналов, подаваемых в блок памяти ($Q_1(t+1)$, $Q_0(t+1)$), для включения обмоток реле Q_0 и Q_1 . Для построения входного логического преобразователя необходимо составить таблицу, содержащую все возможные входные (X и $Q_1(t)$, $Q_0(t)$) и выходные ($Q_1(t+1)$, $Q_0(t+1)$) комбинации.

Таблица истинности конечного автомата на релейно-контактных элементах

	Код входной переменной	Код текущего состояния		Код нового состояния		Код выходной переменной
		Q1	Q0	Q1	Q0	
S	X	Q1	Q0	Q1	Q0	Z
S0	0	0	0	0	0	0
S1	0	0	1	1	0	0
S2	0	1	0	1	0	0
S3	0	1	1	0	0	0
S0	1	0	0	0	1	1
S1	1	0	1	0	1	1
S2	1	1	0	1	1	1
S3	1	1	1	1	1	0



При этом входные комбинации получены путем образования всех возможных сочетаний кодов состояний и кодов входных переменных. Функциями, реализуемыми во входном логическом преобразователе, являются сигналы управления ($Q1(t+1)$, $Q0(t+1)$) включением обмоток реле $Q1$, $Q0$.

Используем для представления функций сигналов управления ($Q1(t+1)$, $Q0(t+1)$) включением обмоток реле $Q1$, $Q0$, приведенных в таблице 15 числовой способ:

$$Q1(t+1) = \{1,2,6,7\}X, Q1, Q0, \quad Q0(t+1) = \{4,5,6,7\}X, Q1, Q0$$

Таблица истинности входного логического преобразователя на релейно-контактных элементах

	Код входной переменной	Код текущего состояния		Код нового состояния		Код выходной переменной
		Q1	Q0	Q1	Q0	
S	X	Q1	Q0	Q1	Q0	Z
S0	0	0	0	0	0	0
S1	0	0	1	1	0	0
S2	0	1	0	1	0	0
S3	0	1	1	0	0	0
S0	1	0	0	0	1	1
S1	1	0	1	0	1	1
S2	1	1	0	1	1	1
S3	1	1	1	1	1	0

Номер комбинации	X	Q1(t)	Q0(t)	Q1(t+1)	Q0(t+1)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0
2	0	1	0	1	0
3	0	1	1	0	0
4	1	0	0	0	1
5	1	0	1	0	1
6	1	1	0	1	1
7	1	1	1	1	1

В соответствии с полученной таблицей истинности выполним минимизацию функций входного логического преобразователя с помощью карты Карно:

Q0 (t+1)

X	Q1		$\overline{Q1}$	
	Q0	$\overline{Q0}$	Q0	$\overline{Q0}$
1	1	1	1	1
0	0	0	0	0

$$Q0(t+1) = X$$

Q1 (t+1)

X	Q1		$\overline{Q1}$	
	Q0	$\overline{Q0}$	Q0	$\overline{Q0}$
1	1	1	0	0
1	1	0	1	0

$$Q1(t+1) = X \cdot Q1 + Q1 \cdot \overline{Q0} + \overline{X} \cdot \overline{Q1} \cdot Q0$$

Рис. 23. Минимизация функций входного логического преобразователя

Построение таблицы истинности выходного логического преобразователя конечного автомата Мили.

Выходной логический преобразователь преобразовывает кодовую комбинацию, образованную кодом входной переменной (X) и кодом текущего состояния конечного автомата ($Q1(t), Q0(t)$) в код выходной переменной Z .

Из выполненного ранее анализа известно, что все возможные кодовые комбинации на входе выходного логического преобразователя конечного автомата Мили совпадают с такими же комбинациями для входного логического преобразователя. Следовательно, выходной логический преобразователь, преобразует 3-разрядную входную комбинацию кода состояния ($Q1(t), Q0(t)$) и кода входной переменной (X) в одноразрядную комбинацию выходного кода (Z).

Для математического описания комбинационной схемы выходного логического преобразователя в составе конечного автомата требуется построить таблицу истинности, описывающую его работу (Таблица 16).

Таблица 16

Таблица истинности выходного логического преобразователя на релейно-контактных элементах

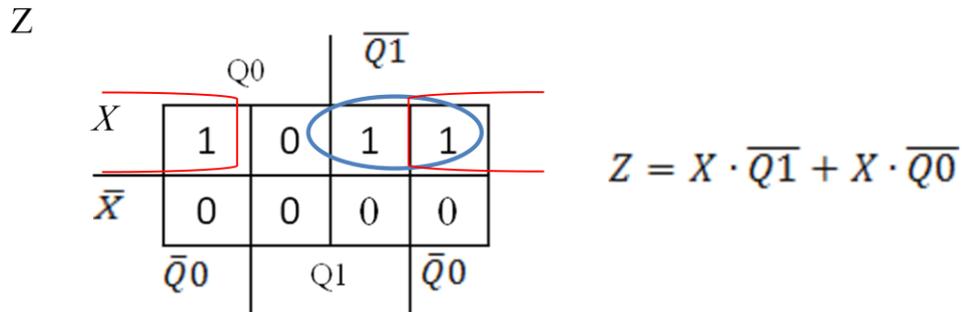
	Код входной переменной	Код текущего состояния		Код нового состояния		Код выходной переменной
	X	Q1	Q0	Q1	Q0	Z
S	0	0	0	0	0	0
S0	0	0	1	1	0	0
S1	0	1	0	1	0	0
S2	0	1	1	0	0	0
S0	1	0	0	0	1	1
S1	1	0	1	0	1	1
S2	1	1	0	1	1	1
S3	1	1	1	1	1	0

Номер комбинации	X	Q1(t)	Q0(t)	Z
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	1	0	0	1
5	1	0	1	1
6	1	1	0	1
7	1	1	1	0

Используем для представления функции выходного логического преобразователя, приведенной в таблице 16, числовой способ:

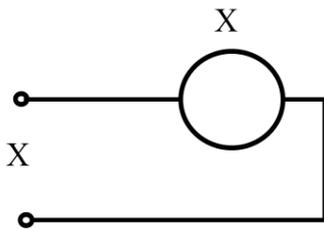
$$Z = \{4, 5, 6\}X, Q1, Q0$$

В соответствии с полученной таблицей истинности выполним минимизацию функции выходного логического преобразователя с помощью карты Карно:

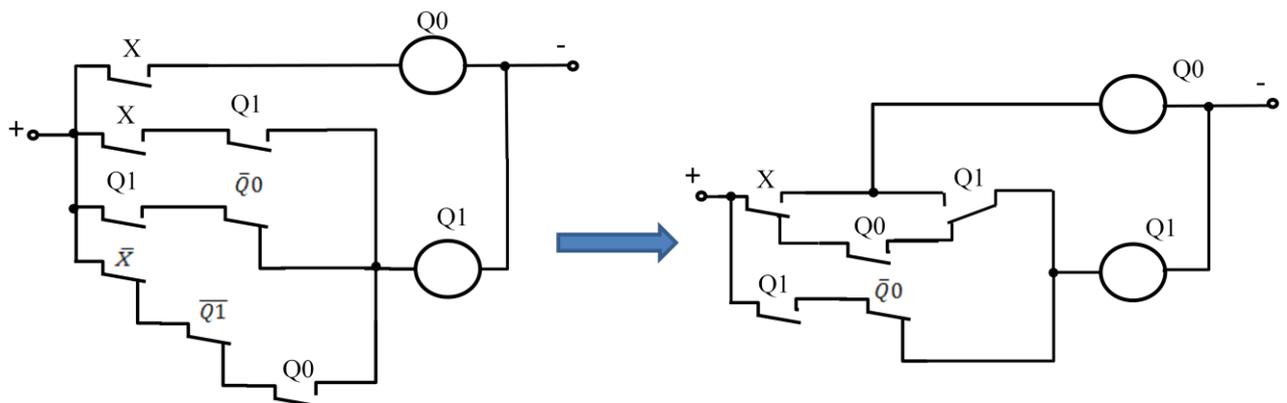


На основании полученных алгебраических соотношений построим принципиальную схему конечного автомата на релейно-контактных элементах:

а)



б)



в)

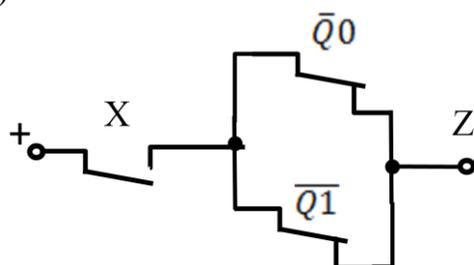


Рис. 24. Схема конечного автомата Мили на релейно-контактных элементах

а) входная переменная X

б) входной логический преобразователь

в) выходной логический преобразователь

Построение временной диаграммы работы конечного автомата Мили на бесконтактной элементной базе.

На временной диаграмме показаны: изменение значений входного сигнала X , подача синхронизирующего сигнала C и его инверсного значения \bar{C} , изменение состояния конечного автомата (синхронный RS-триггер с динамическим управлением Q_0 , состоящий из триггеров Master 0 (T0-1), Slave 0 (T0-2), синхронный RS-триггер с динамическим управлением Q_1 , состоящий из триггеров Master 1 (T1-1), Slave 1 (T1-2)), а также изменение выходного сигнала конечного автомата Z .

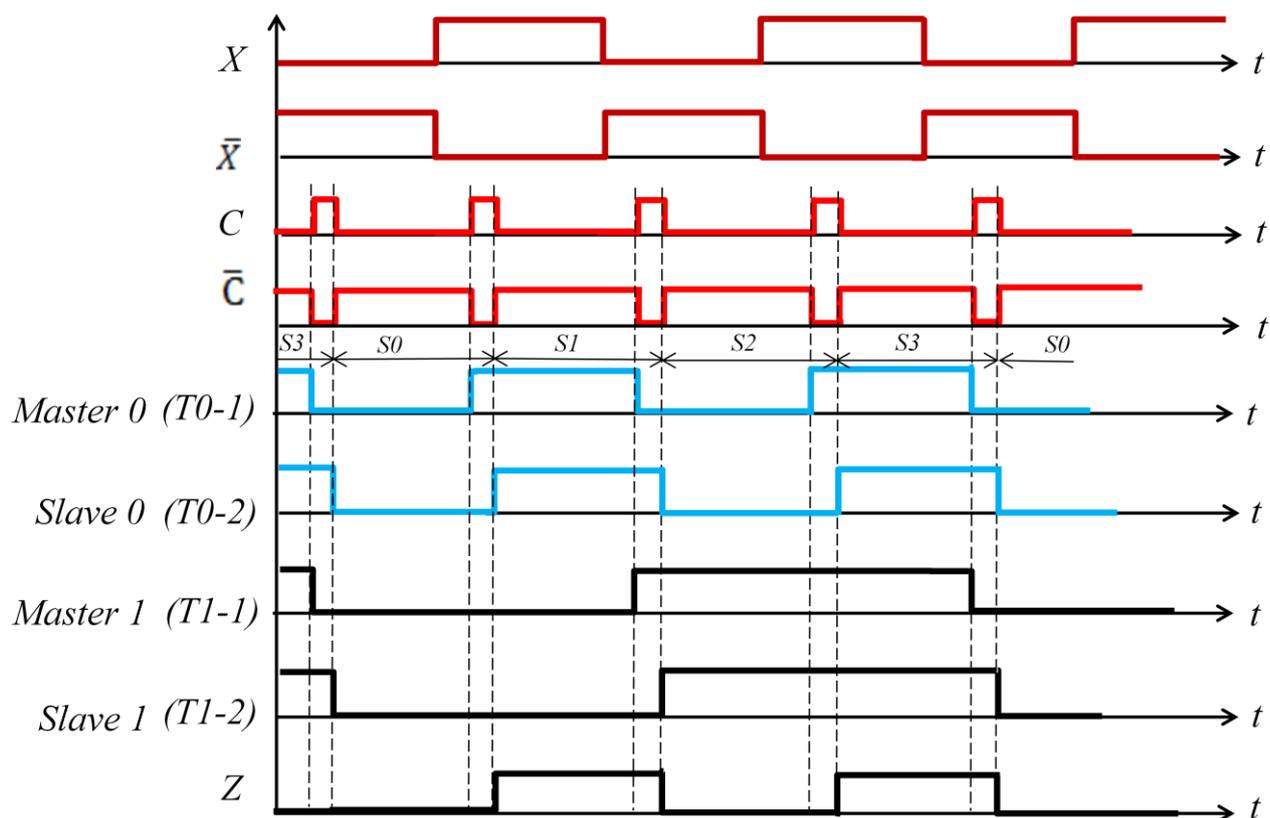


Рис. 25. Временная диаграмма работы конечного автомата Мили

Изначально, в соответствии с временной диаграммой, конечный автомат находится в состоянии S_3 (синхронные RS-триггеры с динамическим управлением Q_0 и Q_1 находятся в состоянии 1), в которое перешел из состояния S_2 при подаче входного сигнала $X=1$ (см. Таблицу 4).

В соответствии со схемой (рис. 21 (22)) на выходе конечного автомата присутствует сигнал $Z=0$, что соответствует таблице выходов конечного автомата Мили (Таблица 5).

При подаче на вход сигнала $X=0$ изменение состояния КА не происходит, так как в качестве элементов памяти применены синхронные RS-триггеры с динамическим управлением. Вместе с тем, входной логический преобразователь в соответствии с таблицей истинности и схемой на рис. 21 (рис. 22) устанавливает на своих выходах значения функций $R_0=1$ и $R_1=1$. При подаче синхронизирующего сигнала $C=1$ триггеры Master 0 (T0-1) и Master 1 (T1-1), находящиеся в состоянии 1, переходят в состояние 0. При этом изменения состояния триггеров Slave 0 (T0-2) и Slave 1 (T1-2) не происходит, так как эти триггеры заблокированы сигналом

$\bar{C} = 0$. После изменения значения синхронизирующего сигнала $C=0$, блокируются управляющие входы триггеров Master 0 и Master 1. При этом сигнал \bar{C} принимает значение 1, что приводит триггеры Slave 0 и Slave 1 в состояние 0 (то есть синхронные RS-триггеры с динамическим управлением Q0 и Q1 переходят в состояние 0). Следовательно, при подаче на вход сигнала $X=0$ произошел переход конечного автомата из состояния S3 в состояние S0, что соответствует таблице переходов конечного автомата Мили (Таблица 4). При этом, в соответствии со схемой, на выходе конечного автомата появляется сигнал $Z=0$, что соответствует таблице выходов конечного автомата Мили (Таблица 5). Дальнейшее построение временной диаграммы работы конечного автомата выполняется аналогично.

4.2. СИНТЕЗ КОНЕЧНОГО АВТОМАТА МУРА.

1) Вариант таблицы переходов

S0	S2	S2	S0	S1	S1	S3	S3
----	----	----	----	----	----	----	----

2) Вариант таблицы выходов

Z1	Z1	Z1	Z0
----	----	----	----

3) Предпоследняя цифра шифра - нечетная (автомат Мура)

В соответствии с рис 2. составим таблицу переходов конечного автомата Мура:

Таблица 17

S(t)	S(t+1)	
	X0	X1
S0	(S0)	S1
S1	S2	(S1)
S2	(S2)	S3
S3	S0	(S3)

В соответствии с заданием и рисунком 3 составим таблицу выходов конечного автомата Мура:

	Z1	Z1	Z1	Z0
--	----	----	----	----

Таблица 18

S(t)	Z
S0	Z1
S1	Z1
S2	Z1
S3	Z0

Построение графа конечного автомата Мура

На основании таблицы переходов (Таблица 17) и таблицы выходов (Таблица 18) и в соответствии с рис. 1б составим граф конечного автомата Мура:

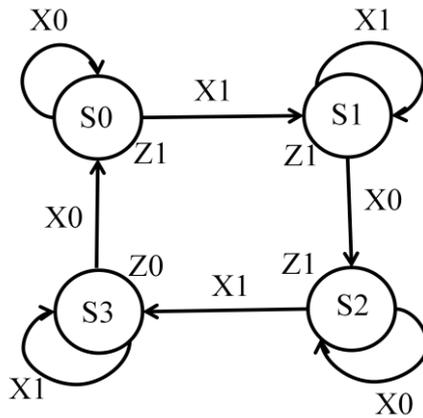


Рис. 26. Граф состояний конечного автомата Мура

Из приведенного графа для автомата Мура следует, что если автомат находится в состоянии S_0 и на вход подан сигнал X_1 , то автомат переходит в состояние S_1 . При этом на выходе появляется сигнал Z_1

Определим минимальную разрядность кода состояния конечного автомата по формуле:

$$k = \lceil \log_2 N_s \rceil$$

где N_s - количество состояний конечного автомата, в рассматриваемом примере равно четырем (S_0, S_1, S_2, S_3).

Знаки $\lceil \rceil$ показывают необходимость округления в большую сторону при получении дробного значения k .

Таким образом, минимальная разрядность кода состояния конечного автомата (то есть число элементов памяти) равна двум.

В качестве элементов памяти в соответствии с заданием применим синхронные RS-триггеры (Q_1 и Q_0) с динамическим управлением.

Кодирование состояний конечного автомата Мура

Выполним кодирование состояний конечного автомата (см. рис. 8).

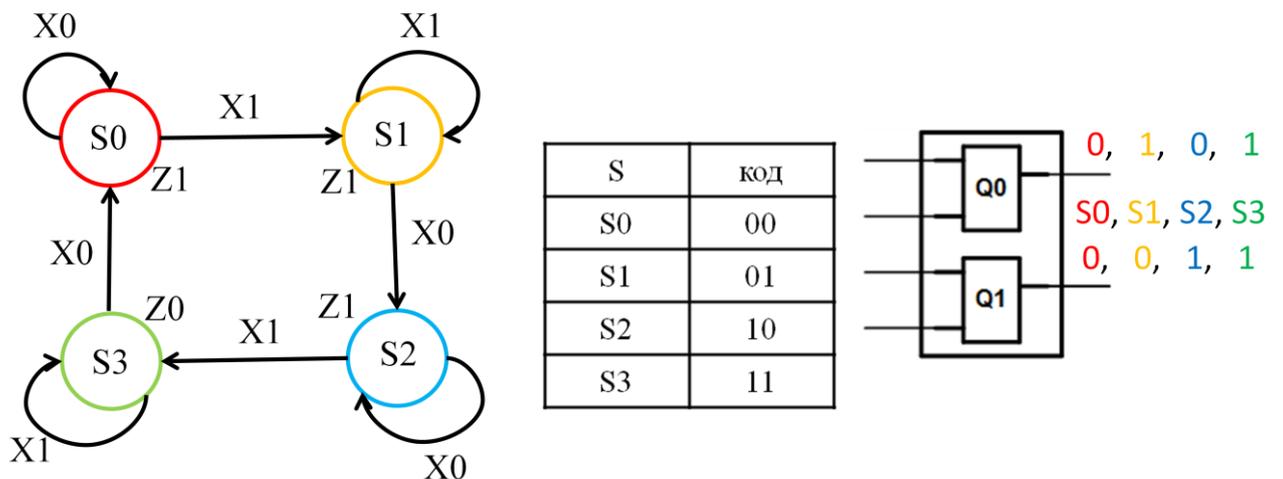


Рис. 27. Кодирование состояний конечного автомата

Кодирование входных сигналов конечного автомата Мура.

Разрядность входного кода конечного автомата может быть определена по формуле Шеннона:

$$m = \lceil \log_2 N_X \rceil$$

где N_X - количество всех возможных наборов входных сигналов.

Приведенный на рисунке граф задает конечный автомат, на вход которого подается всего два значения: X_0 и X_1 , то есть $N_X=2$. Согласно формуле Шеннона, эти значения могут быть закодированы одноразрядным кодом, и схема конечного автомата имеет один вход.

Таблица кодирования входных сигналов

X	код
X_0	0
X_1	1

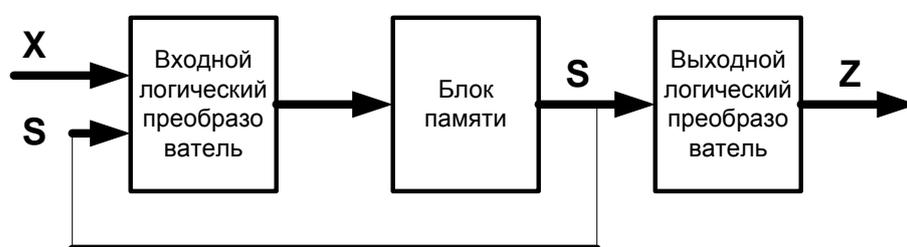


Рис. 28. Кодирование входных сигналов X

Кодирование выходных сигналов конечного автомата Мура.

Методика кодирования выходных сигналов аналогична той, что была применена для кодирования входных сигналов. Выходные сигналы кодируются кодовыми комбинациями рассчитанной разрядности.

Разрядность выходного кода конечного автомата может быть определена по формуле:

$$n = \lceil \log_2 N_Z \rceil$$

где N_Z – количество всех возможных наборов выходных сигналов.

Приведенный на рисунке 26 граф задает конечный автомат, на выход которого подается всего два значения: Z_0 и Z_1 , то есть $N_Z=2$. Следовательно, эти значения могут быть закодированы одноразрядным кодом, и схема конечного автомата имеет один выход.

Таблица кодирования выходных сигналов

Z	код
Z_0	0
Z_1	1

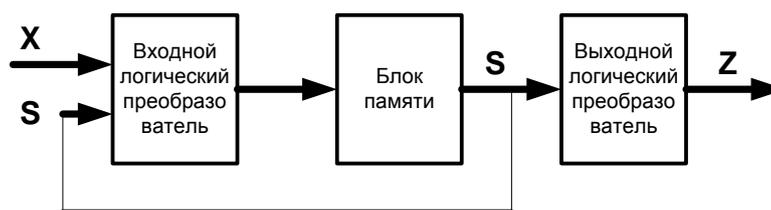


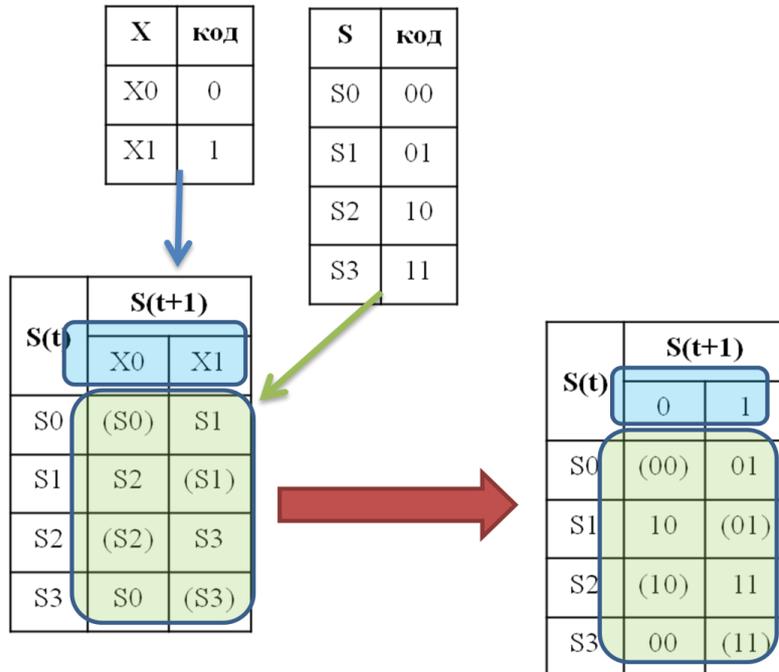
Рис. 29. Кодирование выходных сигналов Z

Кодирование таблицы переходов конечного автомата Мура

Кодированная таблица переходов строится на основе некодированной таблицы переходов (см. рис.2). В этой таблице кодами заменяются входные переменные (X) и состояния (S), расположенные в соответствующих входным переменным колонках. Первая колонка кодированной таблицы переходов остается неизменной, то есть состояния в ней представляются буквенными обозначениями.

Таблица 19

Кодированная таблица переходов

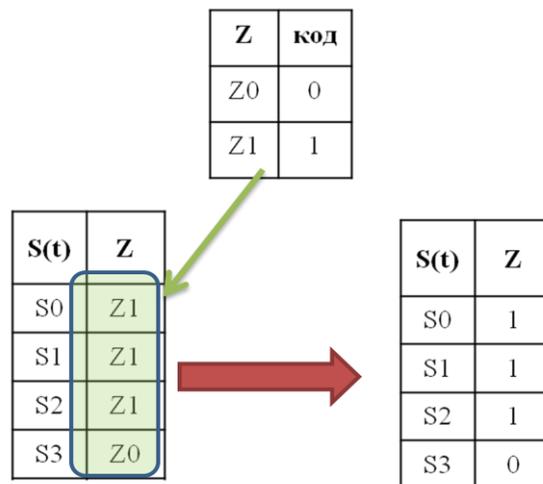


Кодирование таблицы выходов конечного автомата Мура

При составлении кодированной таблицы выходов конечного автомата Мура, в некодированной таблице выходов (см. рис. 4) кодами заменяется выходная переменная Z. Первая колонка таблицы выходов сохраняется без изменений.

Таблица 20

. Кодированная таблица выходов



Согласно структурной схеме конечного автомата Мура (см. рис. б), в таблице истинности функций конечного автомата независимыми переменными являются разряды кода входной переменной (X) и разряды кода состояния (Q1, Q0). Функциями, реализуемыми во входном логическом преобразователе являются сигналы управления триггерами (в данном примере S1, R1, S0, R0).

Построение таблицы истинности входного логического преобразователя.

Входной логический преобразователь представляет собой преобразователь кода (ПК), который преобразовывает кодовую комбинацию, образованную кодом входной переменной (X) и кодом текущего состояния конечного автомата (Q1, Q0) в кодовую комбинацию, состоящую из управляющих сигналов, подаваемых в блок памяти. Из выполненного ранее анализа известно, что конечный автомат имеет двухразрядные коды состояний и один вход, а блок памяти реализуется на двух RS-триггерах. Следовательно, входной логический преобразователь преобразует 3-разрядную входную комбинацию кода состояния и кода входной переменной в 4-разрядную выходную комбинацию сигналов управления двумя RS-триггерами (S1, R1, S0, R0).

Для построения входного логического преобразователя необходимо составить таблицу, содержащую все возможные входные (X и Q1, Q0) и выходные комбинации (S1, R1, S0, R0). При этом входные комбинации могут быть получены путем образования всех возможных сочетаний кодов состояний S (Q1, Q0) и кодов входных переменных X.

Таблица 21

Таблица истинности входного логического преобразователя
конечного автомата Мура

Номер комбинации	Код входной переменной	Код текущего состояния		Код нового состояния		Функции управления триггером Q1		Функции управления триггером Q0	
	X	Q1	Q0	Q1	Q0	S1	R1	S0	R0
0	0	0	0	0	0	0	~	0	~
1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
2	0	1	0	1	0	~	0	0	~
3	0	1	1	0	0	0	1	0	1
4	1	0	0	0	1	0	~	1	0
5	1	0	1	0	1	0	~	~	0
6	1	1	0	1	1	~	0	1	0
7	1	1	1	1	1	~	0	~	0

Согласно структурной схеме конечного автомата, в таблице истинности функций конечного автомата независимыми переменными являются разряды кода входной переменной X и разряды кода состояния Q1, Q0. Функциями, реализуемыми во входном логическом преобразователе являются сигналы управления

триггерами (S1, R1, S0, R0). Используем для представления этих функций числовой способ:

$$S0 = \{4, 6/0, 1, 2, 3\}X, Q1, Q0, \quad R0 = \{1, 3/4, 5, 6, 7\}X, Q1, Q0, \quad S1 = \{1/0, 3, 4, 5\}X, Q1, Q0, \\ R1 = \{3/1, 2, 6, 7\}X, Q1, Q0$$

Выполним минимизацию функций входного логического преобразователя с помощью карт Карно в формате ДНФ:

S0	Q1		$\overline{Q1}$		
X	1	~	~	1	S0 = X
\overline{X}	0	0	0	0	
	$\overline{Q0}$	Q0		$\overline{Q0}$	

R0	Q1		$\overline{Q1}$		
X	0	0	0	0	R0 = \overline{X}
\overline{X}	~	1	1	~	
	$\overline{Q0}$	Q0		$\overline{Q0}$	

S1	Q1		$\overline{Q1}$		
X	~	~	0	0	S1 = $\overline{X} \cdot \overline{Q1} \cdot Q0$
\overline{X}	~	0	1	0	
	$\overline{Q0}$	Q0		$\overline{Q0}$	

R1	Q1		$\overline{Q1}$		
X	0	0	~	~	R1 = $\overline{X} \cdot Q1 \cdot Q0$
\overline{X}	0	1	0	~	
	$\overline{Q0}$	Q0		$\overline{Q0}$	

Рис. 30. Минимизация функций входного логического преобразователя конечного автомата Мура

Построение таблицы истинности и минимизация функции выходного логического преобразователя конечного автомата Мура

Для математического описания комбинационной схемы выходного логического преобразователя в составе конечного автомата требуется построить таблицу истинности, описывающую его работу.

Таблица 22

Таблица истинности выходного логического преобразователя конечного аппарата Мура

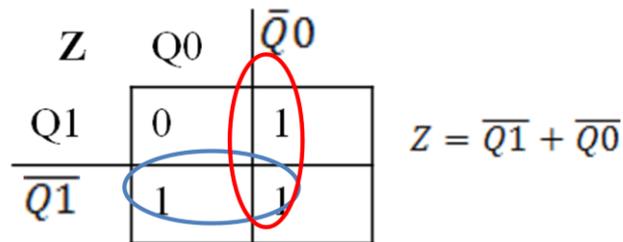
Номер комбинации	Код текущего состояния		Код выходной переменной
	Q1	Q0	Z
0	0	0	1
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0

Согласно структурной схеме конечного автомата, в таблице истинности выходного логического преобразователя независимыми входными переменными являются разряды кода состояния Q0, Q1. Функцией, реализуемой в выходном логическом преобразователе является выходной сигнал конечного автомата Z.

Используем для представления этой функции числовой способ:

$$Z = \{0, 1, 2\}Q1, Q0$$

Выполним минимизацию функции выходного сигнала конечного автомата с помощью карты Карно:



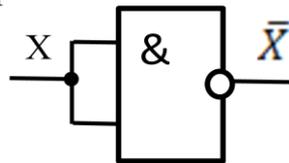
Построение принципиальной схемы конечного автомата Мура в базисе И-НЕ.

Преобразуем полученные значения функций управления триггерами (S0, R0, S1, R1) конечного автомата в соответствии с правилами алгебры логики:

$$S0 = X$$

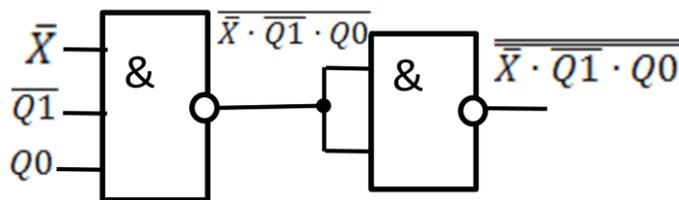
$$R0 = \bar{X}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на одном элементе 2И-НЕ следующим образом:



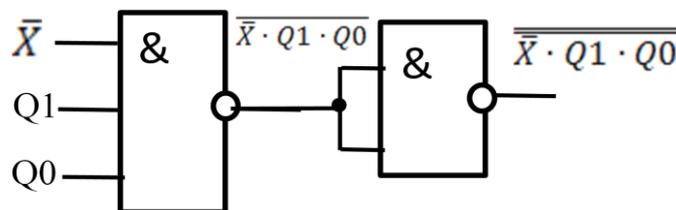
$$S1 = \bar{X} \cdot \bar{Q}1 \cdot Q0 = \overline{\overline{\bar{X} \cdot \bar{Q}1 \cdot Q0}}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на одном элементе 3И-НЕ и одном элементе 2И-НЕ следующим образом:



$$R1 = \bar{X} \cdot Q1 \cdot Q0 = \overline{\overline{\bar{X} \cdot Q1 \cdot Q0}}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано аналогично реализации функции S1 на одном элементе 3И-НЕ и одном элементе 2И-НЕ следующим образом:

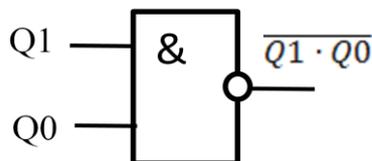


Таким образом, для построения схемы входного логического преобразователя потребуется один элемент 2И-НЕ (функция R0), два элемента 3И-НЕ и два элемента 2И-НЕ (функции S1, R1).

Преобразуем полученное значение функции выходного кода (Z) конечного автомата Мура в соответствии с правилами алгебры логики:

$$Z = \overline{Q1} + \overline{Q0} = \overline{\overline{\overline{\overline{Q1} + \overline{Q0}}}} = \overline{Q1 \cdot Q0}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на одном элементе 2И-НЕ:



На основании полученных алгебраических соотношений построим принципиальную схему конечного автомата, реализованную на логических элементах базиса И-НЕ

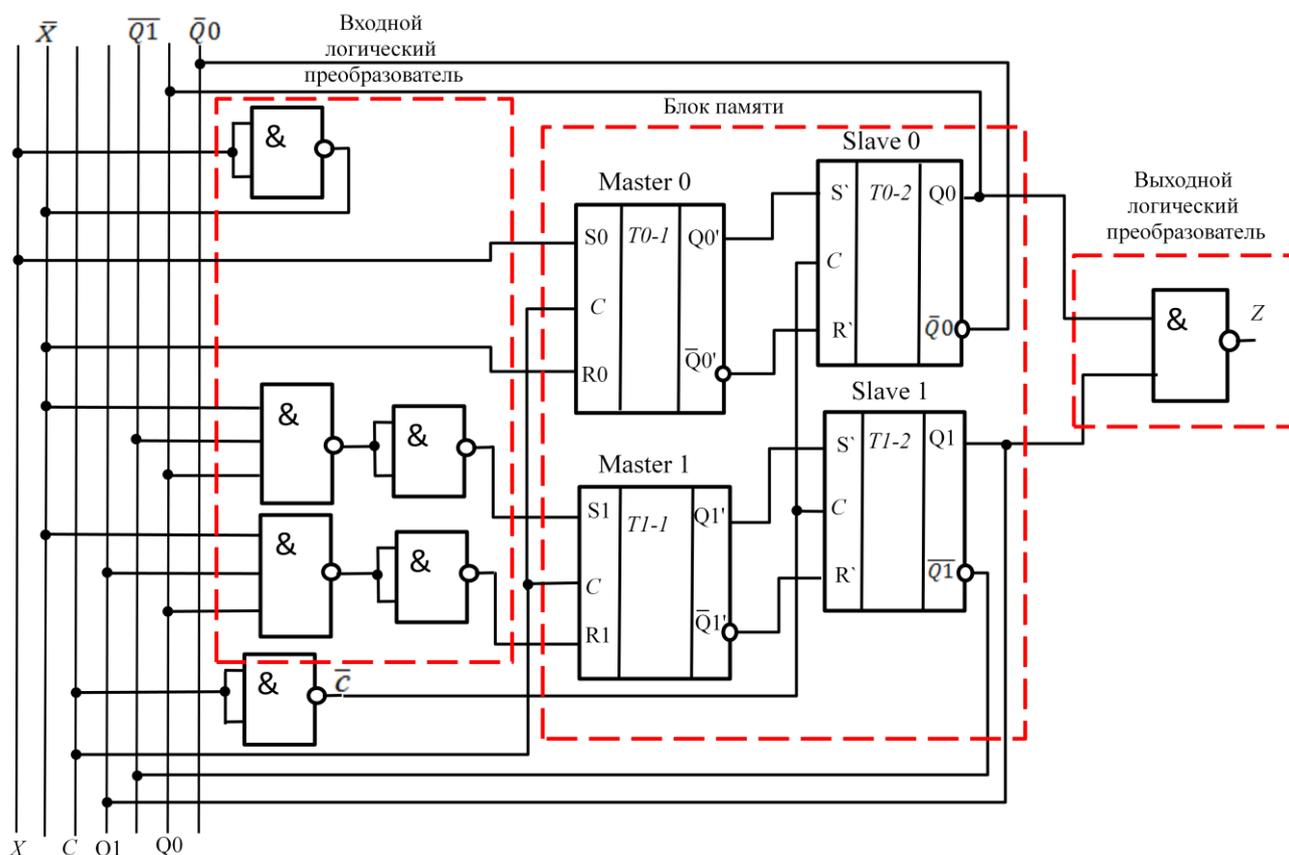


Рис. 31. Схема конечного автомата Мура в базисе И-НЕ

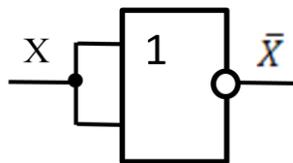
Построение принципиальной схемы конечного автомата Мура в базисе ИЛИ-НЕ.

Преобразуем полученные значения функций управления триггерами (S1, R1, S0, R0) и функции выходного кода (Z) конечного автомата в соответствии с правилами алгебры логики:

$$S0 = X$$

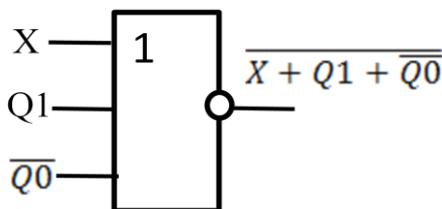
$$R0 = \bar{X}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на одном элементе 2ИЛИ-НЕ следующим образом:



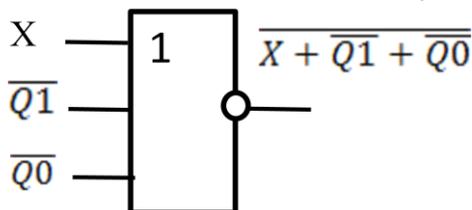
$$S1 = \bar{X} \cdot \bar{Q1} \cdot Q0 = \overline{\overline{\bar{X} \cdot \bar{Q1} \cdot Q0}} = \overline{(X + Q1 + \bar{Q0})}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на одном элементе 3ИЛИ-НЕ следующим образом:



$$R1 = \bar{X} \cdot Q1 \cdot Q0 = \overline{\overline{\bar{X} \cdot Q1 \cdot Q0}} = \overline{(X + \bar{Q1} + \bar{Q0})}$$

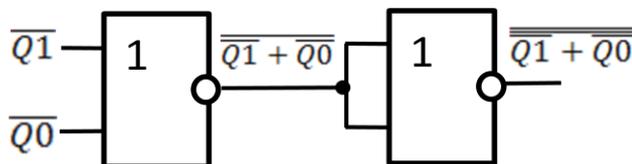
Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано аналогично реализации функции S1 на одном элементе 3ИЛИ-НЕ следующим образом:



Преобразуем полученное значение функции выходного кода (Z) конечного автомата Мура в соответствии с правилами алгебры логики:

$$Z = \bar{Q1} + \bar{Q0} = \overline{\overline{\bar{Q1} + \bar{Q0}}}$$

Данное алгебраическое соотношение может быть реализовано на двух элементах 2ИЛИ-НЕ следующим образом:



На основании полученных алгебраических соотношений построим принципиальную схему конечного автомата Мура.

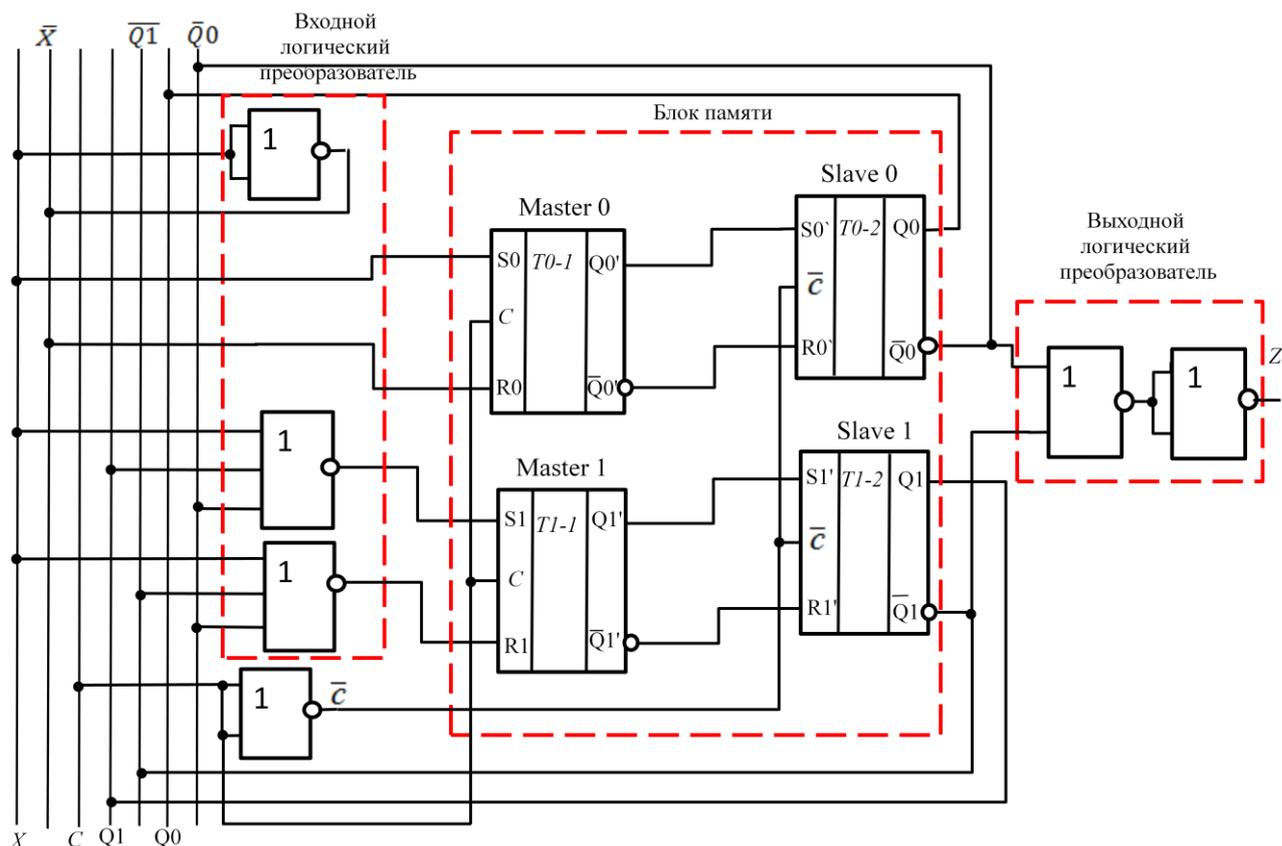


Рис. 32. Схема конечного автомата Мура в базисе ИЛИ-НЕ

Синтез конечного автомата Мура на релейно-контактных элементах

В качестве элементов памяти используются реле Q_1 и Q_0 .

Составим по аналогии с конечным автоматом на бесконтактных элементах таблицу истинности функций конечного автомата Мура на релейно-контактных элементах (Таблица 23).

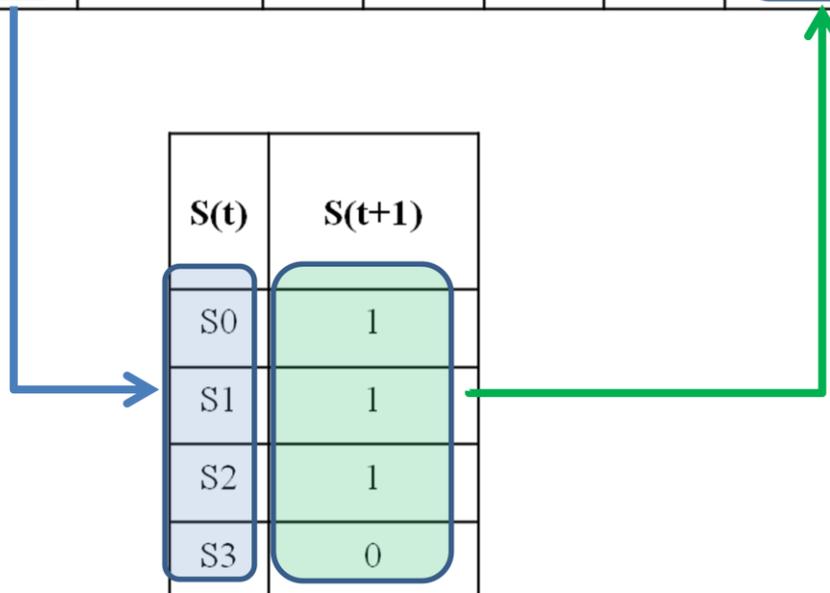
Отличием данной таблицы истинности от таблицы истинности конечного автомата на бесконтактных элементах является то, что в этой таблице отсутствуют столбцы, содержащие сигналы управления входами RS-триггера (S_1 , R_1 , S_0 , R_0) по причине отсутствия триггеров.

На основе таблицы 23 могут быть построены таблицы истинности входного логического преобразователя (Таблица 24) и выходного логического преобразователя.

Входной логический преобразователь преобразовывает кодовую комбинацию, образованную кодом входной переменной (X) и кодом текущего состояния конечного автомата ($Q_1(t)$, $Q_0(t)$) в кодовую комбинацию, состоящую из управляющих сигналов, подаваемых в блок памяти ($Q_1(t+1)$, $Q_0(t+1)$), для включения обмоток реле Q_0 и Q_1 . Для построения входного логического преобразователя необходимо составить таблицу, содержащую все возможные входные (X и $Q_1(t)$, $Q_0(t)$) и выходные ($Q_1(t+1)$, $Q_0(t+1)$) комбинации.

Таблица истинности конечного автомата на релейно-контактных элементах

	Код входной переменной	Код текущего состояния		Код нового состояния		Код выходной переменной
		Q1	Q0	Q1	Q0	
S	X	Q1	Q0	Q1	Q0	Z
S0	0	0	0	0	0	1
S1	0	0	1	1	0	1
S2	0	1	0	1	0	1
S3	0	1	1	0	0	0
S0	1	0	0	0	1	1
S1	1	0	1	0	1	1
S2	1	1	0	1	1	1
S3	1	1	1	1	1	0



При этом входные комбинации получены путем образования всех возможных сочетаний кодов состояний и кодов входных переменных. Функциями, реализуемыми во входном логическом преобразователе, являются сигналы управления ($Q1(t+1)$, $Q0(t+1)$) включением обмоток реле $Q1$, $Q0$.

Используем для представления функций сигналов управления ($Q1(t+1)$, $Q0(t+1)$) включением обмоток реле $Q1$, $Q0$, приведенных в таблице 24, числовой способ:

$$Q1(t+1) = \{1,2,6,7\}X, Q1, Q0, \quad Q0(t+1) = \{4,5,6,7\}X, Q1, Q0$$

Таблица истинности входного логического преобразователя на релейно-контактных элементах

S	Код входной переменной X	Код текущего состояния		Код нового состояния	
		Q1	Q0	Q1	Q0
S0	0	0	0	0	0
S1	0	0	1	1	0
S2	0	1	0	1	0
S3	0	1	1	0	0
S0	1	0	0	0	1
S1	1	0	1	0	1
S2	1	1	0	1	1
S3	1	1	1	1	1

Номер комбинации	X	Q1(t)	Q0(t)	Q1(t+1)	Q0(t+1)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0
2	0	1	0	1	0
3	0	1	1	0	0
4	1	0	0	0	1
5	1	0	1	0	1
6	1	1	0	1	1
7	1	1	1	1	1

В соответствии с полученной таблицей истинности выполним минимизацию функций входного логического преобразователя с помощью карты Карно:

Q0 (t+1)

X	Q1		$\bar{Q}1$	
	Q0	$\bar{Q}0$	Q0	$\bar{Q}0$
1	1	1	1	1
0	0	0	0	0

$$Q0(t+1) = X$$

Q1 (t+1)

X	Q1		$\bar{Q}1$	
	Q0	$\bar{Q}0$	Q0	$\bar{Q}0$
1	1	1	0	0
1	1	0	1	0

$$Q1(t+1) = X \cdot Q1 + Q1 \cdot \bar{Q}0 + \bar{X} \cdot \bar{Q}1 \cdot Q0$$

Рис. 33. Минимизация функций входного логического преобразователя

Для математического описания комбинационной схемы выходного логического преобразователя в составе конечного автомата требуется построить таблицу истинности, описывающую его работу. Согласно структурной схеме конечного автомата Мура, в таблице истинности выходного логического преобразователя независимыми входными переменными являются разряды кода состояния $Q1, Q0$. Функцией, реализуемой в выходном логическом преобразователе является выходной сигнал конечного автомата Z .

Исходя из изложенного, можно сделать вывод о том, что содержимое таблицы истинности выходного логического преобразователя конечного автомата Мура при реализации его на базе релейно-контактных элементов совпадает с содержимым таблицы истинности выходного логического преобразователя конечного автомата Мура для случая реализации на бесконтактных элементах (Таблица 22).

Запишем, полученное в результате минимизации соотношение для функций выходного логического преобразователя:

$$Z = \overline{Q1} + \overline{Q0}$$

На основании полученных алгебраических соотношений построим принципиальную схему конечного автомата на релейно-контактных элементах:

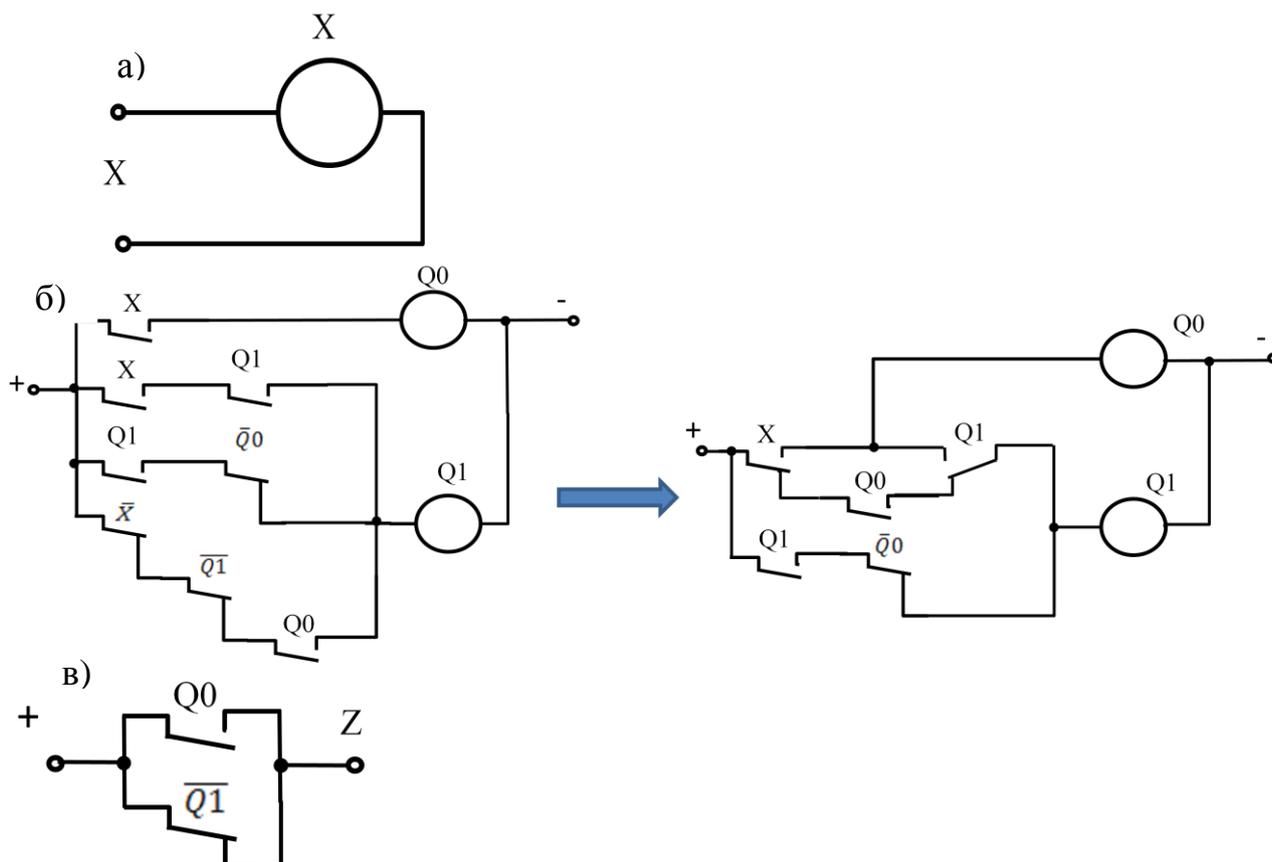


Рис. 33. Схема конечного автомата Мура на релейно-контактных элементах
 а) входная переменная X
 б) входной логический преобразователь
 в) выходной логический преобразователь

Построение временной диаграммы работы конечного автомата Мили на бесконтактной элементной базе

На временной диаграмме показаны: изменение значений входного сигнала X , подача синхронизирующего сигнала C и его инверсного значения \bar{C} , изменение состояния конечного автомата (синхронный RS-триггер с динамическим управлением Q_0 , состоящий из триггеров Master 0 (T0-1), Slave 0 (T0-2), синхронный RS-триггера с динамическим управлением Q_1 , состоящий из триггеров Master 1 (T1-1), Slave 1 (T1-2)), а также изменение выходного сигнала конечного автомата Z .

Изначально, в соответствии с временной диаграммой, конечный автомат находится в состоянии S_3 (синхронные RS-триггеры с динамическим управлением Q_0 и Q_1 находятся в состоянии 1), в которое перешел из состояния S_2 при подаче входного сигнала $X=1$ (см. таблицу переходов конечного автомата Мура (Таблица 17)).

В соответствии со схемой (рис. 31 (32)) на выходе конечного автомата присутствует сигнал $Z=0$, что соответствует таблице выходов конечного автомата Мура (Таблица 18).

При подаче на вход сигнала $X=0$ изменение состояния КА не происходит, так как в качестве элементов памяти применены синхронные RS-триггеры с динамическим управлением. Вместе с тем, входной логический преобразователь в соответствии со схемой на рис. 31 (рис. 32) устанавливает на своих выходах значения функций $R_0=1$ и $R_1=1$. При подаче синхронизирующего сигнала $C=1$ триггер Master 0, находящийся в состоянии 1, переходит в состояние 0 (так как $R_0=1$), а триггер Master 1, находящийся в состоянии 1, переходит в состояние 0 (так как $R_1=1$). При этом изменения состояния триггеров Slave 0 и Slave 1 не происходит, так как эти триггеры заблокированы сигналом $\bar{C} = 0$. После изменения значения синхронизирующего сигнала $C=0$, блокируются управляющие входы триггеров Master 0 и Master 1. При этом сигнал \bar{C} принимает значение 1, что приводит триггеры Slave 0 и Slave 1 в состояние 0 (то есть синхронные RS-триггеры с динамическим управлением Q_0 и Q_1 переходят в состояние 0, что соответствует состоянию S_0 конечного автомата Мура). Следовательно, при подаче на вход сигнала $X=0$ произошел переход конечного автомата из состояния S_3 в состояние S_0 , что соответствует таблице переходов конечного автомата Мура (Таблица 17). При этом, в соответствии со схемой конечного автомата, на выходе конечного автомата присутствует сигнал $Z=1$, что соответствует таблице выходов конечного автомата Мура (Таблица 18). Дальнейшее построение временной диаграммы работы конечного автомата выполняется аналогично.

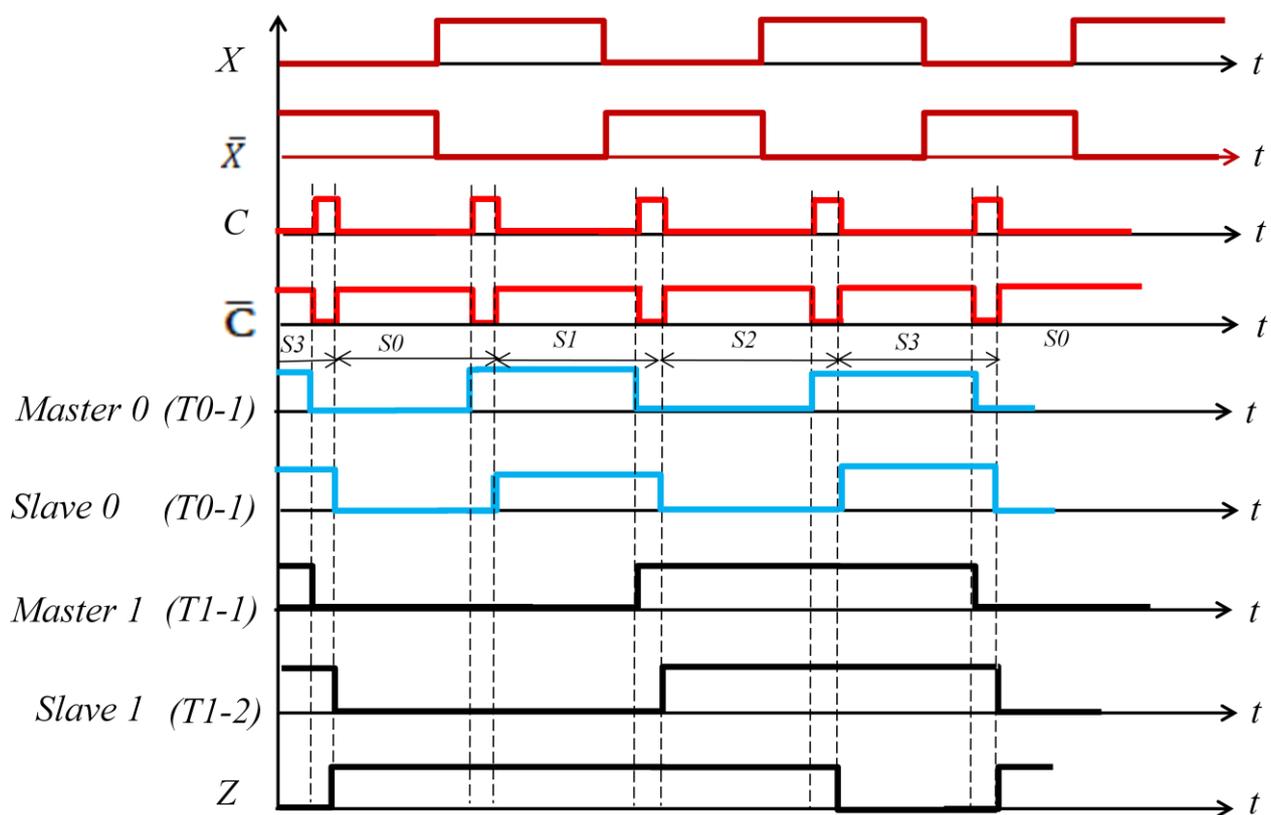


Рис. 34. Временная диаграмма работы конечного автомата Мура

ЛИТЕРАТУРА

1. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Ефанов Д.В. **Теория дискретных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики и связи** — М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2016. — 339 с.