

ГУАП

КАФЕДРА № 44

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

канд. техн. наук

должность, уч. степень, звание

подпись, дата

Т.Н.Соловьёва

инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ АВТОМАТОВ-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

по курсу: ТЕОРИЯ АВТОМАТОВ

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. №

4143

подпись, дата

Е.Д.Тегай

инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2023

Цель работы

Изучение основ канонического метода структурного синтеза конечных автоматов; получение навыков построения структурных схем конечных автоматов.

Задание по работе

Требуется выполнить структурный синтез автомата (для нечетных вариантов – модели Мили, для четных – модели Мура), построенного при выполнении лабораторной работы 5 с использованием триггеров и логических элементов, тип которых указан в разделе «Варианты заданий».

Проверку корректности работы спроектированной функциональной схемы автомата необходимо провести в пакете *Quartus*.

Порядок выполнения работы

Выполнение работы состоит из двух частей: структурного синтеза автомата и проверки корректности спроектированной функциональной схемы путем моделирования в пакете *Quartus*.

При выполнении структурного синтеза автомата необходимо

- 1) Последовательно выполнить пункты методики, описанной в разделах 1.1 и 1.2;
- 2) Составить структурные аналоги автоматных лент для каждого из слов оператора соответствия для проведения моделирования.

Пример автоматной ленты для СТПВ, приведенной в табл. 1, представлен ниже.

Входной символ	z_1	z_2	z_1	z_3	z_2	z_3	z_2	z_3	z_1
Состояние	a_0	a_1	a_1	a_0	a_3	a_1	a_0	a_0	a_3
Выходной символ	w_3	w_2	w_1	w_1	w_1	w_2	w_2	w_1	w_1

Входной символ	z_2	z_3	z_3	z_1	z_1	z_3	z_3	z_3	
Состояние	a_2	a_2	a_0	a_3	a_2	a_1	a_0	a_3	a_0
Выходной символ	w_2	w_3	w_1	w_1	w_1	w_2	w_1	w_1	

Структурный аналог этой автоматной ленты в соответствии с табл. 2-4 будет иметь следующий вид.

Входной символ (x_2x_1)	00	01	00	10	01	10	01	10	00
Состояние (Q_2Q_1)	00	01	01	00	11	01	00	00	11
Выходной символ (y_2y_1)	10	01	00	00	00	01	01	00	00

Входной символ (x_2x_1)	01	10	10	00	00	10	10	10	
Состояние (Q_2Q_1)	10	10	00	11	10	01	00	11	00
Выходной символ (y_2y_1)	01	10	00	00	00	01	00	00	

При выполнении работы в пакете *Quartus* необходимо выполнить следующие действия.

- 1) Создать проект и построить схему автомата, полученную в результате структурного синтеза, на логических элементах заданного базиса и триггерах (рекомендуется использовать триггеры из библиотеки *primitives/storage: jkff* для JK-триггеров и Т-триггеров, *dff* для D-триггеров);
- 2) Провести компиляцию проекта;
- 3) Создать файл временных диаграмм, задать входные сигналы в соответствии с построенной автоматной лентой (см. рекомендации ниже);
- 4) провести функциональное моделирование и сравнить результат с автоматной лентой.

Ниже приведены рекомендации по подготовке и проверке временных диаграмм.

Целесообразно установить длительность одного такта (*Grid Size*) равную 5 ns. Тогда время моделирования *End Time* следует установить равным $5 \times$ (число столбцов в автоматной ленте). Для приведенного выше примера $End Time = 5 \times 18 = 90 ns$. Из первой строки структурной автоматной ленты следует, что временные диаграммы входных сигналов должны иметь вид:

x_2 : 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1;

x_1 : 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0.

Для установки значений входных сигналов в поле *Name* нужно выделить имя x_2 и на панели слева выбрать пиктограмму 0. Затем в строке x_2 нужно выделить нужные интервалы с помощью клавиши *CTRL* и установить

значение 1. Аналогично формируется временная диаграмма для сигнала x_1 . Для удобства проверки входные сигналы можно объединить в шину.

Временная диаграмма синхросигналов формируется с помощью пиктограммы с изображением часов. В появившемся окне необходимо установить длительность синхроимпульса (*Period*) равную длительности такта (*Grid Size*), в нашем случае это 5 ns .

Проверка правильности работы автомата по временным диаграммам осуществляется на основе автоматной ленты. Последовательности значений выходных сигналов на диаграмме и на ленте должны совпадать.

Внимание! Моменты регистрации выходных сигналов в каждом машинном такте различны для автомата модели Мили и для автомата модели Мура.

Триггеры из библиотеки *primitives* в *Quartus* срабатывают по переднему фронту, поэтому в автомате модели Мили выходные сигналы должны регистрироваться до переднего фронта синхросигнала (когда синхросигнал равен нулю). Это связано с тем, что выходной сигнал автомата Мили зависит от исходного состояния автомата и входного сигнала.

В автомате модели Мура выходные сигналы должны регистрироваться после переднего фронта синхросигнала, так как они зависят только от состояния перехода.

Индивидуальное задание

Формулировка индивидуального задания изображена на рисунке 1.

48	D	И-НЕ
----	---	------

Рисунок 1 – Индивидуальное задание

Оператор соответствия в автоматном виде показан на рисунке 2.

ВХОДНЫЕ СЛОВА				ВЫХОДНЫЕ СЛОВА			
0	0	0	α	β	0	0	1
0	1	1	α	β	1	0	1
1	0	1	α α	β β	0	0	0
0	0	1	α	β	0	1	1
1	0	0	α α	β β	1	1	0
1	1	1	α	β	0	0	1

Рисунок 2 – Оператор соответствия в автоматном виде

ОТП минимального автомата Мура, полученная в лабораторной работе №5, показана на рисунке 3.

	1	0	β	β	0	1	β	0
	$c_{0'}$	$c_{0''}$	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
0	c_1	c_1	c_3	c_5	c_3	-	c_4	-
1	c_2	c_2	c_4	c_6	c_4	c_3	$c_{0''}$	c_3
α	$c_{0''}$	$c_{0''}$	-	-	$c_{0'}$	$c_{0'}$	-	-

Рисунок 3 – Таблица минимального автомата Мура

Структурный синтез конечного автомата Мура

Этап 1. Кодирование входных символов, выходных символов и состояний.

Определим количество структурных входных каналов, структурных выходных каналов и элементарных автоматов (триггеров) для хранения состояний структурного автомата. Для рассматриваемого автомата:

$$F = 3 (0, 1, \alpha); G = 3 (0, 1, \beta); M + 1 = 8 (c_{0'}, c_{0''}, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6).$$

На основании формул (1) – (3), приведённых ниже на рисунке 4, устанавливаем, что структурный автомат должен иметь 2 входных канала, 2 выходных канала и содержать 3 триггера.

$$L = \lceil \log_2 F \rceil, \quad (1)$$

$$N = \lceil \log_2 G \rceil, \quad (2)$$

$$P = \lceil \log_2 (M+1) \rceil. \quad (3)$$

Рисунок 4 – Используемые формулы

Пусть x_2, x_1 – переменные, связанные со входами автомата, y_2, y_1 – переменные, связанные с выходами автомата, а Q_3, Q_2, Q_1 – выходные сигналы триггеров.

Закодируем данные, выходные символы и состояния абстрактного автомата их структурными эквивалентами. Это показано в таблицах 1 – 3.

Таблица 1

	x_2	x_1
0	0	0
1	0	1
α	1	0

Таблица 2

	y_2	y_1
0	0	0
1	0	1
β	1	0

Таблица 3

	Q_3	Q_2	Q_1
$c_{0'}$	0	0	0
$c_{0''}$	0	0	1
c_1	0	1	0
c_2	0	1	1
c_3	1	0	0
c_4	1	0	1
c_5	1	1	0
c_6	1	1	1

Построение КС1

Этап 2. Формирование кодированной таблицы переходов структурного автомата (КТП).

КТП формируется из таблицы переходов (ТП) исходного автомата заменой в ТП абстрактных символов их структурными эквивалентами из таблиц 1 – 3. ТП автомата Мура образуется, если из клеток ОТП исходного автомата исключить выходные символы.

Полученный результат продемонстрирован в таблице 4.

Таблица 4

	1	0	β	β	0	1	β	0
	$c_{0'}$	$c_{0''}$	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
0	c_1	c_1	c_3	c_5	c_3	-	c_4	-
1	c_2	c_2	c_4	c_6	c_4	c_3	$c_{0''}$	c_3
α	$c_{0''}$	$c_{0''}$	-	-	$c_{0'}$	$c_{0'}$	-	-

КТП, полученная в соответствии с таблицами 1, 3 и 4, представлена в таблице 5.

Таблица 5

$Q_3Q_2Q_1 \backslash x_2x_1$	000	001	010	011	100	101	110	111
00	010	010	100	110	100	-	101	-
01	011	011	101	111	101	100	001	100
10	001	001	-	-	000	000	-	-

Этап 3. Формирование кодированной таблицы функций возбуждения структурного автомата (КТФВ).

На данном этапе укажем тип используемых триггеров – D - триггер. Рисунок 5 соответственно представляет собой таблицу переходов этих триггеров.

$Q \backslash D$	0	1
0	0	0
1	1	1

Рисунок 5 – Таблица переходов D – триггера

КТФВ автомата строится на основе его КТП, показанной в таблице 5. В заголовках столбцов КТП указаны выходные сигналы триггеров, определяющие исходное состояние автомата, то есть $Q_3(t)$, $Q_2(t)$, $Q_1(t)$, а в клетках КТП содержатся выходные сигналы триггеров, определяющие состояние перехода, то есть $Q_3(t+1)$, $Q_2(t+1)$, $Q_1(t+1)$.

Анализ любого столбца КТП показывает, что переход автомата из состояния в состояние осуществляется путем переключения триггеров. Рассмотрим, например, столбец с заголовком $Q_3(t)Q_2(t)Q_1(t) = 000$. Первый элемент этого столбца: $Q_3(t+1)Q_2(t+1)Q_1(t+1) = 010$. Это означает, что при переходе автомата из состояния 000 в состояние 010 1 и 3 триггеры не изменили свои состояния, а 2 триггер переключился в противоположное состояние.

Для каждого вида переключения триггера (из 0 в 0, из 0 в 1, из 1 в 0 и из 1 в 1) имеется набор функций возбуждения (входных сигналов триггера),

обеспечивающий необходимое переключение. Кодированная таблица функций возбуждения строится из КТП путем замены в клетках этой таблицы сигналов состояния перехода соответствующими входными сигналами триггеров, которые обеспечивают переход в это состояние из состояния, находящегося в заголовке столбца.

Для определения значений ФВ, обеспечивающих нужный переход, используется дополнительная таблица 6, которую нетрудно вывести из таблицы переходов триггеров указанного типа, изображённой на рисунке 5.

Таблица 6

$Q(t)$	$Q(t + 1)$	D - триггер
		$D(t)$
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Для рассматриваемого варианта построим КТФВ, изображённую в таблице 7, по КТП, показанную в таблице 5, используя таблицу 6.

Таблица 7

$Q_3 Q_2 Q_1$ $x_2 x_1$	000			001			010			011			100			101			110			111		
	D_3	D_2	D_1	D_3	D_2	D_1	D_3	D_2	D_1	D_3	D_2	D_1	D_3	D_2	D_1	D_3	D_2	D_1	D_3	D_2	D_1	D_3	D_2	D_1
00	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	-	-	-	1	0	1	-	-	-
01	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
10	0	0	1	0	0	1	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-

Этап 4. Построение диаграмм Вейча и логических выражений (ЛВ) для функций возбуждения, представление ЛВ в заданном базисе, построение КС1.

КТФВ следует рассматривать как двумерную таблицу истинности для функций возбуждения. В рассматриваемом варианте D_3 , D_2 , D_1 являются булевыми функциями от 5 аргументов: $Q_3(t)$, $Q_2(t)$, $Q_1(t)$, $x_2(t)$, $x_1(t)$ (в дальнейшем аргумент t может быть опущен при записи ЛВ). Для каждой

функции возбуждения строится диаграмма Вейча, из которой выписывается минимальное выражение для функции.

Диаграммы Вейча и выписанные по ним функции возбуждения приведены на рисунке 6.

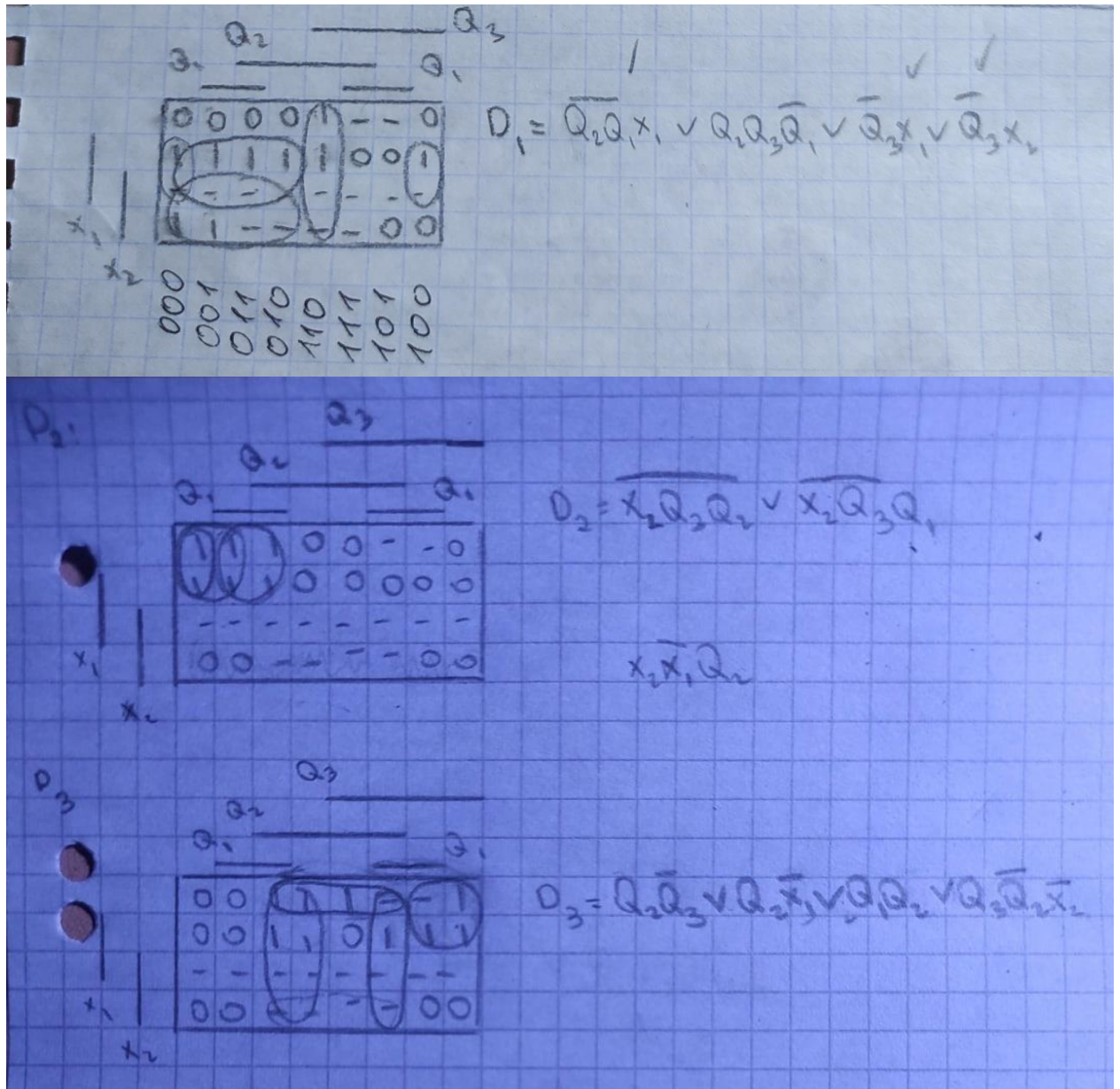


Рисунок 6 - Диаграммы Вейча и выписанные по ним функции возбуждения

Полученные функции необходимо перевести в требуемый базис И-НЕ. КС1 составляется как совокупность схем для функций D_3 , D_2 и D_1 . Результат показан на рисунке 7.

$$D_1 = \overline{Q_2 Q_1 x_1} \wedge \overline{Q_2 Q_3 \overline{Q_1}} \wedge \overline{Q_3 x_1} \wedge \overline{Q_3 x_2}$$

$$D_2 = \overline{x_2 Q_3 Q_2} \wedge \overline{x_2 Q_3 Q_1}$$

$$D_3 = \overline{Q_2 \overline{Q_3}} \wedge \overline{Q_2 x_1} \wedge \overline{Q_1 Q_2} \wedge \overline{Q_3 Q_2 x_2}$$

Рисунок 7 – Переведённые функции к базису И-НЕ

Построение КС2

Этап 5. Построение кодированной таблицы выходов.

КТВ формируется из ТВ исходного автомата заменой в ТВ абстрактных символов их структурными эквивалентами (таблицы 1 – 3). ТВ приведена в таблице 8.

Таблица 8

1	0	β	β	0	1	β	0
$c_{0'}$	$c_{0''}$	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6

В таблице 9 представлена кодированная таблица выходов.

Таблица 9

$y_2 y_1$	01	00	10	10	00	01	10	00
$Q_3 Q_2 Q_1$	000	001	010	011	100	101	110	111

Этап 6. Построение диаграмм Вейча и логических выражений для выходных сигналов, представление ЛВ в заданном базисе, построение КС2.

На этом этапе необходимо построить две диаграммы Вейча для y_2 , y_1 . Результат показан на рисунке 8.

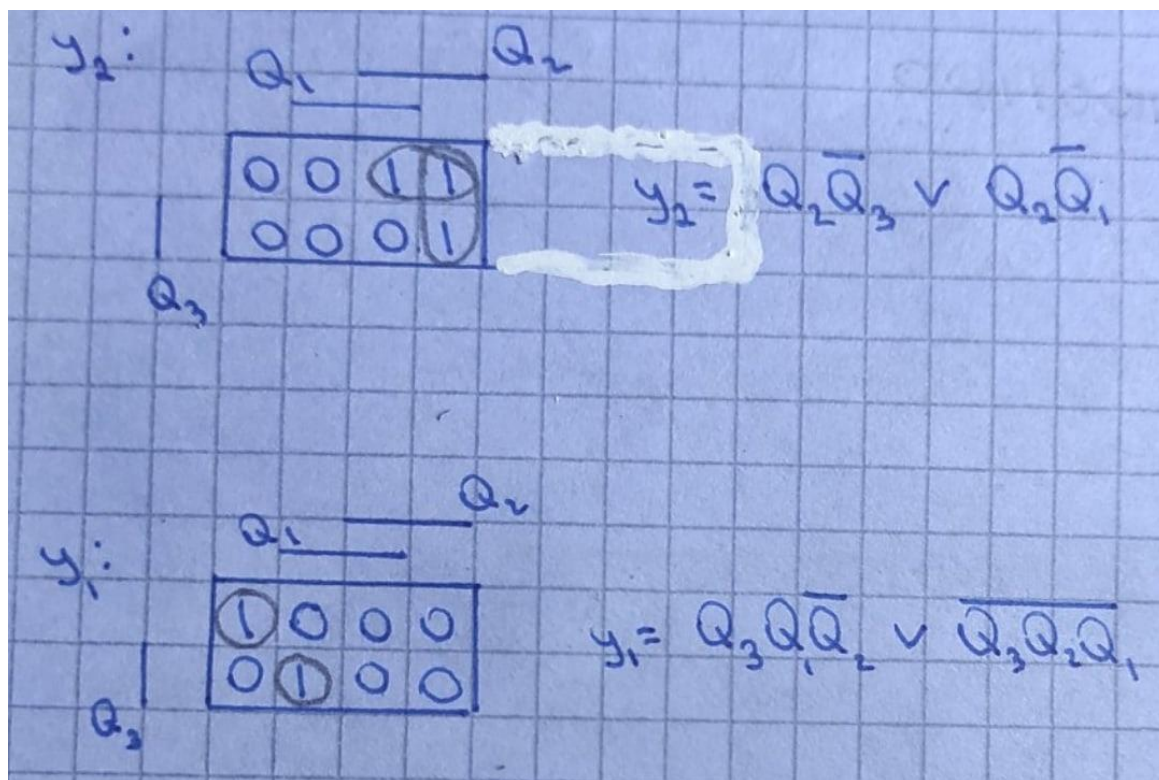


Рисунок 8 - Диаграммы Вейча для выходных сигналов автомата Мура

Полученные логические выражения необходимо перевести в требуемый базис И-НЕ и построить схемы. КС2 составляется как совокупность логических схем для функций y_2 , y_1 . Результат показан на рисунке 9.

$$y_2 = \overline{\overline{Q_2 Q_3} \wedge \overline{Q_2 Q_1}}$$

$$y_1 = \overline{\overline{Q_3 Q_1 \bar{Q}_2} \wedge \overline{Q_3 Q_2 Q_1}}$$

Рисунок 9 – Приведенные функции к базису И-НЕ

Моделирование работы структурного автомата

Результаты построения каждой функции отдельно и вид автомата в полном виде продемонстрированы на рисунках 10 - 14.

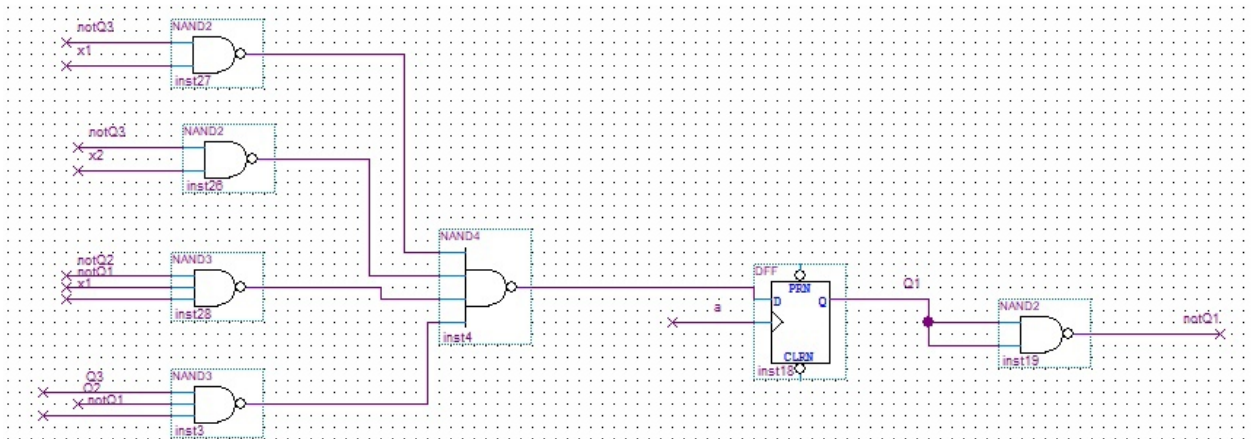


Рисунок 10 – KC1 для D₁

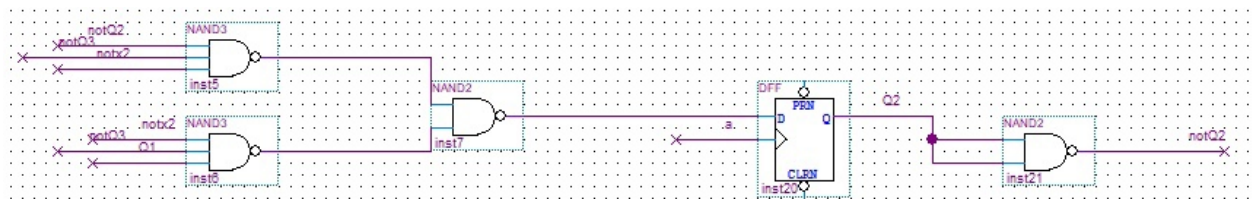


Рисунок 11 – KC1 для D₂

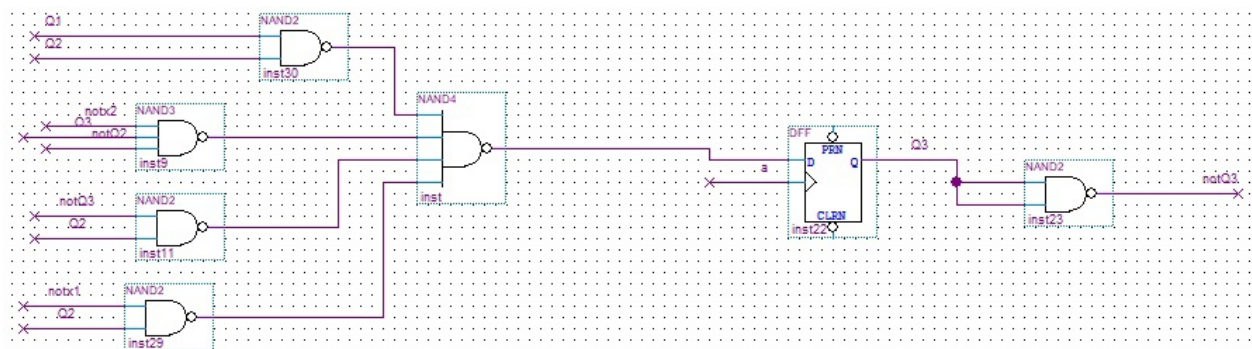


Рисунок 12 – KC1 для D₃

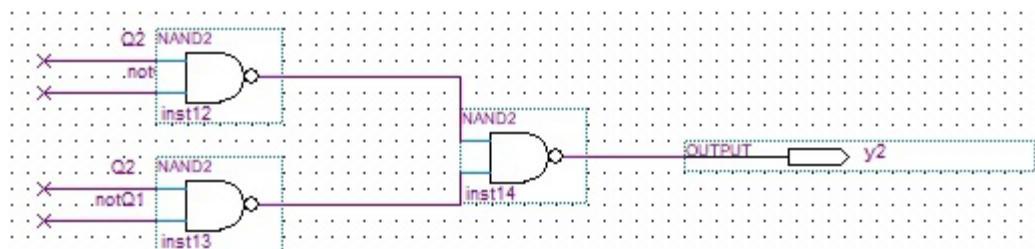


Рисунок 13 – KC2 для y₂

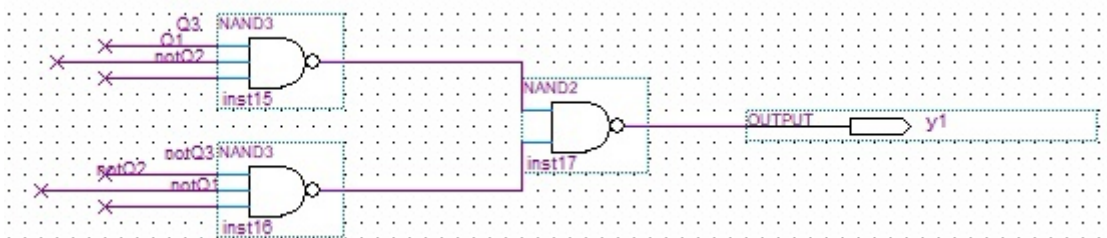


Рисунок 14 – КС2 для y_1

Автоматные ленты для проверки работы автомата показаны на рисунке 15.

Входной символ	0	0	0	a	
Состояние	c0''	c1	c3	c3	c0'
Выходной символ	b	0	0	1	

Входной символ	0	1	1	a	
Состояние	c0''	c1	c4	c3	c0'
Выходной символ	b	1	0	1	

Входной символ	1	0	1	a	a
Состояние	c0''	c2	c5	c0''	c0''
Выходной символ	b	b	0	0	0

Входной символ	0	0	1	a	
Состояние	c0''	c1	c3	c4	c0'
Выходной символ	b	0	1	1	

Входной символ	1	0	0	a	a
Состояние	c0''	c2	c5	c4	c0''
Выходной символ	b	b	1	1	0

Входной символ	1	1	1	a	
Состояние	c0''	c2	c6	c3	c0'
Выходной символ	b	0	0	1	

Входной символ	00	00	00	10	
Состояние	001	010	100	100	000
Выходной символ	10	00	00	10	

Входной символ	00	01	01	10	
Состояние	001	010	101	100	000
Выходной символ	10	01	00	01	

Входной символ	01	00	01	10	10'10
Состояние	001	011	110	001	001
Выходной символ	10	10	00	00	00

Входной символ	00	00	01	10	
Состояние	001	010	100	101	000
Выходной символ	10	00	01	01	

Входной символ	01	00	00	10	10
Состояние	001	011	110	101	000
Выходной символ	10	10	01	01	00

Входной символ	01	01	01	10	
Состояние	001	011	111	100	000
Выходной символ	10	00	00	01	

Рисунок 15 - Автоматные ленты для проверки работы автомата

Схема структурного автомата, построенная в QUARTUS, изображена на рисунках 16 – 17.

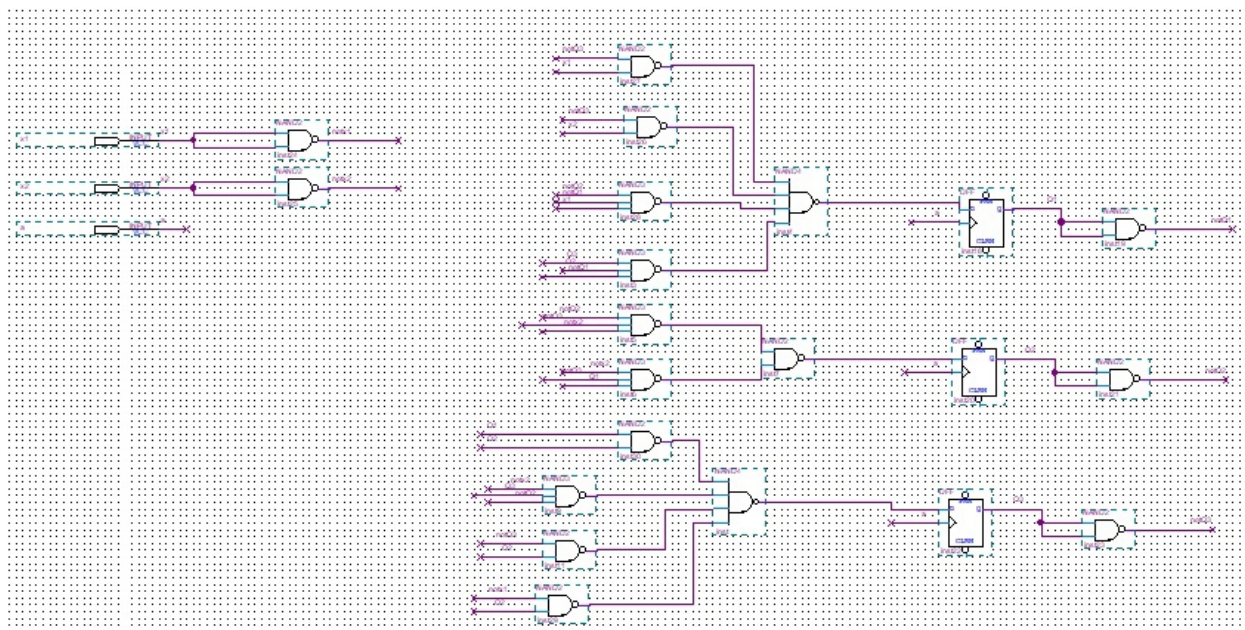


Рисунок 16 – Схема структурного автомата

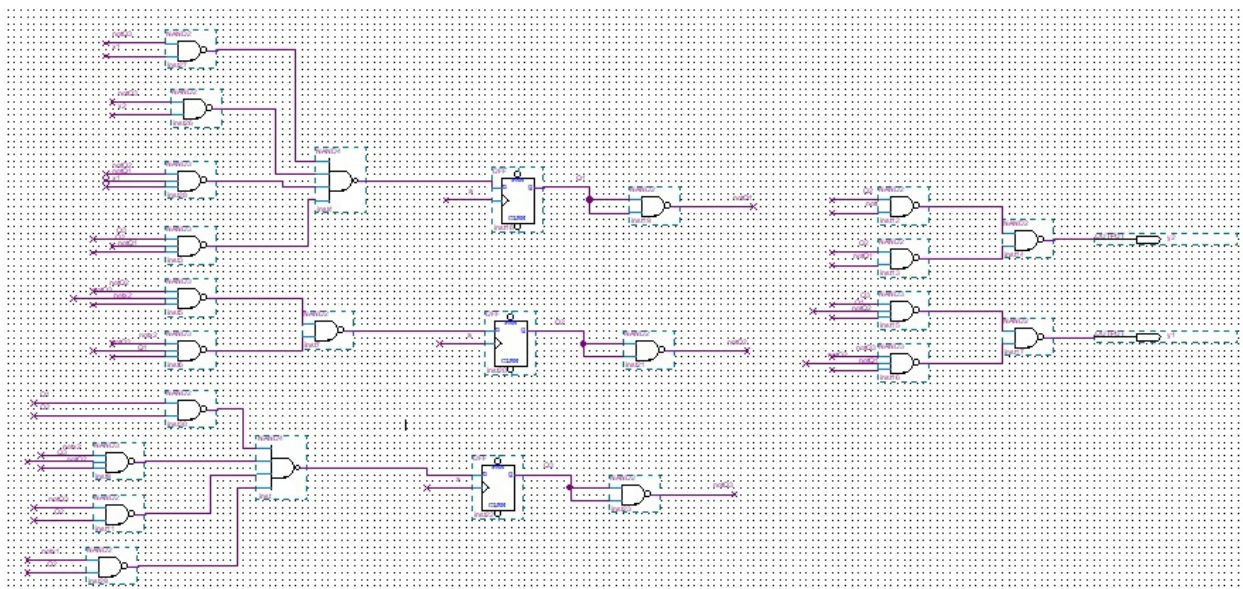


Рисунок 17 – Схема структурного автомата

На рисунках 18 - 23 изображены скриншоты временных диаграмм с результатами моделирования автоматной ленты.

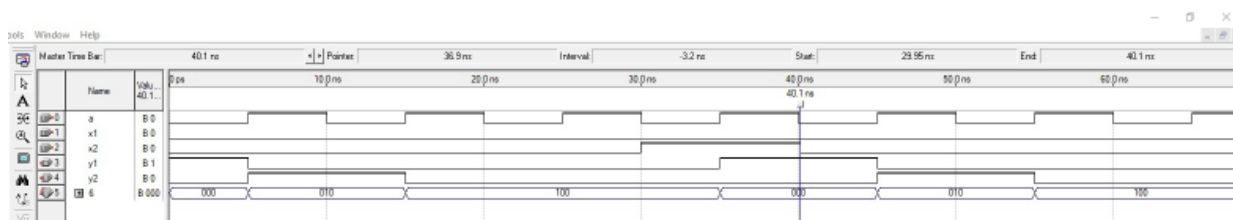


Рисунок 18 – Временная диаграмма с результатами моделирования автоматной ленты

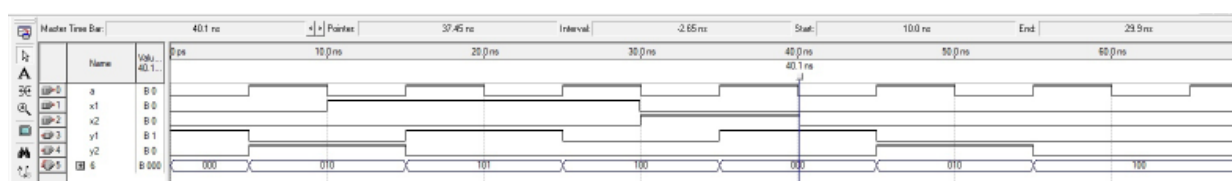


Рисунок 19 – Временная диаграмма с результатами моделирования автоматной ленты



Рисунок 20 – Временная диаграмма с результатами моделирования автоматной ленты

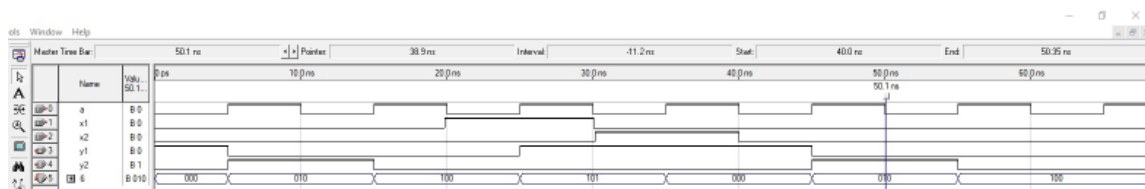


Рисунок 21 – Временная диаграмма с результатами моделирования автоматной ленты

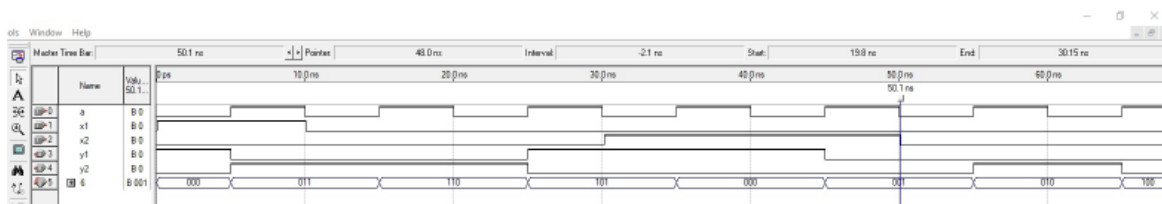


Рисунок 22 – Временная диаграмма с результатами моделирования автоматной ленты

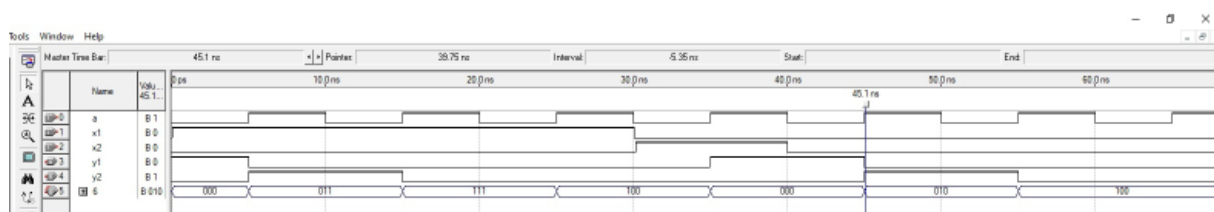


Рисунок 23 – Временная диаграмма с результатами моделирования автоматной ленты

Вывод

В результате выполнения работы произведен структурный синтез автомата модели Мура. Автомат имеет 3 структурных входа и 2 структурных выхода. Для реализации автомата потребовалось 3 триггера типа D и 24 элементов И-НЕ. Моделирование работы структурного автомата произведено в пакете QUARTUS. Изучен канонический метод структурного синтеза конечных автоматов; получены навыки построения структурных схем конечных автоматов.