

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛГОРОДСКИЙ**  
**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В. Г.**  
**ШУХОВА»**

Кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных  
систем

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**Дисциплина: «Теория цифровых автоматов»**

**Тема: «Синтез цифровых автоматов по граф-схемам алгоритмов»**

Выполнил: ст. группы ВТ-31  
Подкопаев Антон Валерьевич  
Проверил: доцент ПО и ВТАС  
Рязанов Юрий Дмитриевич

**Белгород 2020**

# Содержание

Содержание .....	2
Задание к работе .....	3
Ход работы.....	4
<b>Получение диаграммы и графа ГСА, отметка по схемам Мили и Мура, кодирование состояний и выходов автоматов .....</b>	<b>4</b>
<b>Автомат Мура .....</b>	<b>4</b>
<b>Автомат Мили.....</b>	<b>5</b>
<b>Синтез комбинационной схемы автомата Мили на D-триггерах .....</b>	<b>6</b>
<b>Синтез комбинационной схемы автомата Мили на Т-триггерах .....</b>	<b>8</b>
<b>Синтез комбинационной схемы автомата Мура на D-триггерах.....</b>	<b>10</b>
<b>Синтез комбинационной схемы автомата Мура на Т-триггерах .....</b>	<b>14</b>
<b>Построение схемы минимального автомата .....</b>	<b>18</b>
<b>Реализация программы, моделирующей минимальную схему автомата .....</b>	<b>19</b>
<b>Нахождение тестового набора входных сигналов.....</b>	<b>19</b>
<b>Обработка полученной последовательности программой .....</b>	<b>19</b>
Вывод.....	20
Список литературы.....	20
<i>Приложение .....</i>	<i>21</i>

## Задание к работе

**Дано:** граф-схема алгоритма (ГСА) в табличной форме (см. варианты заданий).

1. Представить ГСА в виде диаграммы.
2. Выполнить отметку ГСА по схемам Мили и Мура и построить соответствующие автоматы. Автоматы представить в табличном и графовом виде.
3. Выполнить кодирование состояний автоматов.
4. Получить функции выходов и возбуждения триггеров для построения логической схемы автомата Мили на D-триггерах и элементах И, ИЛИ, НЕ. Выполнить минимизацию функций и применить факторизационный метод синтеза комбинационной схемы.
5. Получить функции выходов и возбуждения триггеров для построения логической схемы автомата Мили на T-триггерах и элементах И, ИЛИ, НЕ. Выполнить минимизацию функций и применить факторизационный метод синтеза комбинационной схемы.
6. Получить функции выходов и возбуждения триггеров для построения логической схемы автомата Мура на D-триггерах и элементах И, ИЛИ, НЕ. Выполнить минимизацию функций и применить факторизационный метод синтеза комбинационной схемы.
7. Получить функции выходов и возбуждения триггеров для построения логической схемы автомата Мура на T-триггерах и элементах И, ИЛИ, НЕ. Выполнить минимизацию функций и применить факторизационный метод синтеза комбинационной схемы.
8. Выбрать схему автомата минимальной сложности (по Квайну).
9. Написать программу моделирования выбранной схемы автомата. На входе - последовательность наборов входных сигналов, на выходе - последовательность состояний триггеров и значений сигналов на выходе.
10. Найти последовательность наборов входных сигналов, при обработке которой каждый триггер изменит своё состояние с нуля в единицу и с единицы в ноль хотя бы один раз и, аналогично, произойдут изменения сигналов на каждом выходе.
11. Обработать полученную последовательность программой п.9.

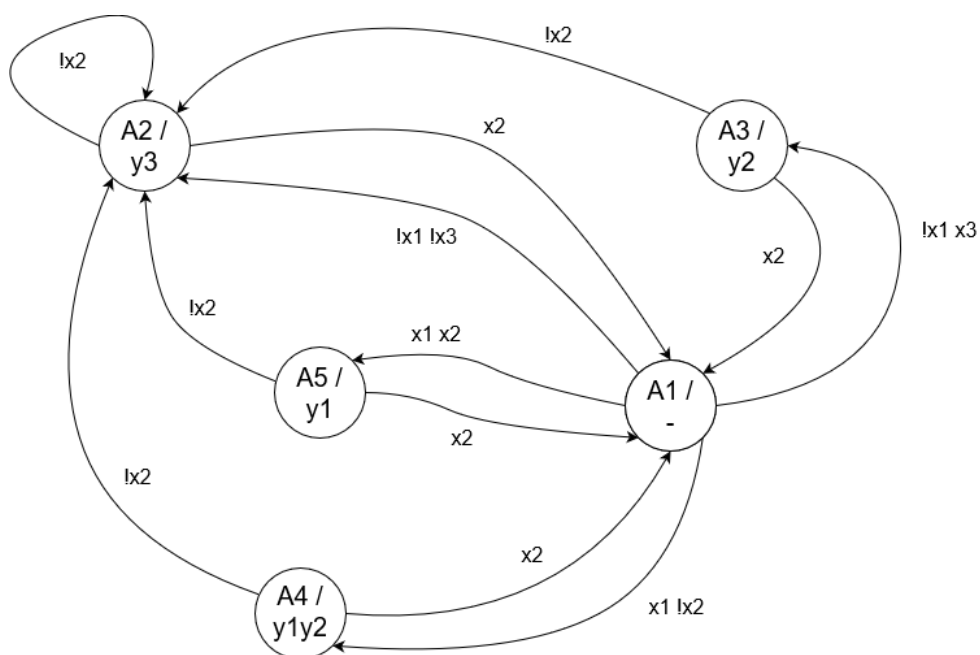
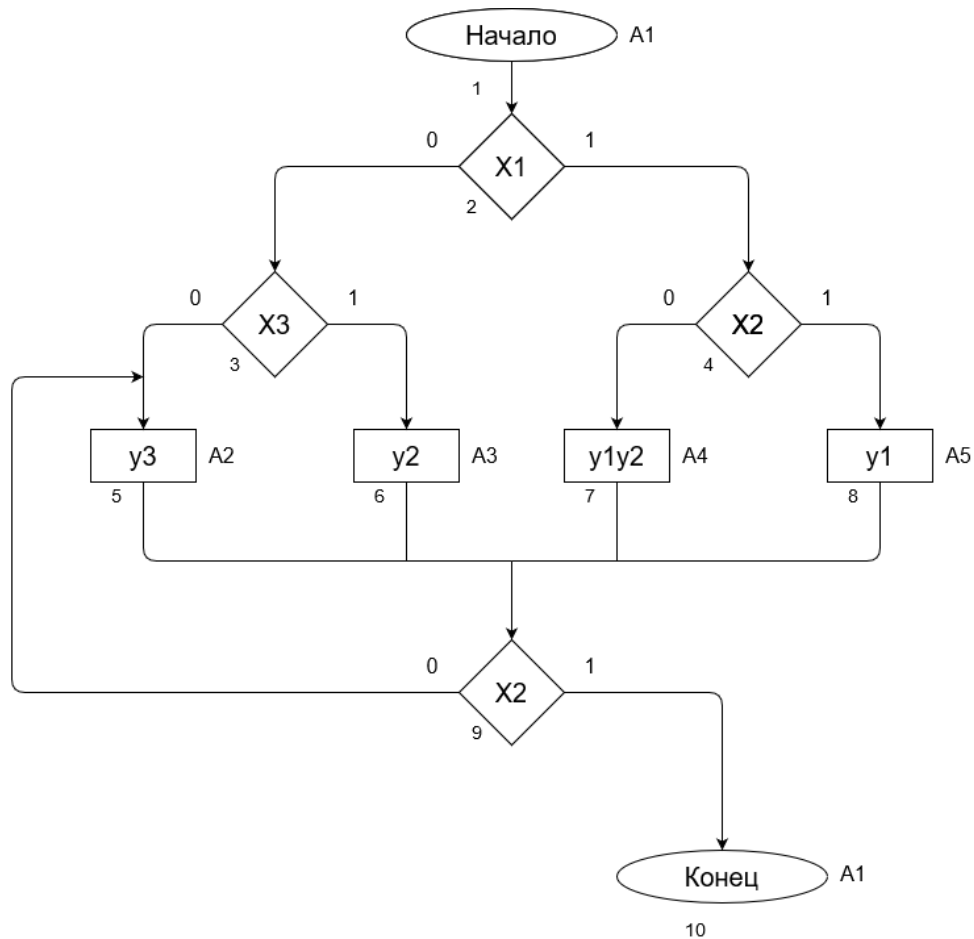
### Вариант 9

Номер	Тип вершины	Переход по "0"	Переход по "1"	Содержимое
1	Начало	2	2	
2	Условие	3	4	x1
3	Условие	5	6	x3
4	Условие	7	8	x2
5	Действие	9	9	y3
6	Действие	9	9	y2
7	Действие	9	9	y1y2
8	Действие	9	9	y1
9	Условие	5	10	x2
10	Конец			

## Ход работы

### Получение диаграммы и графа ГСА, отметка по схемам Мили и Мура, кодирование состояний и выходов автоматов

#### Автомат Мура

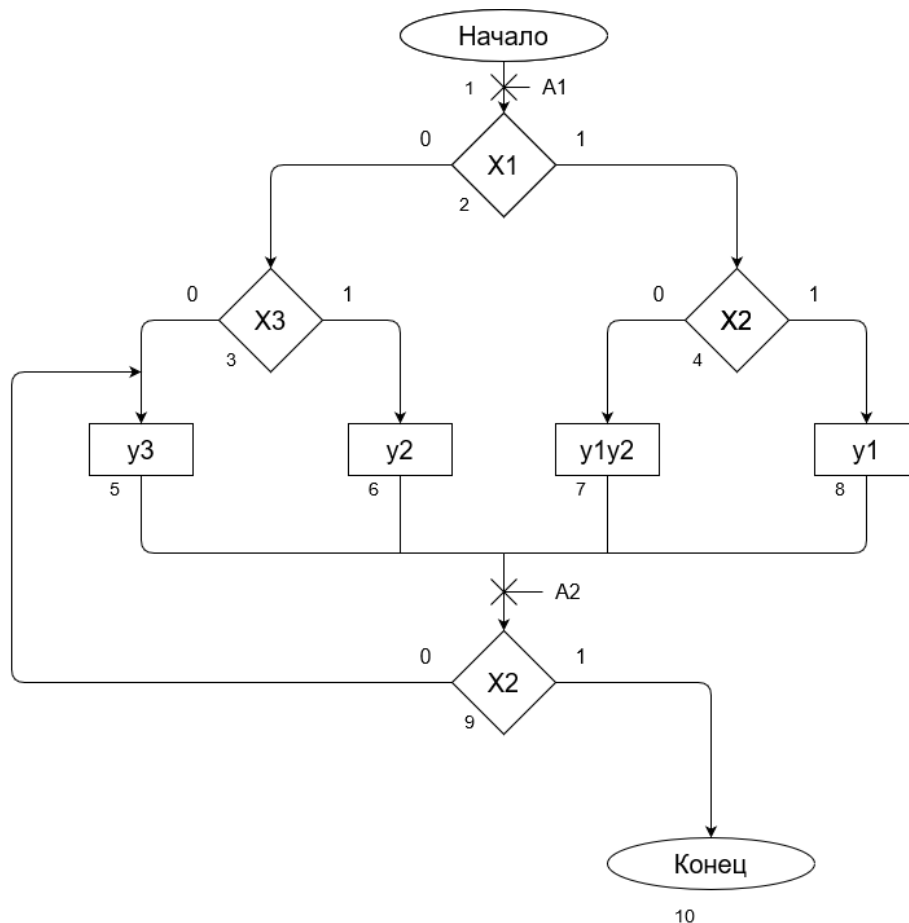


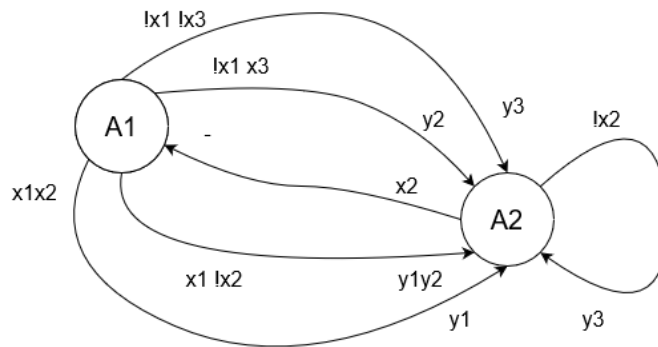
Текущее состояние	Состояние перехода	Входной сигнал	Выход Мура
000	001	!x1 !x3	000
	010	!x1 x3	
	011	x1 !x2	
	100	x1 x2	
001	000	x2	001
	001	!x2	
010	000	x2	010
	001	!x2	
011	000	x2	110
	001	!x2	
100	000	x2	100
	001	!x2	

Состояния	
A1	000
A2	001
A3	010
A4	011
A5	100

Выходы Мура			
-	0	0	0
y3	0	0	1
y2	0	1	0
y1y2	1	1	0
y1	1	0	0
	y1	y2	y3

### Автомат Мили





Текущее состояние	Состояние перехода	Входной сигнал	Выход Мили
0	1	!x1 !x3	y3
	1	!x1 x3	y2
	1	x1 !x2	y1y2
	1	x1 x2	y1
1	0	x2	-
	1	!x2	y3

Состояния	
A1	0
A2	1

Выходы Мили			
-	0	0	0
y3	0	0	1
y2	0	1	0
y1y2	1	1	0
y1	1	0	0
	y1	y2	y3

## Синтез комбинационной схемы автомата Мили на D-триггерах

Синтез автомата на D-триггерах:

Функции выхода:

$$\begin{aligned}
 y1 &= !t1 \ x1 !x2 \ \vee \ !t1 \ x1 \ x2 \\
 y2 &= !t1 !x1 \ x3 \ \vee \ !t1 \ x1 !x2 \\
 y3 &= !t1 !x1 !x3 \ \vee \ t1 !x2
 \end{aligned}$$

Функции возбуждения:

$$f1 = !t1 !x1 !x3 \ \vee \ !t1 !x1 \ x3 \ \vee \ !t1 \ x1 !x2 \ \vee \ !t1 \ x1 \ x2 \ \vee \ t1 !x2$$

СДНФ функций:

$$\begin{aligned}
 y1 &= !t1 \ x1 !x2 \ x3 \ \vee \ !t1 \ x1 !x2 !x3 \ \vee \ !t1 \ x1 \ x2 \ x3 \ \vee \ !t1 \ x1 \ x2 !x3 \\
 y2 &= !t1 !x1 \ x2 \ x3 \ \vee \ !t1 !x1 !x2 \ x3 \ \vee \ !t1 \ x1 !x2 \ x3 \ \vee \ !t1 \ x1 !x2 !x3 \\
 y3 &= !t1 !x1 \ x2 !x3 \ \vee \ !t1 !x1 !x2 !x3 \ \vee \ t1 \ x1 !x2 \ x3 \ \vee \ t1 !x1 !x2 \ x3 \ \vee \ t1 \ x1 !x2 !x3 \\
 &\quad \vee \ t1 !x1 !x2 !x3
 \end{aligned}$$

$$f1 = !t1!x1x2!x3 \vee !t1!x1!x2!x3 \vee !t1!x1x2x3 \vee !t1!x1!x2x3 \\ \vee !t1x1!x2x3 \vee !t1x1!x2!x3 \vee !t1x1x2x3 \vee !t1x1x2!x3 \\ \vee t1x1!x2x3 \vee t1!x1!x2x3 \vee t1x1!x2!x3 \vee t1!x1!x2!x3$$

Минимизация функций:

для  $y1$ :

<b>01--</b>	+	+	+	+
	0101	0100	0111	0110

$$y1 = !t1x1$$

для  $y2$ :

<b>00-1</b>	+	+		
<b>0-01</b>		+	+	
<b>010-</b>			+	+
	0011	0001	0101	0100

$$y2 = !t1!x1x3 \vee !t1x1!x2$$

для  $y3$ :

<b>00-0</b>	+	+				
<b>-000</b>		+				+
<b>1-0-</b>			+	+	+	
	0010	0000	1101	1001	1100	1000

$$y3 = !t1!x1!x3 \vee !x1!x2!x3 \vee t1!x2$$

для  $f1$ :

<b>0---</b>	+	+	+	+	+	+	+	+				
<b>--0-</b>		+		+	+	+			+	+	+	+
	0010	0000	0011	0001	0101	0100	0111	0110	1101	1001	1100	1000

$$f1 = !t1 \vee !x2$$

Факторизация системы:

$$u1 = !t1x1 \quad u2 = !t1!x1x3 \quad u3 = !t1x1!x2 \quad u4 = !t1!x1!x3 \\ u5 = !x1!x2!x3 \quad u6 = t1!x2 \quad u7 = !t1 \quad u8 = !x2$$

Факторизуем на элементах И:

	t1	!t1	x1	!x1	x2	!x2	x3	!x3	z1	z2	z3
u1		1	1								
u2		1-1		1-1			1		1		
u3		1	1-2			1-2				1	
u4		1-1		1-1				1	1		
u5				1-3		1		1-3			1
u6	1					1					
u7		1									
u8						1					
z1		1		1							
z2			1			1					
z3				1				1			

Факторизуем на элементах ИЛИ:

	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8	v1
y1	1								
y2		1	1						
y3				1	1-1	1-1			1
f1							1	1	
v1					1	1			

Сложность по Квайну:  $20 + 8 + 4 = 32$

## Синтез комбинационной схемы автомата Мили на Т-триггерах

Синтез автомата на Т-триггерах:

Функции выхода:

$$\begin{aligned} y1 &= !t1 x1 !x2 \vee !t1 x1 x2 \\ y2 &= !t1 !x1 x3 \vee !t1 x1 !x2 \\ y3 &= !t1 !x1 !x3 \vee t1 !x2 \end{aligned}$$

Функции возбуждения:

$$f1 = !t1 !x1 !x3 \vee !t1 !x1 x3 \vee !t1 x1 !x2 \vee !t1 x1 x2 \vee t1 x2$$

СДНФ функций:

$$\begin{aligned} y1 &= !t1 x1 !x2 x3 \vee !t1 x1 !x2 !x3 \vee !t1 x1 x2 x3 \vee !t1 x1 x2 !x3 \\ y2 &= !t1 !x1 x2 x3 \vee !t1 !x1 !x2 x3 \vee !t1 x1 !x2 x3 \vee !t1 x1 !x2 !x3 \\ y3 &= !t1 !x1 x2 !x3 \vee !t1 !x1 !x2 !x3 \vee t1 x1 !x2 x3 \vee t1 !x1 !x2 x3 \vee t1 x1 !x2 !x3 \\ &\quad \vee t1 !x1 !x2 !x3 \end{aligned}$$



$$f1 = !t1!x1x2!x3 \vee !t1!x1!x2!x3 \vee !t1!x1x2x3 \vee !t1!x1!x2x3 \\ \vee !t1x1!x2x3 \vee !t1x1!x2!x3 \vee !t1x1x2x3 \vee !t1x1x2!x3 \\ \vee t1x1x2x3 \vee t1!x1x2x3 \vee t1x1x2!x3 \vee t1!x1x2!x3$$

Минимизация функций:

для  $y1$ :

<b>01--</b>	+	+	+	+
	0101	0100	0111	0110

$$y1 = !t1x1$$

для  $y2$ :

<b>00-1</b>	+	+		
<b>0-01</b>		+	+	
<b>010-</b>			+	+
	0011	0001	0101	0100

$$y2 = !t1!x1x3 \vee !t1x1!x2$$

для  $y3$ :

<b>00-0</b>	+	+				
<b>-000</b>		+				+
<b>1-0-</b>			+	+	+	
	0010	0000	1101	1001	1100	1000

$$y3 = !t1!x1!x3 \vee !x1!x2!x3 \vee t1!x2$$

для  $f1$ :

<b>0---</b>	+	+	+	+	+	+	+	+				
<b>--1-</b>	+		+				+	+	+	+	+	+
	0010	0000	0011	0001	0101	0100	0111	0110	1111	1011	1110	1010

$$f1 = !t1 \vee x2$$

Факторизация системы:

$$\begin{array}{llll} u1 = !t1x1 & u2 = !t1!x1x3 & u3 = !t1x1!x2 & u4 = !t1!x1!x3 \\ u5 = !x1!x2!x3 & u6 = t1!x2 & u7 = !t1 & u8 = x2 \end{array}$$

Факторизуем на элементах И:

	t1	!t1	x1	!x1	x2	!x2	x3	!x3	z1	z2	z3
u1		1	1								
u2		1-1		1-1			1		1		
u3		1	1-2			1-2				1	
u4		1-1		1-1				1	1		
u5				1-3		1		1-3			1
u6	1					1					
u7		1									
u8					1						
z1		1		1							
z2			1			1					
z3				1				1			

Факторизуем на элементах ИЛИ:

	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8	v1
y1	1								
y2		1	1						
y3				1	1-1	1-1			1
f1							1	1	
v1					1	1			

Сложность по Квайну:  $20 + 8 + 4 = 32$

## Синтез комбинационной схемы автомата Мура на D-триггерах

Текущее состояние	Состояние перехода	Входной сигнал	Выход Мура
000	001	!x1 !x3	000
	010	!x1 x3	
	011	x1 !x2	
	100	x1 x2	
001	000	x2	001
	001	!x2	
010	000	x2	010
	001	!x2	
011	000	x2	110
	001	!x2	
100	000	x2	100
	001	!x2	

## Синтез автомата на D-триггерах:

Функции выхода:

$$y1 = !t1 \, t2 \, t3 \, x2 \vee !t1 \, t2 \, t3 !x2 \vee t1 !t2 !t3 \, x2 \vee t1 !t2 !t3 !x2$$

$$y2 = !t1 \, t2 !t3 \, x2 \vee !t1 \, t2 !t3 !x2 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x2 \vee !t1 \, t2 \, t3 !x2$$

$$y3 = !t1 !t2 \, t3 \, x2 \vee !t1 !t2 \, t3 !x2$$

Функции возбуждения:

$$f1 = !t1 !t2 !t3 \, x1 \, x2$$

$$f2 = !t1 !t2 !t3 !x1 \, x3 \vee !t1 !t2 !t3 \, x1 !x2$$

$$f3 = !t1 !t2 !t3 !x1 !x3 \vee !t1 !t2 !t3 \, x1 !x2 \vee !t1 !t2 \, t3 !x2 \vee !t1 \, t2 !t3 !x2 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 !x2 \vee t1 !t2 !t3 !x2$$

СДНФ функций:

$$y1 = !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 !x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, x2 !x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 !x1 \, x2 !x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 !x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 !x1 !x2 \, x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 !x2 !x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 !x1 !x2 !x3 \vee t1 !t2 !t3 \, x1 \, x2 \, x3 \\ \vee t1 !t2 !t3 !x1 \, x2 \, x3 \vee t1 !t2 !t3 \, x1 \, x2 !x3 \vee t1 !t2 !t3 !x1 \, x2 !x3 \\ \vee t1 !t2 !t3 \, x1 !x2 \, x3 \vee t1 !t2 !t3 !x1 !x2 \, x3 \vee t1 !t2 !t3 \, x1 !x2 !x3 \\ \vee t1 !t2 !t3 !x1 !x2 !x3$$

$$y2 = !t1 \, t2 !t3 \, x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 !t3 !x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 !t3 \, x1 \, x2 !x3 \\ \vee !t1 \, t2 !t3 !x1 \, x2 !x3 \vee !t1 \, t2 !t3 \, x1 !x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 !t3 !x1 !x2 \, x3 \\ \vee !t1 \, t2 !t3 \, x1 !x2 !x3 \vee !t1 \, t2 !t3 !x1 !x2 !x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, x2 \, x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 !x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, x2 !x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 !x1 \, x2 !x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 !x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 !x1 !x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 !x2 !x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 !x1 !x2 !x3$$

$$y3 = !t1 !t2 \, t3 \, x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 !t2 \, t3 !x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 !t2 \, t3 \, x1 \, x2 !x3 \\ \vee !t1 !t2 \, t3 !x1 \, x2 !x3 \vee !t1 !t2 \, t3 \, x1 !x2 \, x3 \vee !t1 !t2 \, t3 !x1 !x2 \, x3 \\ \vee !t1 !t2 \, t3 \, x1 !x2 !x3 \vee !t1 !t2 \, t3 !x1 !x2 !x3$$

$$f1 = !t1 !t2 !t3 \, x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 !t2 !t3 \, x1 \, x2 !x3$$

$$f2 = !t1 !t2 !t3 !x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 !t2 !t3 !x1 !x2 \, x3 \vee !t1 !t2 !t3 \, x1 !x2 \, x3 \\ \vee !t1 !t2 !t3 \, x1 !x2 !x3$$

$$f3 = !t1 !t2 !t3 !x1 \, x2 !x3 \vee !t1 !t2 !t3 !x1 !x2 !x3 \vee !t1 !t2 !t3 \, x1 !x2 \, x3 \\ \vee !t1 !t2 !t3 \, x1 !x2 !x3 \vee !t1 !t2 \, t3 \, x1 !x2 \, x3 \vee !t1 !t2 \, t3 !x1 !x2 \, x3 \\ \vee !t1 !t2 \, t3 \, x1 !x2 !x3 \vee !t1 !t2 \, t3 !x1 !x2 !x3 \vee !t1 \, t2 !t3 \, x1 !x2 \, x3 \\ \vee !t1 \, t2 !t3 !x1 !x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 !t3 \, x1 !x2 !x3 \vee !t1 \, t2 !t3 !x1 !x2 !x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 !x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 !x1 !x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 !x2 !x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 !x1 !x2 !x3 \vee t1 !t2 !t3 \, x1 !x2 \, x3 \vee t1 !t2 !t3 !x1 !x2 \, x3 \\ \vee t1 !t2 !t3 \, x1 !x2 !x3 \vee t1 !t2 !t3 !x1 !x2 !x3$$

Минимизация функций:

для  $y_1$ :

<b>100---</b>								
<b>011---</b>	+	+	+	+	+	+	+	+
	011111	011011	011110	011010	011101	011001	011100	011000

+	+	+	+	+	+	+	+	<b>100---</b>
								<b>011---</b>
100111	100011	100110	100010	100101	100001	100100	100000	

$$y_1 = t_1 !t_2 !t_3 \vee !t_1 t_2 t_3$$

для  $y_2$ :

<b>01----</b>	+	+	+	+	+	+	+	+
	010111	010011	010110	010010	010101	010001	010100	010000

+	+	+	+	+	+	+	+	<b>01----</b>
011111	011011	011110	011010	011101	011001	011100	011000	

$$y_2 = !t_1 t_2$$

для  $y_3$ :

<b>001---</b>	+	+	+	+	+	+	+	+
	001111	001011	001110	001010	001101	001001	001100	001000

$$y_3 = !t_1 !t_2 t_3$$

для  $f_1$ :

<b>00011-</b>	+	+
	000111	000110

$$f_1 = !t_1 !t_2 !t_3 x_1 x_2$$

для  $f_2$ :

<b>0000-1</b>	+	+		
000-01		+	+	
<b>00010-</b>			+	+
	000011	000001	000101	000100

$$f_2 = !t_1 !t_2 !t_3 !x_1 x_3 \vee !t_1 !t_2 !t_3 x_1 !x_2$$

для f3:

0000-0	+	+								
100-0-										
-00-00		+		+						
-0010-			+	+						
0---00		+		+			+	+		
0--10-			+	+	+		+		+	
0-1-0-					+	+	+	+		
01--0-									+	+
	000010	000000	000101	000100	001101	001001	001100	001000	010101	010001

										0000-0
						+	+	+	+	100-0-
								+	+	-00-00
						+		+		-0010-
+	+			+	+					0---00
+		+								0--10-
		+	+	+	+					0-1-0-
+	+	+	+	+	+					01--0-
010100	010000	011101	011001	011100	011000	100101	100001	100100	100000	

$$f3 = !t1!t2!t3!x1!x3 \vee t1!t2!t3!x2 \vee !t2!t3 x1!x2 \vee !t1 t3!x2$$

Факторизация системы:

$$\begin{aligned} u1 &= t1!t2!t3 & u2 &= !t1 t2 t3 & u3 &= !t1 t2 \\ u4 &= !t1!t2 t3 & u5 &= !t1!t2!t3 x1 x2 & u6 &= !t1!t2!t3!x1 x3 \\ u7 &= !t1!t2!t3 x1!x2 & u8 &= !t1!t2!t3!x1!x3 & u9 &= t1!t2!t3!x2 \\ u10 &= !t2!t3 x1!x2 & u11 &= !t1 t3!x2 \end{aligned}$$

Факторизуем на элементах И:

	t1	!t1	t2	!t2	t3	!t3	x1	!x1	x2	!x2	x3	!x3	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	z9	v1
u1	1-2			1-2		1								1								
u2		1-3	1		1-3										1							
u3		1	1																			
u4		1-3		1	1-3										1							
u5		1-1		1-1		1-1	1-5		1-5				1				1					
u6		1-1		1-1		1-1		1-6			1-6		1					1				
u7		1-1		1-1		1-1	1-7			1-7			1						1			
u8		1-1		1-1		1-1		1-8				1-8	1							1		
u9	1-2			1-2		1-4				1-4				1		1						
u10				1-9		1-4	1-9			1-4						1					1	
u11		1-3			1-3					1					1							
z1		1-A		1-A		1																1
z2	1			1																		
z3		1			1																	
z4					1				1													
z5						1		1														
z6							1			1												
z7							1		1													
z8								1				1										
z9				1			1															
v1		1		1																		

Факторизуем на элементах ИЛИ:

	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8	u9	u10	u11	v1	v2
y1	1	1											
y2			1										
y3				1									
f1					1								
f2						1	1						
f3								1-1	1-1	1-2	1-2	1	1
v1								1	1				
v2										1	1		

Сложность по Квайну:  $42 + 14 + 6 = 62$

## Синтез комбинационной схемы автомата Мура на Т-триггерах

Синтез автомата на Т-триггерах:

Функции выхода:

$$y1 = !t1 \, t2 \, t3 \, x2 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, !x2 \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, x2 \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, !x2$$

$$y2 = !t1 \, t2 \, !t3 \, x2 \vee !t1 \, t2 \, !t3 \, !x2 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x2 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, !x2$$

$$y3 = !t1 \, !t2 \, t3 \, x2 \vee !t1 \, !t2 \, t3 \, !x2$$

Функции возбуждения:

$$f1 = !t1 \, !t2 \, !t3 \, x1 \, x2 \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, x2 \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, !x2$$

$$f2 = !t1 \, !t2 \, !t3 \, !x1 \, x3 \vee !t1 \, !t2 \, !t3 \, x1 \, !x2 \vee !t1 \, t2 \, !t3 \, x2 \vee !t1 \, t2 \, !t3 \, !x2 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x2 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, !x2$$

$$f3 = !t1 \, !t2 \, !t3 \, !x1 \, !x3 \vee !t1 \, !t2 \, !t3 \, x1 \, !x2 \vee !t1 \, !t2 \, t3 \, x2 \vee !t1 \, t2 \, !t3 \, !x2 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x2 \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, !x2$$

СДНФ функций:

$$y1 = !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, !x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, x2 \, !x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 \, !x1 \, x2 \, !x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, !x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, !x1 \, !x2 \, x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, !x2 \, !x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, !x1 \, !x2 \, !x3 \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, x1 \, x2 \, x3 \\ \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, !x1 \, x2 \, x3 \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, x1 \, x2 \, !x3 \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, !x1 \, x2 \, !x3 \\ \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, x1 \, !x2 \, x3 \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, !x1 \, !x2 \, x3 \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, x1 \, !x2 \, !x3 \\ \vee t1 \, !t2 \, !t3 \, !x1 \, !x2 \, !x3$$

$$y2 = !t1 \, t2 \, !t3 \, x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, !t3 \, !x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, !t3 \, x1 \, x2 \, !x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, !t3 \, !x1 \, x2 \, !x3 \vee !t1 \, t2 \, !t3 \, x1 \, !x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, !t3 \, !x1 \, !x2 \, x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, !t3 \, x1 \, !x2 \, !x3 \vee !t1 \, t2 \, !t3 \, !x1 \, !x2 \, !x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, x2 \, x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 \, !x1 \, x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, x2 \, !x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, !x1 \, x2 \, !x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, !x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, !x1 \, !x2 \, x3 \vee !t1 \, t2 \, t3 \, x1 \, !x2 \, !x3 \\ \vee !t1 \, t2 \, t3 \, !x1 \, !x2 \, !x3$$

$$y_3 = !t_1 !t_2 t_3 x_1 x_2 x_3 \vee !t_1 !t_2 t_3 !x_1 x_2 x_3 \vee !t_1 !t_2 t_3 x_1 x_2 !x_3 \\ \vee !t_1 !t_2 t_3 !x_1 x_2 !x_3 \vee !t_1 !t_2 t_3 x_1 !x_2 x_3 \vee !t_1 !t_2 t_3 !x_1 !x_2 x_3 \\ \vee !t_1 !t_2 t_3 x_1 !x_2 !x_3 \vee !t_1 !t_2 t_3 !x_1 !x_2 !x_3$$

$$f_1 = !t_1 !t_2 !t_3 x_1 x_2 x_3 \vee !t_1 !t_2 !t_3 x_1 x_2 !x_3 \vee !t_1 !t_2 !t_3 x_1 x_2 x_3 \\ \vee !t_1 !t_2 !t_3 !x_1 x_2 x_3 \vee !t_1 !t_2 !t_3 x_1 !x_2 x_3 \vee !t_1 !t_2 !t_3 !x_1 !x_2 x_3 \\ \vee !t_1 !t_2 !t_3 x_1 !x_2 !x_3 \vee !t_1 !t_2 !t_3 !x_1 !x_2 !x_3$$

$$f_2 = !t_1 !t_2 !t_3 !x_1 x_2 x_3 \vee !t_1 !t_2 !t_3 !x_1 !x_2 x_3 \vee !t_1 !t_2 !t_3 x_1 !x_2 x_3 \\ \vee !t_1 !t_2 !t_3 !x_1 !x_2 !x_3 \vee !t_1 t_2 !t_3 x_1 x_2 x_3 \vee !t_1 t_2 !t_3 !x_1 x_2 x_3 \\ \vee !t_1 t_2 !t_3 x_1 x_2 !x_3 \vee !t_1 t_2 !t_3 !x_1 x_2 !x_3 \vee !t_1 t_2 !t_3 x_1 !x_2 x_3 \\ \vee !t_1 t_2 !t_3 !x_1 !x_2 x_3 \vee !t_1 t_2 !t_3 x_1 !x_2 !x_3 \vee !t_1 t_2 !t_3 !x_1 !x_2 !x_3 \\ \vee !t_1 t_2 t_3 x_1 x_2 x_3 \vee !t_1 t_2 t_3 !x_1 x_2 x_3 \vee !t_1 t_2 t_3 x_1 x_2 !x_3 \\ \vee !t_1 t_2 t_3 !x_1 x_2 !x_3 \vee !t_1 t_2 t_3 x_1 !x_2 x_3 \vee !t_1 t_2 t_3 !x_1 !x_2 x_3 \\ \vee !t_1 t_2 t_3 x_1 !x_2 !x_3 \vee !t_1 t_2 t_3 !x_1 !x_2 !x_3$$

$$f_3 = !t_1 !t_2 !t_3 !x_1 x_2 !x_3 \vee !t_1 !t_2 !t_3 !x_1 !x_2 !x_3 \vee !t_1 !t_2 !t_3 x_1 !x_2 x_3 \\ \vee !t_1 !t_2 !t_3 x_1 !x_2 !x_3 \vee !t_1 !t_2 t_3 x_1 x_2 x_3 \vee !t_1 !t_2 t_3 !x_1 x_2 x_3 \\ \vee !t_1 !t_2 t_3 x_1 x_2 !x_3 \vee !t_1 !t_2 t_3 !x_1 x_2 !x_3 \vee !t_1 t_2 !t_3 x_1 !x_2 x_3 \\ \vee !t_1 t_2 !t_3 !x_1 !x_2 x_3 \vee !t_1 t_2 !t_3 x_1 !x_2 !x_3 \vee !t_1 t_2 !t_3 !x_1 !x_2 !x_3 \\ \vee !t_1 t_2 t_3 x_1 x_2 x_3 \vee !t_1 t_2 t_3 !x_1 x_2 x_3 \vee !t_1 t_2 t_3 x_1 x_2 !x_3 \\ \vee !t_1 t_2 t_3 !x_1 x_2 !x_3 \vee !t_1 t_2 t_3 x_1 !x_2 x_3 \vee !t_1 t_2 t_3 !x_1 !x_2 x_3 \\ \vee !t_1 t_2 t_3 x_1 !x_2 !x_3 \vee !t_1 t_2 t_3 !x_1 !x_2 !x_3$$

Минимизация функций:

для  $y_1$ :

<b>100---</b>								
<b>011---</b>	+	+	+	+	+	+	+	+
	011111	011011	011110	011010	011101	011001	011100	011000

+	+	+	+	+	+	+	+	<b>100---</b>
								<b>011---</b>
100111	100011	100110	100010	100101	100001	100100	100000	

$$y_1 = t_1 !t_2 !t_3 \vee !t_1 t_2 t_3$$

для  $y_2$ :

<b>01----</b>	+	+	+	+	+	+	+	+
	010111	010011	010110	010010	010101	010001	010100	010000

+	+	+	+	+	+	+	+	<b>01----</b>
011111	011011	011110	011010	011101	011001	011100	011000	

$$y_2 = !t_1 t_2$$

для  $y_3$ :

<b>001---</b>	+	+	+	+	+	+	+	+
	001111	001011	001110	001010	001101	001001	001100	001000

$$y_3 = !t_1 !t_2 t_3$$

для  $f_1$ :

<b>-0011-</b>	+	+	+		+					
<b>100---</b>			+	+	+	+	+	+	+	+
	000111	000110	100111	100011	100110	100010	100101	100001	100100	100000

$$f_1 = !t_2 !t_3 x_1 x_2 \vee t_1 !t_2 !t_3$$

для  $f_2$ :

<b>0-010-</b>			+	+					+	
<b>0-0-01</b>		+	+						+	+
<b>0-00-1</b>	+	+				+				+
<b>01----</b>					+		+	+	+	+
	000011	000001	000101	000100	010111	010011	010110	010010	010101	010001

+										<b>0-010-</b>
										0-0-01
										<b>0-00-1</b>
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<b>01----</b>
010100	010000	011111	011011	011110	011010	011101	011001	011100	011000	

$$f_2 = !t_1 !t_3 x_1 !x_2 \vee !t_1 !t_3 !x_1 x_3 \vee !t_1 t_2$$

для  $f_3$ :

<b>0000-0</b>	+	+								
<b>00-010</b>	+							+		
<b>0-0-00</b>		+		+						
<b>0-010-</b>			+	+					+	
<b>010-0-</b>									+	+
<b>-00-00</b>		+		+						
<b>100-0-</b>										
<b>-0010-</b>			+	+						
<b>0-1-1-</b>					+	+	+	+		
	000010	000000	000101	000100	001111	001011	001110	001010	010101	010001



										0000-0
										00-010
+	+									0-0-00
+										0-010-
+	+									010-0-
								+	+	-00-00
						+	+	+	+	100-0-
						+		+		-0010-
		+	+	+	+					0-1-1-
010100	010000	011111	011011	011110	011010	100101	100001	100100	100000	

$$f_3 = !t_1 !t_2 !t_3 !x_1 !x_3 \vee !t_1 !t_3 x_1 !x_2 \vee !t_1 t_2 !t_3 !x_2 \vee t_1 !t_2 !t_3 !x_2 \vee !t_1 t_3 x_2$$

Факторизация системы:

$$\begin{aligned}
u_1 &= t_1 !t_2 !t_3 & u_2 &= !t_1 t_2 t_3 & u_3 &= !t_1 t_2 \\
u_4 &= !t_1 !t_2 t_3 & u_5 &= !t_2 !t_3 x_1 x_2 & u_6 &= t_1 !t_2 !t_3 \\
u_7 &= !t_1 !t_3 x_1 !x_2 & u_8 &= !t_1 !t_3 !x_1 x_3 & u_9 &= !t_1 t_2 \\
u_{10} &= !t_1 !t_2 !t_3 !x_1 !x_3 & u_{11} &= !t_1 !t_3 x_1 !x_2 & u_{12} &= !t_1 t_2 !t_3 !x_2 \\
u_{13} &= t_1 !t_2 !t_3 !x_2 & u_{14} &= !t_1 t_3 x_2
\end{aligned}$$

Факторизуем на элементах И:

	t1	!t1	t2	!t2	t3	!t3	x1	!x1	x2	!x2	x3	!x3	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	z9	z0	v1
u1	1-2			1-2		1								1									
u2		1-3	1		1-3										1								
u3		1	1																				
u4		1-3		1	1-3										1								
u5				1-4		1-4	1-5		1-5							1	1						
u6	1-2			1-2		1								1									
u7		1-1				1-1	1-6			1-6			1					1					
u8		1-1				1-1		1-7			1-7		1						1				
u9		1	1																				
u10		1-1		1-8		1-1		1-8				1-8	1							1			
u11		1-1				1-1	1-6			1-6			1					1					
u12		1-1	1-9			1-1			1-9				1								1		
u13	1-2			1-2		1-0				1-0				1								1	
u14		1-3			1-3				1						1								
z1		1				1																	
z2	1			1																			
z3		1			1																		
z4				1		1																	
z5							1		1														
z6							1			1													
z7								1			1												
z8				1-1				1-1				1											1
z9			1						1														
z0						1				1													
v1				1				1															

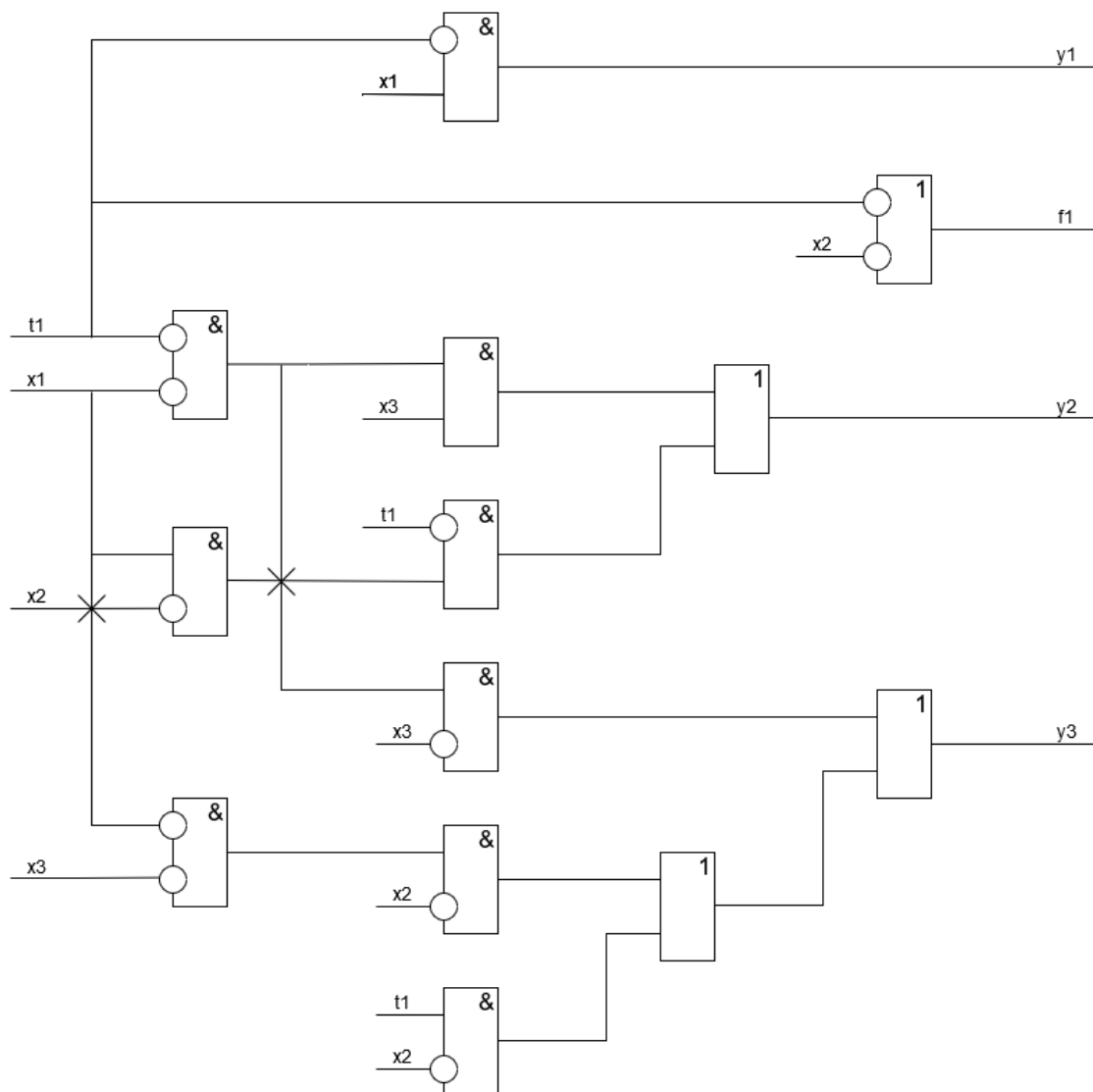
Факторизуем на элементах ИЛИ:

	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8	u9	u10	u11	u12	u13	u14	v1	v2	v3	w1
y1	1	1																
y2			1															
y3				1														
f1					1	1												
f2							1-1	1-1	1						1			
f3										1-2	1-2	1-3	1-3	1-3		1	1	
v1							1	1										
v2										1	1							
v3												1-1	1-1	1				1
w1												1	1					

Сложность по Квайну:  $50 + 18 + 6 = 74$

## Построение схемы минимального автомата

За минимальный возьмем автомат Мили на D-триггерах со сложностью 32



# Реализация программы, моделирующей минимальную схему автомата

Написать программу моделирования выбранной схемы автомата. На входе - последовательность наборов входных сигналов, на выходе - последовательность состояний триггеров и значений сигналов на выходе.

```
def f1(t1, x1, x2, x3):
    z1 = not t1 and x1
    z2 = x1 and not x2
    z3 = not x1 and not x3

    u1 = not t1 and x1
    u2 = x3 and z1
    u3 = not t1 and z2
    u4 = not x3 and z1
    u5 = not x2 and z3
    u6 = t1 and not x2
    u7 = not t1
    u8 = not x2

    v1 = u5 or u6

    y1 = u1
    y2 = u2 or u3
    y3 = u4 or v1
    f1 = u7 or u8
    print("Триггер: {}, Выходы: {} {} {}".format(int(f1), int(y1), int(y2), int(y3)))
    return f1, y1, y2, y3
```

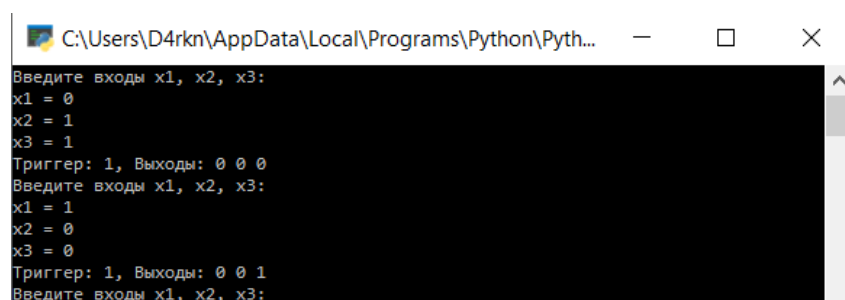
## Нахождение тестового набора входных сигналов

Найти последовательность наборов входных сигналов, при обработке которой каждый триггер изменит своё состояние с нуля в единицу и с единицы в ноль хотя бы один раз и, аналогично, произойдут изменения сигналов на каждом выходе.

Входные сигналы	Начальное состояние	Конечное состояние	Выходные сигналы
011	A1	A2	000
100	A2	A1	001

## Обработка полученной последовательности программой

Результат работы программы:



```
C:\Users\D4rkn\AppData\Local\Programs\Python\Pyth...
Введите входы x1, x2, x3:
x1 = 0
x2 = 1
x3 = 1
Триггер: 1, Выходы: 0 0 0
Введите входы x1, x2, x3:
x1 = 1
x2 = 0
x3 = 0
Триггер: 1, Выходы: 0 0 1
Введите входы x1, x2, x3:
```

## Вывод

В ходе выполнения курсовой работы были изучены принципы синтеза цифровых автоматов на основе граф-схем алгоритмов с использованием элементов памяти. Были построены автоматы двух типов, соответствующие диаграммам Мили и Мура соответственно, проведена их минимизация и последующая факторизация. Во время построения автоматов были использованы Т-триггеры и D-триггеры для каждого типа соответственно. После практической части была написана программа, эмулирующую цифровой автомат наименьшей длины (автомат Мили на D-триггерах), была проверена ее работоспособность, и сверены вывод программы с исходной граф-схемой алгоритма в табличной форме, благодаря чему мы убедились в отсутствии ошибок в процессе вычислений.

## Список литературы

1. Глушков, В.М. Синтез цифровых автоматов / В.М. Глушков. – М.: Государственное издательство математической литературы, 1962. – 476 с.
2. Баранов С. И. Синтез микропрограммных автоматов (граф-схемы и автоматы). Л.: Энергия, 1979. 232 с.
3. Лазарев В. Г., Пийль Е. И. Синтез управляющих автоматов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 328 с.
4. Майоров, С.А. Структура электронных вычислительных машин / С.А. Майоров, Г.И. Новиков. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1979. – 384 с.
5. Власов, В.В. Логические основы построение ЭВМ / В.В. Власов, В.С. Дудкин, А.В. Крайников. – Санкт-Петербург: СПбЭТУ, 1993. – 32 с.
6. Интернет-ресурс *Интуит. Синтез структурного автомата.*  
URL: <https://www.intuit.ru/>

## TCA-1 // составление функций возбуждения D и T – триггера, функций выхода

```

import numpy as np
import math
from itertools import product

def specialPrint(a, varname):
    res = ""
    for i in range(0, len(a)):
        res += "{}{}".format(varname, i+1) if a[i]==1 or a[i]=='1' else "!{}".format(varname, i+1)
    return res

def Dfunc(a, b):
    res = []
    for i in range(len(a)):
        if(b[i]=='0'):
            res.append(0)
        elif(b[i]=='1'):
            res.append(1)
    return res

def Tfunc(a, b):
    res = []
    for i in range(len(a)):
        if(a[i]!=b[i]):
            res.append(1)
        else:
            res.append(0)
    return res

f = open("C:/Users/D4rkn/source/repos/TCA-1/TCA-1/source/demofile.txt", "r", encoding='utf-8')

S_нач = []
S_кон = []
Z = [] #Входной сигнал
W = [] #Выходной сигнал

helparrD=[] #Функции возбуждения для D

print("Введите СКОЛЬКО ВСЕГО состояний = ", end="") #111111111!!!!
n=int(f.readline())
print(n)

k = int(math.ceil(np.log2(int(n))))

print("k=", k)

S_нач = list(product('01', repeat=k))[:n]
print("Закодированные состояния: ", S_нач)

print("Введите количество начальных состояний = ", end="")
n = int(f.readline())
print(n, "\n")

helparrD=[]
helparrT=[]
R = []
for i in range(n):
    subarr1 = []
    subarr2 = []
    subarr3 = []
    subarrD = []
    subarrT = []

```

```

print("Введите кол-во конечных состояний из S{} = ".format(i+1),end="")
t = int(f.readline())
print(t)

print("Введите конечные состояния : ")
for j in range(t):
    l = int(f.readline())
    print("\tS{} [{}]" .format(l, "".join(S_нач[l-1])))
    subarr1.append(S_нач[l-1])
    subarrD.append(Dfunc(S_нач[i],S_нач[l-1]))
    subarrT.append(Tfunc(S_нач[i],S_нач[l-1]))
    #print(S_нач[i],S_нач[l-1],Dfunc(S_нач[i],S_нач[l-1]))

    print("\t\tВходной сигнал: ",end="")
    l = str(f.readline()).replace("\n", "")
    print(l)
    subarr2.append(l)

    print("\t\tВыход (мили/мура): ",end="")
    l = list(str(f.readline()).replace("\n", ""))
    print("".join(l))
    subarr3.append(l)

    if(l=="-"):
        R.append(specialPrint(subarr1[-1], "t"))

S_кон.append(subarr1)
Z.append(subarr2)
W.append(subarr3)
helparrD.append(subarrD)
helparrT.append(subarrT)
print("\nR={} (для автомата Мура)".format(R))

print(helparrD) #Матрица возбуждения для D триггера
print(helparrT) #Матрица возбуждения для T триггера

"""**Функции возбуждения D-триггеров:**""

l=0
for kk in range(len(S_нач[0])):
    plus=False
    print("f{}=" .format(l+1),end="")
    for ii in range(len(helparrD)):
        for jj in range(len(helparrD[ii])):
            #print(ii,jj,l)
            if(helparrD[ii][jj][l]==1):
                print("+ " if plus==True else "",end="") #Это просто вывод плюса
                plus=True #не обращать внимание

                print(specialPrint(S_нач[ii], "t"),end="")
                print(Z[ii][jj] if Z[ii][jj]!='-' else "",end="")
        print("")
    l+=1

"""**Функции возбуждения T-триггеров:**""

l=0
for kk in range(len(S_нач[0])):
    plus=False
    print("f{}=" .format(l+1),end="")
    for ii in range(len(helparrT)):
        for jj in range(len(helparrT[ii])):
            #print(ii,jj,l)
            if(helparrT[ii][jj][l]==1):
                print("+ " if plus==True else "",end="") #Это просто вывод плюса
                plus=True #не обращать внимание

```

```

        print(specialPrint(S_нач[ii], "t"),end="")
        print(Z[ii][jj] if Z[ii][jj]!='-' else "",end="")
print("")
l+=1

"""**Получение функций выходов:**"""

l=0
for kk in range(len(subarr3[0])):
    plus=False
    print("y{}=".format(l+1),end="")
    for ii in range(len(W)):
        for jj in range(len(W[ii])):
            #print(W[ii][jj])
            if(W[ii][jj]!='-' and W[ii][jj][1]=='1'):
                print("+ " if plus==True else "",end="") #Это просто вывод плюса
                plus=True #не обращать внимание

            print(specialPrint(S_нач[ii], "t"),end="")
            print(Z[ii][jj] if Z[ii][jj]!='-' else "",end="")

    print("")
    l+=1

```

## TCA-2 // склейка термов, вывод оставшихся

```

import numpy as np
import pandas as pd

import numpy as np
import pandas as pd

class Term:
    def __init__(self):
        self.skleen = False
        pass

    def print(self):
        pass

class Level:
    def __init__(self, id, n):
        self.id = id
        self.n = n
        self.terms = [[]]*(n+1)

    def putTerm(self, term):
        self.terms[list(term).count("1")] = self.terms[list(term).count("1")]+[tuple(term)]

    def clearfree(self):
        i=0
        while i < len(self.terms):
            #print(i)
            if(self.terms[i]==[]):
                del(self.terms[i])
                #print(self.terms)
                i-=1
            i+=1
            #levels[0].terms[1]==[]

f = open("C:/Users/D4rkn/source/repos/TCA-2/TCA-2/source/demofile.txt", "r", encoding='utf-8')

levels=[]
m = int(f.readline())
n = int(f.readline())
print("m={}, n={}".format(m,n))
levels.append(Level(0,n))

```

```

print("Введите термы:")
for i in range(m):
    t = str(f.readline()).replace("\n", "")
    print(t)
    levels[0].putTerm(t)
    pass

levels[0].clearfree()
print(levels[0].terms)

print("\nHe склеилось:")
for i in range(0,n):
    levelset1=set()
    levelset2=set()

    levels[i].clearfree()
    newlevel = Level(0,n)
    for j in range(0,len(levels[i].terms)-1):
        for k in range(0,len(levels[i].terms[j])):
            if(len(levels[i].terms[j][k])!=0):
                for g in range(0,len(levels[i].terms[j+1])):
                    levelset1.update({''.join(levels[i].terms[j][k])},{''.join(levels[i].terms[j+1][g])})
                    #levelset1.update({(levels[i].terms[j][k])},{levels[i].terms[j+1][g])})

                    #print("{} - {} =
{}".format(levels[i].terms[j][k],levels[i].terms[j+1][g],np.array(levels[i].terms[j][k])!=np.array(1
evels[i].terms[j+1][g])))
                    if(sum(np.array(levels[i].terms[j][k])!=np.array(levels[i].terms[j+1][g]))==1):
                        newterm = np.array(levels[i].terms[j][k])

newterm[np.where(np.array(levels[i].terms[j][k])!=np.array(levels[i].terms[j+1][g]))[0][0]] = "-"
                    #print(newterm)
                    newlevel.putTerm(newterm)
                    #print(newlevel.terms)

    levelset2.update({''.join(levels[i].terms[j][k])},{''.join(levels[i].terms[j+1][g])})#({(levels[i].t
erms[j][k])},{levels[i].terms[j+1][g])})
    #print(newlevel.terms)
    levels.append(newlevel)

    #print(levelset1,"\n",levelset2)
    sets_difference = levelset1-levelset2
    if (len(levelset2) != 0):
        print("\t Уровень №{} : {}".format(i+1,levelset1-levelset2))
    else:
        print("\t Уровень №{} : {}".format(i+1,levels[i].terms))

```