

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ . . . . .	3
1 Задание . . . . .	4
2 Структура ОА . . . . .	5
3 Синтез ОА . . . . .	6
3.1 Синтез $ОА_1$ . . . . .	7
3.1.1 Синтез $ОА_1^{(0)}$ . . . . .	7
3.1.2 Синтез $ОА_1^{(1)}$ . . . . .	12
3.1.3 Объединенные ФВ И ЛФП $ОА_1$ . . . . .	16
3.2 Синтез $ОА_2$ . . . . .	17
4 Реализация ОА . . . . .	19
4.1 Реализация $ОА_1$ . . . . .	19
4.2 Реализация $ОА_2$ . . . . .	24
4.3 Реализация ОА . . . . .	25
5 Моделирование ОА . . . . .	26
5.1 Методика моделирования . . . . .	26
5.2 Моделирование $ОА_1$ . . . . .	26
5.2.1 Моделирование арифметической операции . . . . .	26
5.2.2 Моделирование логической операции . . . . .	28
5.3 Моделирование $ОА_2$ . . . . .	29
5.4 Моделирование ОА . . . . .	30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. . . . .	31
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК . . . . .	32

## ВВЕДЕНИЕ

Теория автоматов — самостоятельный раздел математики, имеющий разнообразную проблематику и приложения. Основными понятиями теории автоматов являются понятия абстрактного автомата и понятие композиции автоматов. Эти понятия являются разумными абстракциями реально существующих дискретных устройств — автоматов. Понятие абстрактного автомата позволяет характеризовать устройство с точки зрения алгоритма его функционирования, т.е. алгоритма переработки информации, который оно реализует. Понятие композиции автоматов позволяет характеризовать устройство с точки зрения его структуры, иными словами, даёт представление, каким образом данное устройство построено из других, более элементарных.

Академик В.М. Глушков показал, что любое устройство обработки цифровой информации можно представить в виде совокупности двух взаимодействующих автоматов — управляющего УА и операционного ОА (Рисунок 1).

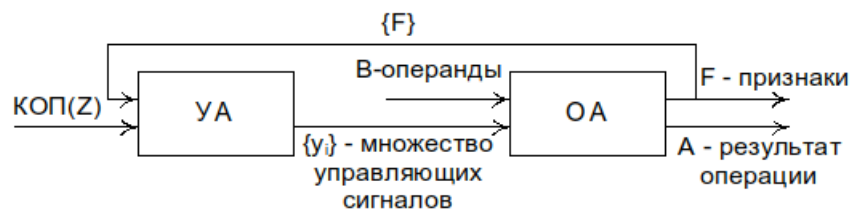


Рисунок 1 — Структура цифрового автомата.

ОА осуществляет непосредственную обработку данных путем выполнения элементарных операций над словами и выдает результат преобразования в виде двух слов:  $A$  (результат) и  $F$  (признаки результата, т.е. сигналы о знаках и особых значениях промежуточных и конечных результатов операций). Выполнение элементарных операций инициируется соответствующими управляющими сигналами  $y_0, y_1, y_2 \dots y_m$ , которые формируются УА.

В курсовой работе требуется разработать ОА, реализующий заданный набор арифметико-логических операций.

## 1 Задание

Синтезировать 4-разрядный ОА, реализующий две операции — арифметическую и логическую, в соответствии с заданным вариантом (Таблица 1). Работу ОА промоделировать, используя САПР «Альтера» Max+plus II.

Таблица 1 — Операции, реализуемые ОА.

Вариант	Операция	Код	Элементы памяти ОА1	Элементы памяти ОА2	Признаки				
					S	Z	C'	P	C
2в, 1	$A \leftarrow A - 1$	8421+3	JK	DC	+	+	+	+	-
	$A \leftarrow A \& B$	двоичный	JK		+	+	0	+	0

## 2 Структура ОА

На этапе структурного синтеза ОА представляют в виде двух частей — памяти и комбинационной схемы КС (Рисунок 2). КС служит для преобразования входных сигналов  $X$  и информации о состоянии устройства ( $A$ ) в выходные сигналы  $Y$  и сигналы возбуждения элементов памяти  $U$ .

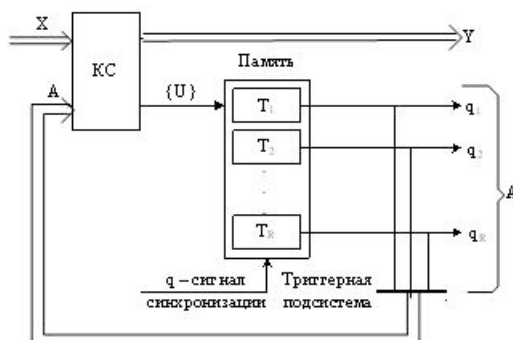


Рисунок 2 — Обобщенная структура ОА.

Поведение структуры (Рисунок 2) описывается четырьмя группами различных сигналов:

$X$  — входное слово,

$Y = (X, A)$  — выходное слово,

$U = \psi(X, A)$  — слово (функция), обеспечивающее порядок смены состояний автомата

$A$  — слово, характеризующее состояние автомата.

Внутреннее состояние автомата определяется состоянием триггеров  $a_r \in \{0, 1\}$  и описывается словом состояния  $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_i, \dots, a_r), r = \overline{1, R}$ . Множество слов  $A$  определяет объем памяти ОА.

Синтезируемый ОА является 4-х разрядным и формирует слово состояния  $A = a_3 a_2 a_1 a_0$ .

### 3 Синтез ОА

Задача синтеза ОА сводится к:

- выбору типа элементов памяти (триггеров), который задан заранее (в данной курсовой работе — JK-триггеры);
- разработке КС, для чего необходимо сформировать систему переключательных функций, описывающую ее поведение:

$$\begin{cases} U = \psi(X, A), \\ Y = \lambda(X, A) \end{cases} \quad (1)$$

- реализации системы ПФ (1) на заданной элементной базе (в данной курсовой работе используется элементная база САПР «Альтера» Max+plus II).

В случае, если автомат оказывается сложным, задачу синтеза ОА упрощают, декомпозируя (разделяя) его на более простые автоматы ОА<sub>1</sub> и ОА<sub>2</sub> (Рисунок 3) с одинаковой структурой (Рисунок 4).

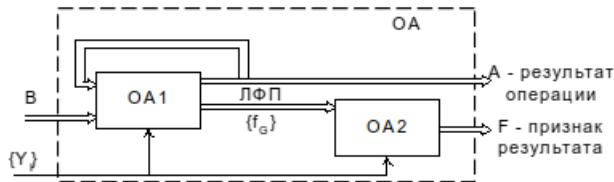


Рисунок 3 — Декомпозиция ОА.

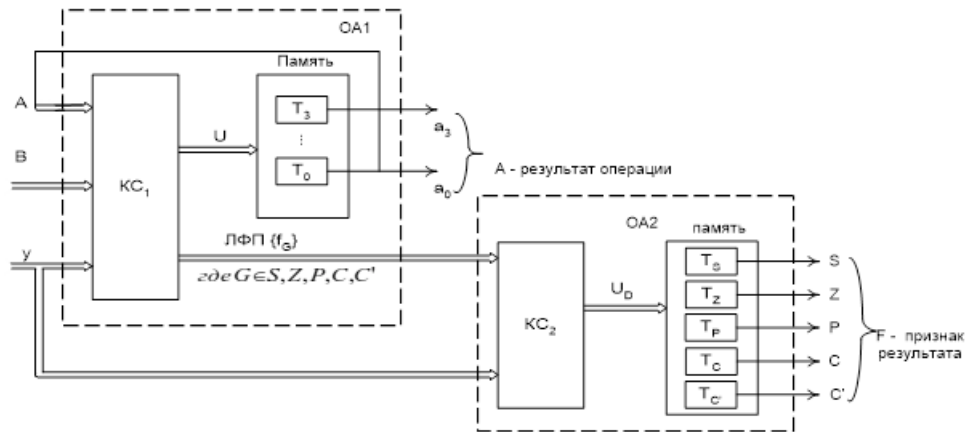


Рисунок 4 — Структурное представление ОА1 и ОА2.

Арифметико-логический автомат ОА<sub>1</sub> формирует слово результата операции и сигналы  $f_S, f_Z, f'_C, f_P, f_C$  — логические функции признаков (ЛФП), относящиеся к выходным сигналам  $Y = \lambda(X, A)$ , на основе которых ОА<sub>2</sub> формирует уже сами признаки — слово  $F = (S, Z, P, C, C')$  в соответствии с логикой признаков, которая задается таблично (Таблица 1) для каждой отдельной операции.

Операции, реализуемые ОА (Рисунок 3), инициализируются управляющими сигналами  $y_i$ . В данной работе используется только один управляющий сигнал  $y$ . Если этот сигнал принимает значение 0, то выполняется арифметическая операция, иначе — логическая.

### 3.1 Синтез $OA_1$

$OA_1$  можно рассматривать как многооперационный автомат, способный реализовать не одну, а несколько операций. Синтез автомата  $OA_1$  разделяется на синтез автоматов  $OA_1^{(0)}$  и  $OA_1^{(1)}$  с памятью на JK-триггерах, реализующих соответственно:

- операцию декремента  $A \leftarrow A - 1$  в коде 8421+3, иницируемую сигналом  $y_0$ .
- операцию логического умножения  $A \leftarrow A \& B$ , иницируемую сигналом  $y_1$ .

Абстрактное представление  $OA_1$  изображено на рисунке 5.

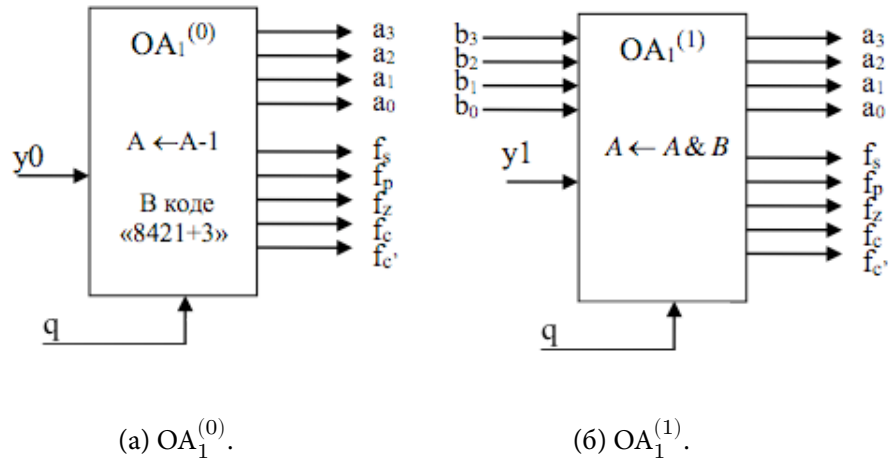


Рисунок 5 — Абстрактное представление  $OA_1$ .

$OA_1^{(0)}$  реализует операцию над одним словом с установкой результата, поэтому ОА не декомпозируется, и синтезируется как единый 4-х разрядный ОЭ.

$OA_1^{(1)}$  реализует операцию над двумя 4-х разрядными словами и с установкой результата. Сигналы возбуждения и выходов являются функциями восьми аргументов. При рассмотрении такого автомата как единого ОЭ синтез значительно усложнится (КТ будет содержать  $256 = 2^8$  наборов), поэтому  $OA_1^{(1)}$  декомпозируется и синтезируется как композиция одноразрядных ОЭ.

#### 3.1.1 Синтез $OA_1^{(0)}$

Автомат  $OA_1^{(0)}$  описывается функциями переходов  $A(t+1) = \delta^0(A(t)) = \delta^0(a_3, a_2, a_1, a_0)$  и выходов  $f_G^0 = f_G^0(A(t)) = f_G^0(a_3, a_2, a_1, a_0)$ ,  $G = S, Z, C', P, C$ , которые определяют структуру совмещенной кодированной таблицы (Таблица 2). Каждому значению  $A(t)$  ставится в соответствие двоичный вектор следующего состояния автомата  $A(t+1) = a_3^*, a_2^*, a_1^*, a_0^*$  как результат функции перехода  $\delta^0$  операции  $y_0 : (A \leftarrow A - 1)$ .

Таблица 2 — Совмещенная КТ для  $OA_1^{(0)}$ .

N	Текущее состояние $OA_1^{(0)}$				Следующее состояние $OA_1^{(0)}$				ФВ $T_j^0$								ЛФП				
	$A(t)$				$A(t+1)$				$T_3$		$T_2$		$T_1$		$T_0$						
	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$a_0$	$a_3^*$	$a_2^*$	$a_1^*$	$a_0^*$	$J_3^{(0)}$	$K_3^{(0)}$	$J_2^{(0)}$	$K_2^{(0)}$	$J_1^{(0)}$	$K_1^{(0)}$	$J_0^{(0)}$	$K_0^{(0)}$	$f_S^{(0)}$	$f_Z^{(0)}$	$f_{C'}^{(0)}$	$f_P^{(0)}$	$f_C^{(0)}$
0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	x	1	x	x	1	x	1	1	0	0	1	1
1	1	1	0	0	1	0	1	1	x	0	x	1	1	x	1	x	1	0	1	0	0
2	1	0	1	1	1	0	1	0	x	0	0	x	x	0	x	1	1	0	0	1	0
3	1	0	1	0	1	0	0	1	x	0	0	x	x	1	1	x	1	0	0	1	0
4	1	0	0	1	1	0	0	0	x	0	0	x	0	x	x	1	1	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	1	1	1	x	1	1	x	1	x	1	x	0	0	1	0	0
6	0	1	1	1	0	1	1	0	0	x	x	0	x	0	x	1	0	0	0	1	0
7	0	1	1	0	0	1	0	1	0	x	x	0	x	1	1	x	0	0	0	1	0
8	0	1	0	1	0	1	0	0	0	x	x	0	0	x	x	1	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	1	1	0	x	x	1	1	x	1	x	0	1	1	1	0

Для каждого из триггеров  $T_3 \div T_0$  на основе смены их состояний  $a_i \rightarrow a_i^*, i = \overline{0, 3}$  в соответствии с матрицей переходов (таблица 3) формируются двоичные сигналы функций возбуждения (ФВ)  $T_j^0, j = \overline{0, 3}$ , под действием которых они меняют свои состояния. В соответствии с таблицей 2 при выполнении операции со словом  $A$  устанавливаются логические функции признаков (ЛФП)  $f_S, f_Z, f_P, f_C$ . Признак  $f_C$  остаётся неизменным.

Признаки:

- $f_S$  — фиксирует знаковый бит результата,
- $f_Z$  — фиксирует нулевой результат,
- $f_P$  — фиксирует четное число единиц результата,
- $f_C$  — фиксирует заем из старшего бита результата,
- $f_{C'}$  — фиксирует заем из бита  $a_2$  результата.

Таблица 3 — Матрица переходов JK-триггера.

Переход	Вход триггера	
	J	K
$0 \rightarrow 0$	0	$x$
$0 \rightarrow 1$	1	$x$
$1 \rightarrow 0$	$x$	1
$1 \rightarrow 1$	$x$	0

Полученные функции  $J_3^{(0)}, K_3^{(0)}, J_2^{(0)}, K_2^{(0)}, J_1^{(0)}, K_1^{(0)}, J_0^{(0)}, K_0^{(0)}, f_S^{(0)}, f_Z^{(0)}, f_{C'}^{(0)}, f_P^{(0)}, f_C^{(0)}$  заносятся на карты Карно для минимизации (Рисунок 6, 7).



$J_3^{(0)} :$

				$a_3$
				$a_2$

$K_3^{(0)} :$

x	x	0	1
x	x	x	0
x	x	x	0
x	x	x	0

(б)

$J_2^{(0)} :$

x	x	x	1
x	x	x	0
1	x	x	0
x	x	x	0

(B)

$K_2^{(0)} :$

$\overbrace{\hspace{1.5cm}}^{a_3}$

$\overbrace{\hspace{1.5cm}}^{a_2}$

x	1	1	x
x	0	x	x
x	0	x	x
x	0	x	x

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{a_0}$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{a_1}$

(г)

$$J_1^{(0)} :$$

$$a_3$$

$$a_2$$

$$a_0$$

$$a_1$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{x} & 1 & 1 & 1 \\ \hline \text{x} & 0 & \text{x} & 0 \\ \hline \text{x} & \text{x} & \text{x} & \text{x} \\ \hline \text{x} & \text{x} & \text{x} & \text{x} \\ \hline \end{array}$$

$$(\mu)$$

Diagram illustrating a 4x4 matrix  $K_1^{(0)}$  with dimensions  $a_0, a_1, a_2, a_3$  and various annotations.

The matrix is defined as:

$$K_1^{(0)} = \begin{bmatrix} x & x & x & x \\ x & x & x & x \\ 1 & 0 & x & 0 \\ x & 1 & x & 1 \end{bmatrix}$$

Dimensions and annotations:

- $a_0$ : Vertical dimension of the first two rows.
- $a_1$ : Vertical dimension of the last two rows.
- $a_2$ : Horizontal dimension of the first two columns.
- $a_3$ : Horizontal dimension of the last two columns.
- Red circles highlight the elements  $x$  at positions (1,1), (4,1), and (4,4).
- Blue arcs highlight the elements  $x$  at positions (1,4), (2,4), (4,1), and (4,4).

(e)

$J_0^{(0)} :$

The diagram shows a 4x4 grid of cells. The first column contains 'x' in all four rows. The second column contains 'x' in the second and third rows, and '1' in the first and fourth rows. The third and fourth columns contain '1' in the first and fourth rows, and 'x' in the second and third rows. A blue rounded rectangle is drawn around the grid, with its top and bottom edges aligned with the first and fourth rows, and its left and right edges aligned with the second and third columns. Dimension lines indicate the following:  $a_0$  is the height of the first column;  $a_1$  is the height of the second and third columns;  $a_2$  is the width of the second and third columns; and  $a_3$  is the width of the third and fourth columns.

(ж)

The diagram shows a 4x4 grid with dimensions  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ , and  $a_3$ . The grid is divided into four quadrants by a horizontal line at  $a_1$  and a vertical line at  $a_2$ . The top-left quadrant is a 2x2 grid with values  $x$  in all cells. The top-right quadrant is a 2x2 grid with values  $x$  in the first and third rows, and  $1$  in the second and fourth rows. The bottom-left quadrant is a 2x2 grid with values  $1$  in the first and third rows, and  $x$  in the second and fourth rows. The bottom-right quadrant is a 2x2 grid with values  $x$  in all cells. The dimensions are indicated by arrows:  $a_0$  is the height of the top half,  $a_1$  is the height of the bottom half,  $a_2$  is the width of the left half, and  $a_3$  is the width of the right half.

$x$	$x$	$x$	$x$
$x$	$1$	$x$	$1$
$1$	$1$	$x$	$1$
$x$	$x$	$x$	$x$

(з)

Рисунок 6 — Карты Карно для ФВ  $OA_1^{(0)}$ .

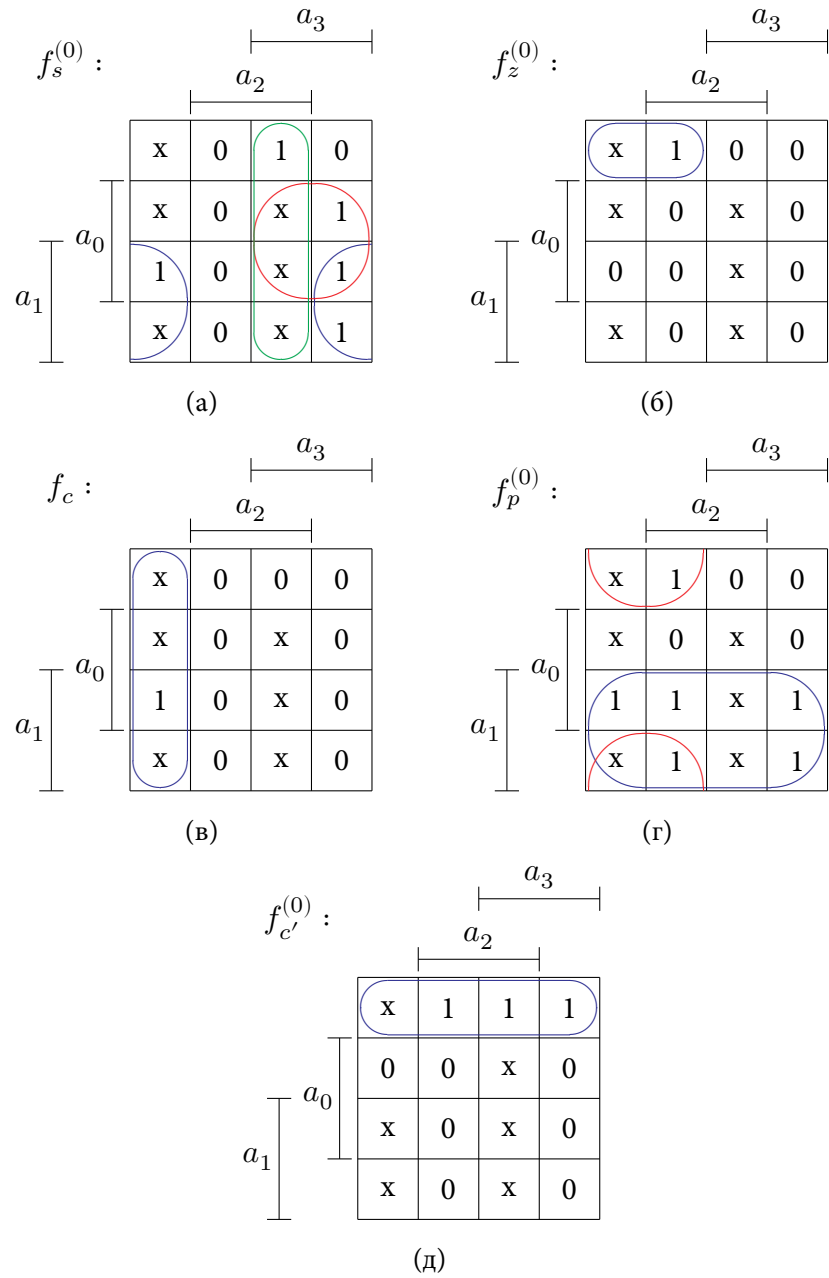


Рисунок 7 — Карты Карно для ЛФП  $OA_1^{(0)}$ .

В результате минимизации получается система ФВ (2) и ЛФП (3), представленных в МДНФ:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_3^{(0)} = \bar{a}_2 \\ K_3^{(0)} = \bar{a}_2 \cdot \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0 \\ J_2^{(0)} = \bar{a}_3 \vee \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0 \\ K_2^{(0)} = \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0 \\ J_1^{(0)} = \bar{a}_0 \\ K_1^{(0)} = \bar{a}_0 \vee \bar{a}_3 \cdot \bar{a}_2 \\ J_0^{(0)} = 1 \\ K_0^{(0)} = 1 \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\begin{cases} f_S^{(0)} = a_3 \cdot a_2 \vee \overline{a_2} \cdot a_1 \vee a_3 \cdot a_0 \\ f_Z^{(0)} = \overline{a_3} \cdot \overline{a_1} \cdot \overline{a_0} \\ f_{C'}^{(0)} = \overline{a_1} \cdot \overline{a_0} \\ f_P^{(0)} = a_1 \vee \overline{a_3} \cdot \overline{a_0} \\ f_C^{(0)} = \overline{a_3} \cdot \overline{a_2} \end{cases} \quad (3)$$

### 3.1.2 Синтез $OA_1^{(1)}$

Автомат  $OA_1^{(1)}$  реализует операцию  $A \leftarrow A \& B$ .

Для упрощения задачи синтеза, декомпозируем автомат  $OA_1^{(1)}$  на более простые  $OЭ_i^{(1)}$  (Рисунок 8).

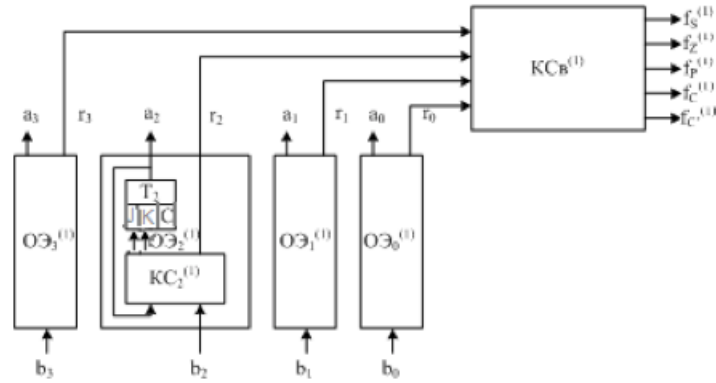


Рисунок 8 — Структура  $OA_1^{(1)}$ .

Работа одноразрядного  $OЭ_i^{(1)}$  автомата  $OA_1^{(1)}$  описывается таблицей 4. Заданные таблично ПФ являются функциями двух аргументов:

$$J_i^{(1)} = f(a_i, b_i),$$

$$K_i^{(1)} = f(a_i, b_i),$$

$$r_i^{(1)} = f(a_i, b_i).$$

$$\text{Причем } a_i(t+1) = r_i^{(1)} = a_i \& b_i, i = \overline{0, 3}.$$

Таблица 4 — Описание работы одноразрядного  $OЭ_i^{(1)}$  автомата  $OA_1^{(1)}$ .

$a_i(t)$	$b_i(t)$	$a_i(t+1)$	$r_i^{(1)}$	$J_i^{(1)}$	$K_i^{(1)}$
0	0	0	0	0	x
0	1	0	0	0	x
1	0	0	0	x	1
1	1	1	1	x	0

Особенностью поразрядного синтеза  $OA_1^{(1)}$  является отсутствие информации о состоянии регистра  $A$  в целом в момент времени  $t$ , поэтому ЛФП формируется на основе вспомогательной

функции  $R$ , подаваемой с выходов  $ОЭ_i^{(1)}$  (рисунок 4) на входы вспомогательной комбинационной схемы  $КС_{(1)}$ .

Таблица 5 описывает логику работы  $КС_{(1)}$ , формирующей сигналы  $f_S^{(1)}$ ,  $f_Z^{(1)}$ ,  $f_{C'}^{(1)}$ ,  $f_P^{(1)}$ ,  $f_C^{(1)}$ . Переключаательные функции являются функциями четырех аргументов.

Таблица 5 — Описание принципа установки флагов автомата  $ОА_1^{(1)}$ .

N	R				ЛФП				
	$r_3$	$r_2$	$r_1$	$r_0$	$f_S^{(1)}$	$f_Z^{(1)}$	$f_P^{(1)}$	$f_{C'}^{(1)}$	$f_C^{(1)}$
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	0	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	1	0	0	1	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0	0
7	0	1	1	1	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	1	0	1	0	0
10	1	0	1	0	1	0	1	0	0
11	1	0	1	1	1	0	0	0	0
12	1	1	0	0	1	0	1	0	0
13	1	1	0	1	1	0	0	0	0
14	1	1	1	0	1	0	0	0	0
15	1	1	1	1	1	0	1	0	0

Функции возбуждения JK-триггеров (4) и функции выходов (5) формируются на основании таблиц 4 и 5.

$$\left\{ \begin{array}{l} J_3^1 = f(a_3, b_3) = 0 \\ K_3^1 = f(a_3, b_3) = a_3 \cdot \bar{b}_3 \\ J_2^1 = f(a_2, b_2) = 0 \\ K_2^1 = f(a_2, b_2) = a_2 \cdot \bar{b}_2 \\ J_1^1 = f(a_1, b_1) = 0 \\ K_1^1 = f(a_1, b_1) = a_1 \cdot \bar{b}_1 \\ J_0^1 = f(a_0, b_0) = 0 \\ K_0^1 = f(a_0, b_0) = a_0 \cdot \bar{b}_0 \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f_S^{(1)} = f(r_3, r_2, r_1, r_0) = K_8^4 \vee K_9^4 \vee K_{10}^4 \vee K_{11}^4 \vee K_{12}^4 \vee K_{13}^4 \vee K_{14}^4 \vee K_{15}^4 \\ f_Z^{(1)} = f(r_3, r_2, r_1, r_0) = K_0^4 \\ f_P^{(1)} = f(r_3, r_2, r_1, r_0) = K_0^4 \vee K_3^4 \vee K_5^4 \vee K_6^4 \vee K_9^4 \vee K_{10}^4 \vee K_{12}^4 \vee K_{15}^4 \\ f_{C'}^{(1)} = 0 \\ f_C^{(1)} = 0 \end{array} \right. \quad (5)$$

Полученные ПФ заносим на карты Карно (Рисунок 9, 10).

$J_i^{(1)} :$

	$\overbrace{\hspace{1.5cm}}^a$	
	0	x
b	0	x

(a)

$K_i^{(1)} :$

	$\overbrace{\hspace{1.5cm}}^a$	
	x	1
b	x	0

(б)

Рисунок 9 — Карты Карно для ФВ  $OA_1^{(0)}$ .

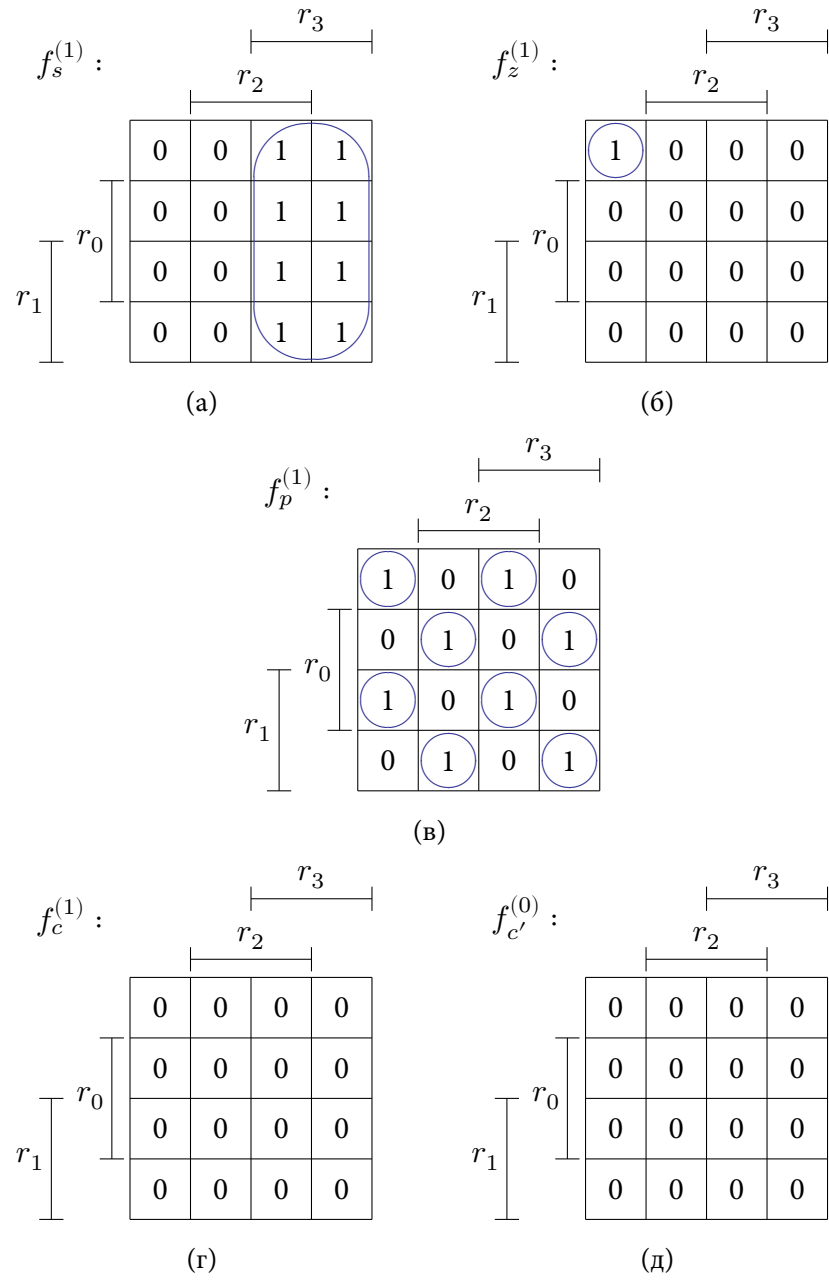


Рисунок 10 — Карты Карно для ЛФП  $OA_1^{(1)}$ .

После минимизации ФВ (6) и ЛФП (7) будут иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_3^1 = f(a_3, b_3) = 0 \\ K_3^1 = f(a_3, b_3) = \bar{b}_3 \\ J_2^1 = f(a_2, b_2) = 0 \\ K_2^1 = f(a_2, b_2) = \bar{b}_2 \\ J_1^1 = f(a_1, b_1) = 0 \\ K_1^1 = f(a_1, b_1) = \bar{b}_1 \\ J_0^1 = f(a_0, b_0) = 0 \\ K_0^1 = f(a_0, b_0) = \bar{b}_0 \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\begin{cases} f_S^{(1)} = r_3 \\ f_Z^{(1)} = \bar{r}_3 \cdot \bar{r}_2 \cdot \bar{r}_1 \cdot \bar{r}_0 \\ f_P^{(1)} = \overline{r_3 \oplus r_2 \oplus r_1 \oplus r_0} \\ f_{C'}^{(1)} = 0 \\ f_C^{(1)} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

### 3.1.3 Объединенные ФВ и ЛФП $OA_1$

В текущий момент такой автомат может выполнять только одну из заданных операций и состояния его меняются в соответствии с логикой реализуемой операции.

На основании составленных ФВ и ЛФП автоматов  $OA_1^{(0)}$  и  $OA_1^{(1)}$  составим объединенные ФВ (8) и ЛФП (9):

$$\begin{cases} J_3 = y_0 J_3^0 \cup y_1 J_3^1 = y_0 \cdot \bar{a}_2 \vee y_1 \cdot 0 \\ K_3 = y_0 K_3^0 \cup y_1 K_3^1 = y_0 \cdot (\bar{a}_2 \cdot \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0) \vee y_1 \cdot \bar{b}_3 \\ J_2 = y_0 J_2^0 \cup y_1 J_2^1 = y_0 \cdot (\bar{a}_3 \vee \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0) \vee y_1 \cdot 0 \\ K_2 = y_0 K_2^0 \cup y_1 K_2^1 = y_0 \cdot (\bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0) \vee y_1 \cdot \bar{b}_2 \\ J_1 = y_0 J_1^0 \cup y_1 J_1^1 = y_0 \cdot \bar{a}_0 \vee y_1 \cdot 0 \\ K_1 = y_0 K_1^0 \cup y_1 K_1^1 = y_0 \cdot (\bar{a}_0 \vee \bar{a}_3 \cdot \bar{a}_2) \vee y_1 \cdot \bar{b}_1 \\ J_0 = y_0 J_0^0 \cup y_1 J_0^1 = y_0 \cdot 1 \vee y_1 \cdot 0 \\ K_0 = y_0 K_0^0 \cup y_1 K_0^1 = y_0 \cdot 1 \vee y_1 \cdot \bar{b}_0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} f_S = y_0 f_S^0 \cup y_1 f_S^1 = y_0 \cdot (a_3 \cdot a_2 \vee \bar{a}_2 \cdot a_1 \vee a_3 \cdot a_0) \vee y_1 \cdot r_3 \\ f_Z = y_0 f_Z^0 \cup y_1 f_Z^1 = y_0 \cdot (\bar{a}_3 \cdot \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0) \vee y_1 \cdot (\bar{r}_3 \cdot \bar{r}_2 \cdot \bar{r}_1 \cdot \bar{r}_0) \\ f_{C'} = y_0 f_{C'}^0 \cup y_1 f_{C'}^1 = y_0 \cdot (\bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0) \vee y_1 \cdot 0 \\ f_P = y_0 f_P^0 \cup y_1 f_P^1 = y_0 \cdot (a_1 \vee \bar{a}_3 \cdot \bar{a}_0) \vee y_1 \cdot (\overline{r_3 \oplus r_2 \oplus r_1 \oplus r_0}) \\ f_C = y_0 f_C^0 \cup y_1 f_C^1 = y_0 \cdot (\bar{a}_3 \cdot \bar{a}_2) \vee y_1 \cdot 0 \end{cases} \quad (9)$$

### 3.2 Синтез $OA_2$

Автомат  $OA_2$  представляется в виде двух частей — памяти для хранения признаков  $S, Z, C', P, C$  (триггеры  $T_S, T_Z, T_{C'}, T_P, T_C$ ) и  $KC_2$ , реализующей логику установки признаков для заданного набора операций. Входными сигналами для  $OA_2$  являются осведомительные сигналы  $f_s, f_z, f_{c'}, f_p, f_c$  (ЛФП), полученные с выхода  $OA_1$ , а также сигнал синхронизации  $q$ .

Через  $G$  обозначен один из признаков  $S, Z, P, C', C$  (Рисунок 11).

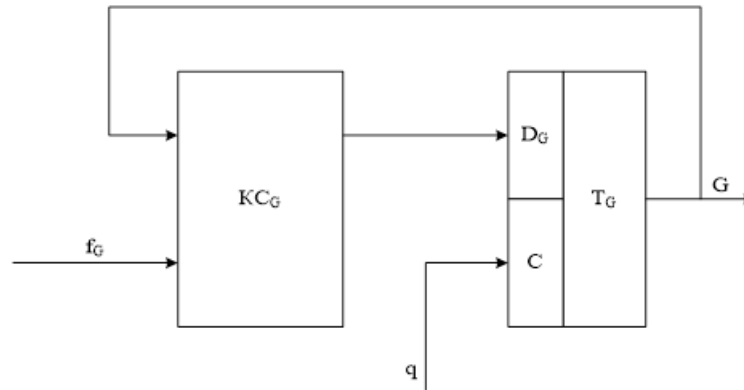


Рисунок 11 — Автомат для установки признака  $G$ .

Поскольку признаки  $S, Z, P, C', C$  являются независимыми, можно формировать одну таблицу переходов и ФВ для обобщенного признака  $G \in \{S, Z, C', P, C\}$  (Таблица 7).

Таблица 7 делится по строкам на две части. В первой описывается формирование признака  $G$  в случае, когда он устанавливается (\*, 0, 1), во второй — когда не устанавливается (—). Следующее состояние  $G^*$  триггера признака  $T_G$  определяется функциями переходов:

- а)  $G \leftarrow f_G$ , если признак устанавливается,
- б)  $G \leftarrow G$ , если признак не устанавливается.

Сигналы функций возбуждения  $D_G$  формируются в соответствии со значением переходов  $G^* \leftarrow G$  и матрицей переходов D-триггера (Таблица 6).

Таблица 6 — Матрица переходов D-триггера.

Переход	D
$0 \rightarrow 0$	0
$0 \rightarrow 1$	1
$1 \rightarrow 0$	0
$1 \rightarrow 1$	1



Таблица 7 — Таблица переходов и ФВ для признака G.

Логика установки признака	Входной сигнал	Текущее состояние $T_G$	Следующее состояние $T_G$	ФВ	Примечание
	$f_G$	$G$	$G^*$	$D_G$	
устанавли- вается	0	0	0	0	$D_G = f_G$
	0	1	0	0	
	1	0	1	1	
	1	1	1	1	
не устанавл- ивается	0	0	0	0	$D_G = G$
	0	1	1	1	
	1	0	0	0	
	1	1	1	1	

Подставляя в  $D_G$  вместо  $G$  конкретные признаки, получают функции возбуждения триггеров признаков  $D_S, D_Z, D'_C, D_P, D_C$ .

Таблица 8 — Объединенные ФВ ОА<sub>2</sub>.

Операция	Признаки					ФВ				
	$S$	$Z$	$C'$	$P$	$C$	$D_S$	$D_Z$	$D_{C'}$	$D_P$	$D_C$
$A \leftarrow A - 1$	+	+	+	+	—	$f_s$	$f_z$	$f_{c'}$	$f_p$	$C$
$A \leftarrow A \& B$	+	+	0	+	0	$f_s$	$f_z$	$f_{c'}$	$f_p$	$f_c$

В соответствии с таблицей 8 сформируем объединенные ФВ для каждого триггера признака:

$$D_s = y_0 f_s \cup y_1 f_s$$

$$D_z = y_0 f_z \cup y_1 f_z$$

$$D_{c'} = y_0 f_{c'} \cup y_1 f_{c'}$$

$$D_p = y_0 f_p \cup y_1 f_p$$

$$D_c = y_0 C \cup y_1 f_c$$

## 4 Реализация ОА

Для реализации цифрового автомата использовалась САПР «Альтера» Max+plus II.

### 4.1 Реализация ОА<sub>1</sub>

Схема построена в соответствии с объединёнными функциями возбуждения и ЛФП, полученными в пункте 3.1.3.

Входными сигналами для ОА<sub>1</sub> являются:

- сигнал управления  $Y$ , который реализован таким образом, что:
  - $Y = 1, Y_0 = 1$ . ОА реализует арифметическую операцию,
  - $Y = 0, Y_1 = 1$ . ОА реализует логическую операцию.
- операнд  $B$  для логической операции,
- сигнал синхронизации  $Q$ ,
- сигнал  $LDA$  для принудительной установки триггеров в заданное состояние,
- сигнал  $SETN$  разрешения принудительной установки триггеров в заданное состояние.

Выходными сигналами для ОА<sub>1</sub> являются:

- новое состояние автомата  $A$ ,
- ЛФП  $FS, FZ, FC1, FP, FC$ .

Поскольку после включения питания все триггеры будут находиться в нулевом состоянии, использована схема принудительной установки состояния автомата в заданное.

Для выполнения различных операций используется одна и та же память, то есть одни и те же триггеры, возбуждаемые различными функциями. Поэтому схемы формирования функций возбуждения и ЛФП представлены в виде отдельных символов  $oa10\_logic$  и  $oa11\_logic$  для ОА<sub>1</sub><sup>(0)</sup> и ОА<sub>1</sub><sup>(1)</sup> соответственно.

Так как используются две схемы формирования функций возбуждения и ЛФП, то реализована схема, позволяющая подключить выходы одной из них к входам триггеров и ЛФП в зависимости от кода операции  $Y$ .

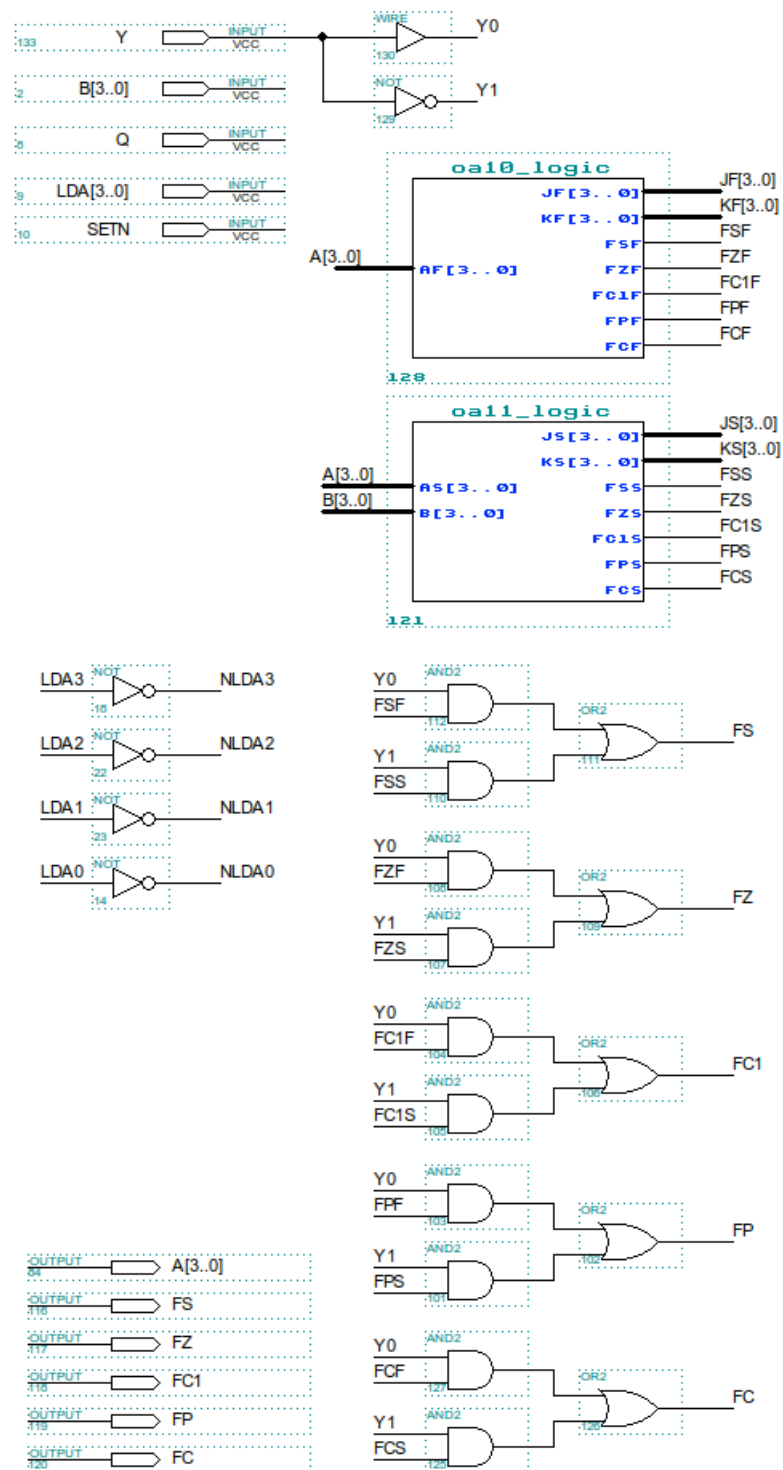


Рисунок 12 — Схема ОА<sub>1</sub> (начало).

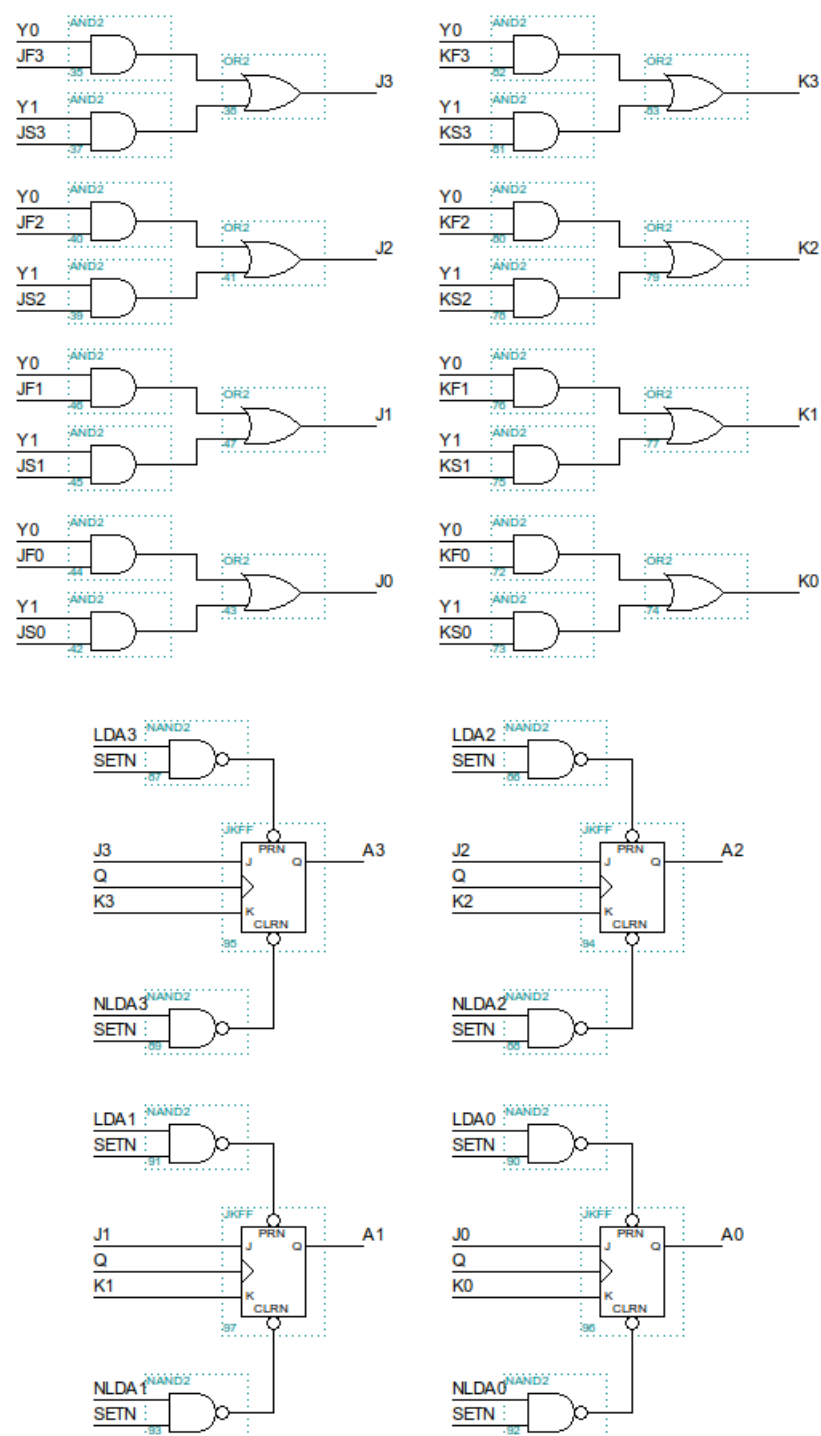


Рисунок 13 — Схема ОА<sub>1</sub> (окончание).



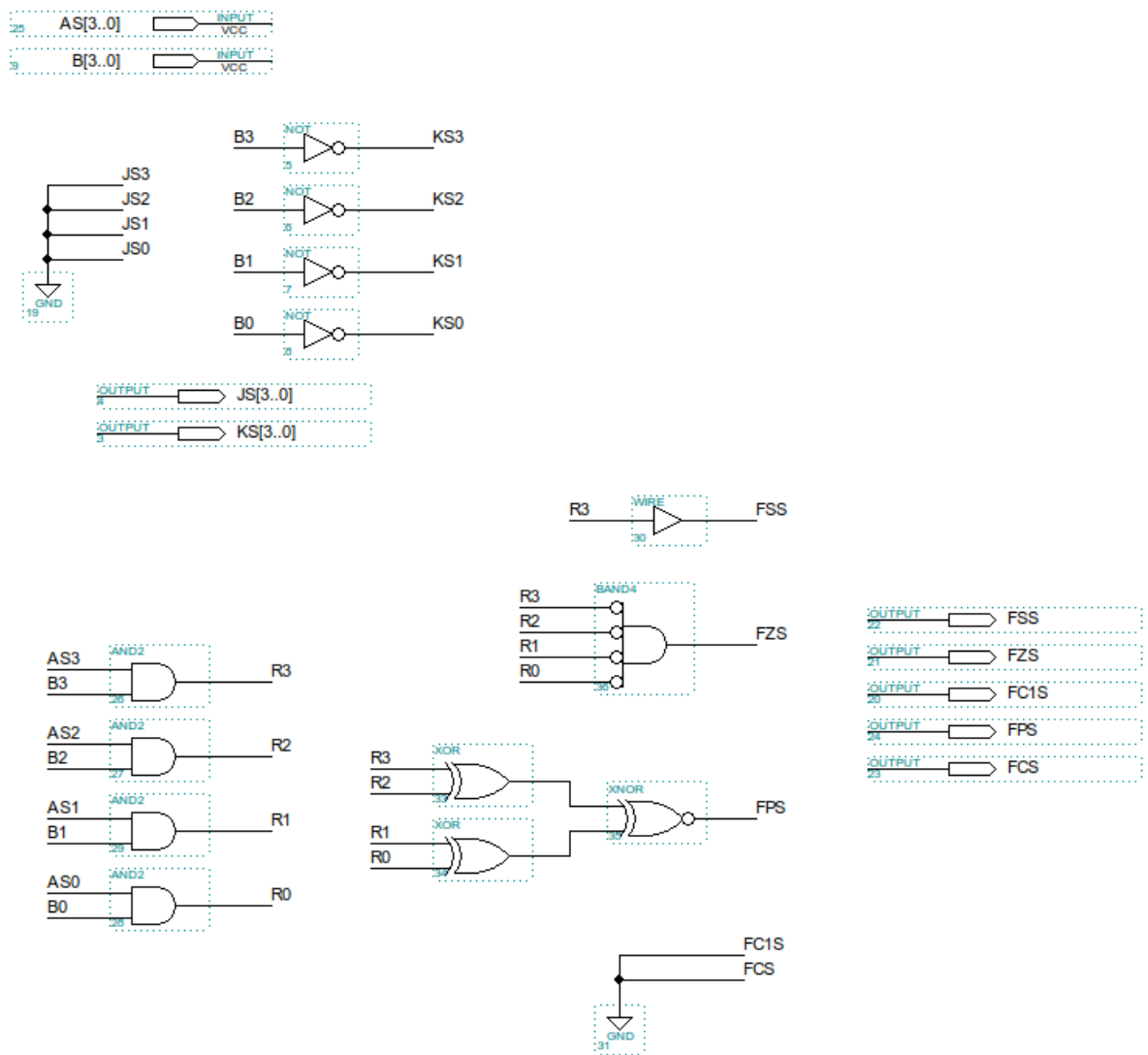


Рисунок 15 — Схема формирования функций возбуждения и ЛФП  $OA_1^{(1)}$ .

## 4.2 Реализация $OA_2$

Схема построена в соответствии с объединёнными функциями возбуждения для каждого признака, полученными в пункте 3.2.

Для проверки сохранения значения признака  $C$  в соответствии с заданием (Таблица 1) реализован сигнал  $PRNC$  принудительной установки признака  $C$ . При  $PRNC = 1$  автомат устанавливает признак  $C$ .

При выполнении логической операции (по сигналу  $Y0$ ) в соответствии с заданием (Таблица 1) автомат должен устанавливать значения признаков  $C$  и  $C'$  (на схеме признак  $C'$  обозначен как  $C1$ ) равными нулю. Для этого использован сигнал '0'.

Входными сигналами для  $OA_2$  являются:

- осведомительные сигналы  $FS, FZ, FC1, FP, FC$ ,
- сигнал синхронизации  $Q$ ,
- сигнал управления  $Y$ .

Выходными сигналами для  $OA_2$  являются флаги  $S, Z, C1, P, C$ .

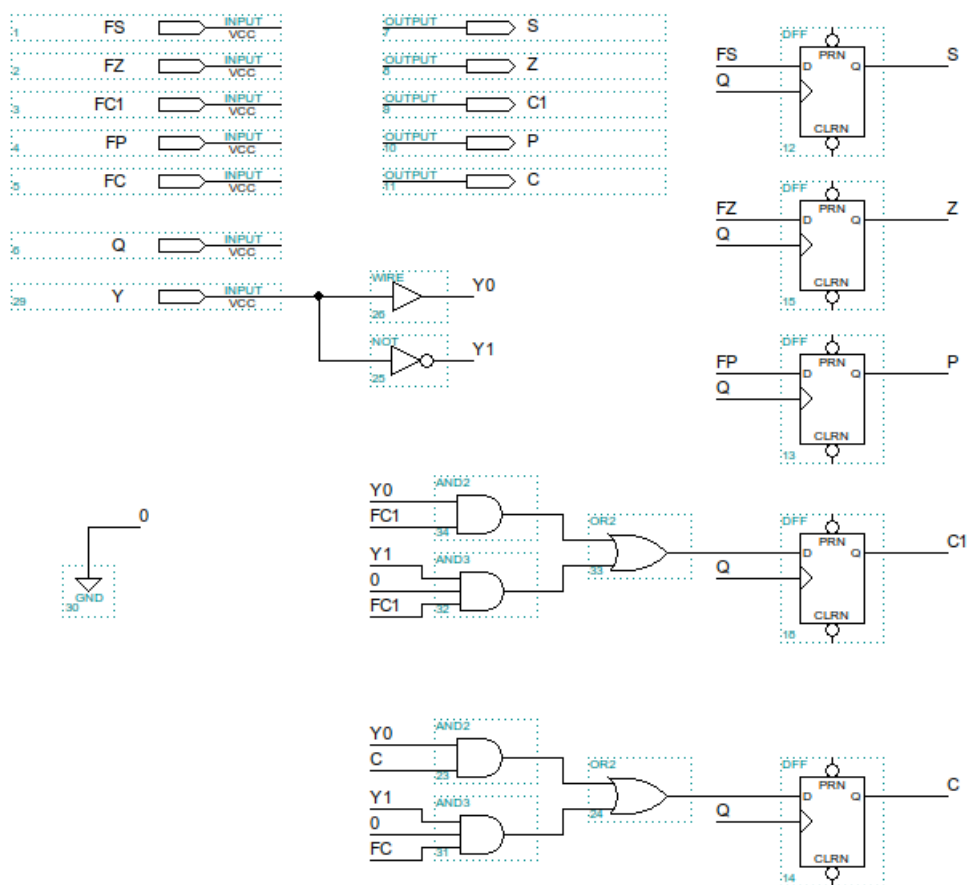


Рисунок 16 — Схема  $OA_2$ .

### 4.3 Реализация ОА

Схема операционного автомата (Рисунок 17) представлена в виде совокупности схем ОА<sub>1</sub> и ОА<sub>2</sub>, представленных в виде символов.

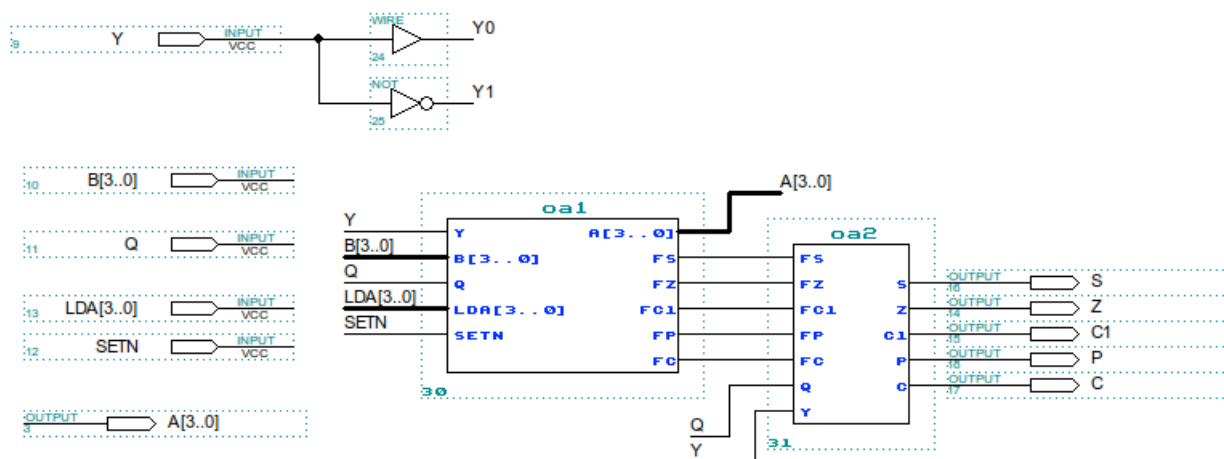


Рисунок 17 — Схема ОА.



## 5 Моделирование ОА

### 5.1 Методика моделирования

Процесс моделирования данного автомата был разделен на 3 этапа:

- Моделирование ОА<sub>1</sub>. Целью моделирования ОА1 является проверка правильности выполнения операций, проверка формирования значений логических функций признаков  $f_S$ ,  $f_Z$ ,  $f_{C'}$ ,  $f_P$ ,  $f_C$ .
- Моделирование ОА<sub>2</sub>. На данном этапе осуществляется проверка правильности записи значений признаков  $S$ ,  $Z$ ,  $C'$ ,  $P$ ,  $C$ .
- Моделирование ОА. На данном этапе осуществлялась проверка правильности взаимодействия автоматов ОА<sub>1</sub> и ОА<sub>2</sub>.

### 5.2 Моделирование ОА<sub>1</sub>

#### 5.2.1 Моделирование арифметической операции

На вход ОА1 подаются следующие сигналы:

- сигнал кода операции  $Y = 1$ ,
- сигнал  $LDA = 0011_2$ , соответствующий числу 3h (первому разрешенному состоянию),
- импульс SETN, соответствующий переходу автомата в состояние с шины LDA,
- импульсы тактовой частоты Q.

Корректной работе автомата соответствуют значения на выходах, приведенные в таблице 9.

Временная диаграмма результатов моделирования представлена на рисунке 18.

Таблица 9 — Ожидаемые результаты моделирования операции  $A \leftarrow A - 1$ .

A(t)	A(t+1)	FS	FZ	FC1	FP	FC
0011	1100	1	0	0	1	1
1100	1011	1	0	1	0	0
1011	1010	1	0	0	1	0
1010	1001	1	0	0	1	0
1001	1000	1	0	0	0	0
1000	0111	0	0	1	0	0
0111	0110	0	0	0	1	0
0110	0101	0	0	0	1	0
0101	0100	0	0	0	0	0
0100	0011	0	0	1	1	0

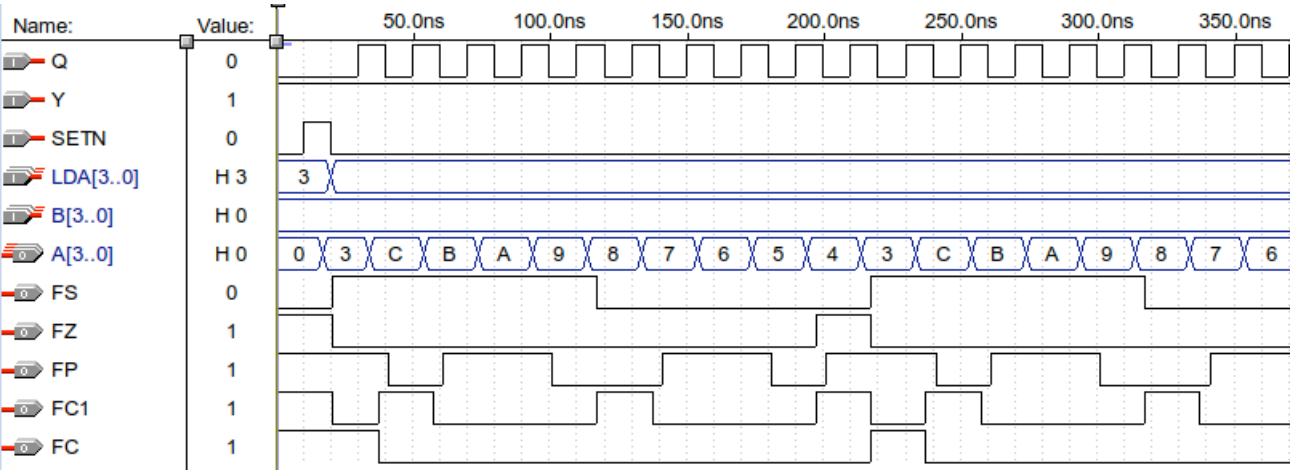


Рисунок 18 — Временная диаграмма результатов моделирования операции  $A \leftarrow A - 1$ .

Автомат циклически выполняет заданную операцию  $A \leftarrow A - 1$  в коде с избытком 3, вырабатывая сигналы от 3h до Ch в шестнадцатеричной системе счисления. Признаки устанавливаются в соответствии с таблицей 9. То есть автомат функционирует в соответствии с заданием.

## 5.2.2 Моделирование логической операции

На вход ОА1 подаются следующие сигналы:

- сигнал кода операции  $Y = 0$ ,
- сигналы LDA, соответствующие установке состояния,
- импульс SETN, соответствующий переходу автомата в состояние с шины LDA,
- сигналы B,
- импульсы тактовой частоты Q.

Корректной работе автомата соответствуют значения на выходах, приведенные в таблице 10.

Временная диаграмма результатов моделирования представлена на рисунке 19.

Таблица 10 — Ожидаемые результаты моделирования операции  $A \leftarrow A \& B$ .

A(t)	B(t)	A(t+1)	FS	FZ	FC1	FP	FC
1010	0111	0010	0	0	0	0	0
0010	1001	0000	0	1	0	1	0
1111	1001	1001	1	0	0	1	0
1001	0110	0000	0	1	0	1	0

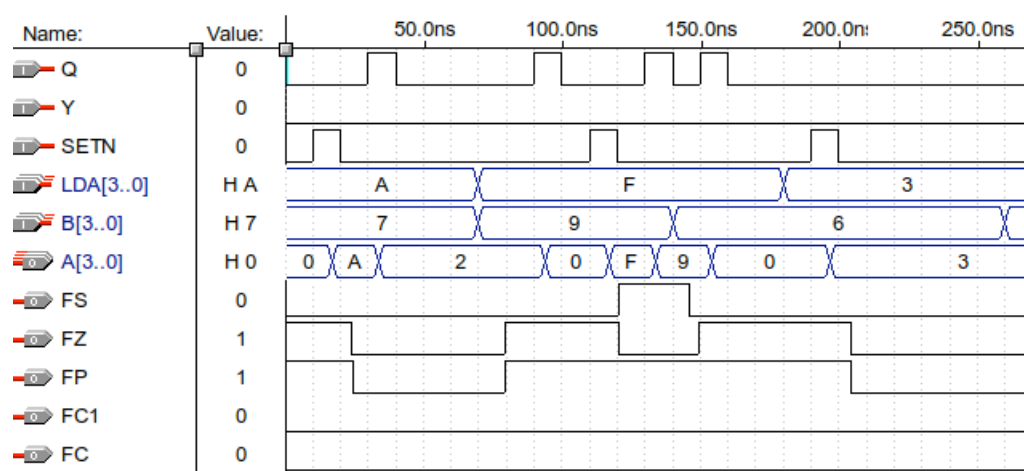


Рисунок 19 — Временная диаграмма результатов моделирования операции  $A \leftarrow A \& B$ .

Из временной диаграммы (Рисунок 19) видно, что автомат выполняет операцию  $A \leftarrow A \& B$  в соответствии с ожидаемыми результатами таблицы 10.

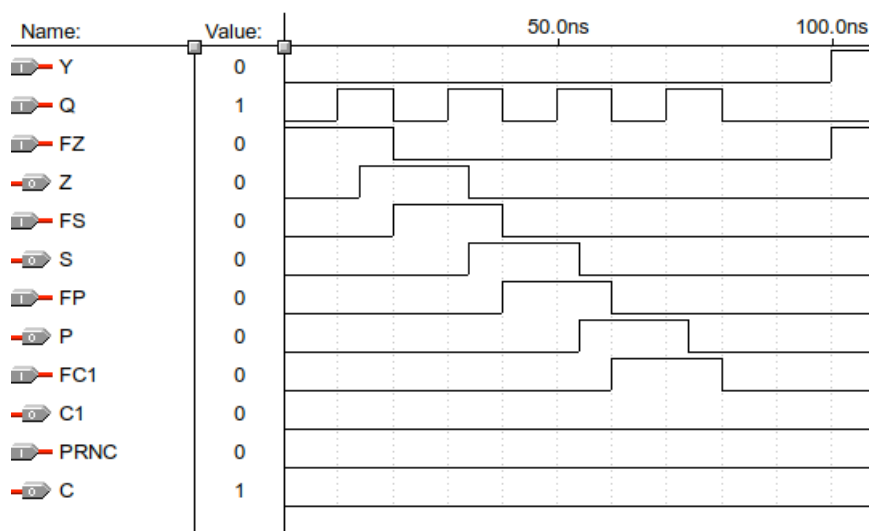
Если с помощью схемы задания состояния записать в  $A$  число  $1010_2$ , а на шину  $B$  подать сигнал, соответствующий числу  $0111_2$ , то после прихода следующего импульса синхронизации  $A = A \& B = 1010_2 \& 0111_2 = 0010_2$  и т.д. Признаки устанавливаются в соответствии с таблицей 10. То есть автомат функционирует в соответствии с заданием.

### 5.3 Моделирование $OA_2$

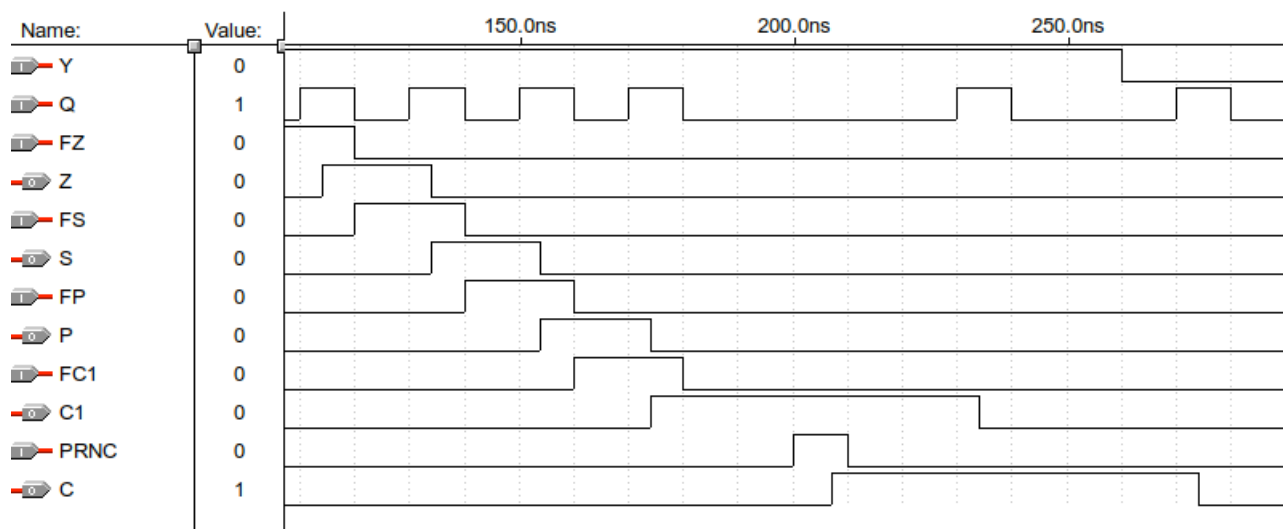
На триггеры Ds, Dz, Dc1, Dp, Dc подаются:

- объединенные функции возбуждения FZ, FS, FP, FC1, FC,
- управляющий сигнал Y,
- импульсы тактовой частоты Q,
- сигнал PRNC принудительной установки признака C.

На выходах  $OA_2$  по положительному фронту синхроимпульса Q записываются значения признаков S, Z, C1, P, C в соответствии со значениями ЛФП из таблиц 2, 5.



(a)



(b)

Рисунок 20 — Временные диаграммы результатов моделирования  $OA_2$ .

Из диаграмм (Рисунок 20) видно, что схема работает корректно. Значение признака C при выполнении арифметической ( $Y = 1$ ) операции ОА сохраняет.

## 5.4 Моделирование ОА

На рисунках 21, 22 приведены временные диаграммы выполнения логической (для  $Y = 0$ ) и арифметической (для  $Y = 1$ ) операций, иллюстрирующие работу автомата, состоящего из ОА<sub>1</sub> и ОА<sub>2</sub>.

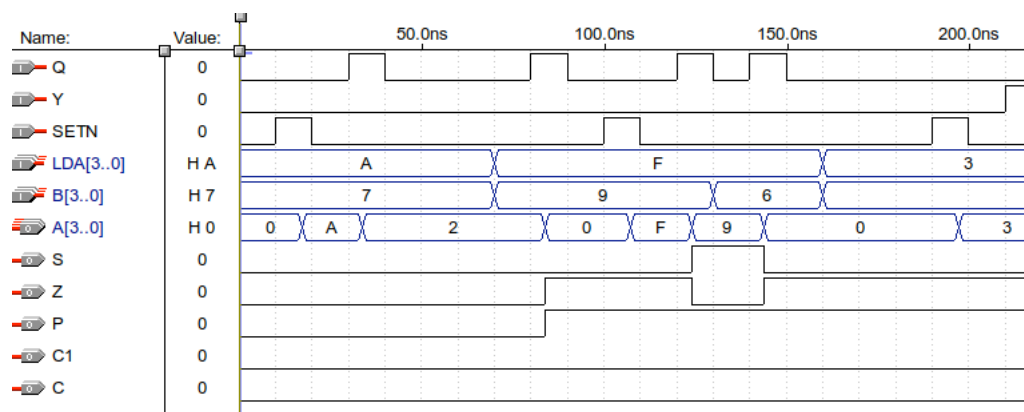


Рисунок 21 — Временная диаграмма результатов моделирования ОА для  $y = 0$ .

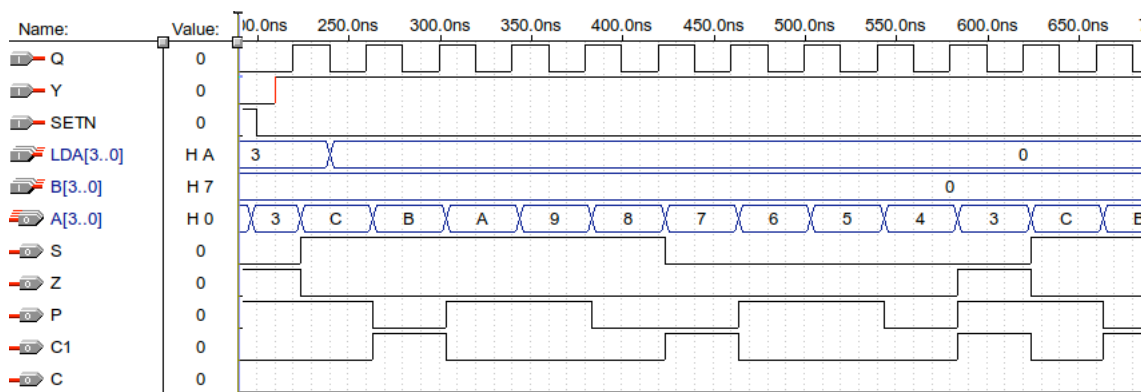


Рисунок 22 — Временная диаграмма результатов моделирования ОА для  $y = 1$ .

Из временных диаграмм видно, что результаты выполнения операций и признаки, совпадают со значениями из таблиц 2 и 5. Признак С, в соответствии с заданием (Таблица 1), при выполнении арифметической операции ОА не устанавливает.

То есть, автомат функционирует в соответствии с заданием.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения курсовой работы был синтезирован автомат, реализующий две операции:  $A \leftarrow A - 1|_{8421+3}$  (арифметическую) и  $A \leftarrow A \& B$  (логическую), устанавливающий флаги  $S, Z, P, C, C'$  в зависимости от результата операции.

При синтезе автомат ОА был представлен в виде двух автоматов:  $ОА_1$  и  $ОА_2$ . Первый автомат осуществляет выполнение операции, второй — устанавливает флаги признаков.

Автомат  $ОА_1$  был декомпозирован на два автомата:  $ОА_1^{(0)}$  и  $ОА_1^{(1)}$ .

$ОА_1^{(0)}$  выполняет операцию  $A \leftarrow A - 1|_{8421+3}$  и вырабатывает признаки результата на основе последующего состояния  $A(t + 1)$ . Этот автомат был представлен как единый 4-разрядный ОЭ.

$ОА_1^{(1)}$  выполняет операцию  $A \leftarrow A \& B$  и вырабатывает признаки результата на основе текущего состояния  $A(t)$ . Этот автомат был представлен как композиция одnorазрядных ОЭ.

Также было проведено моделирование полученного автомата с помощью САПР «Альтера» Max+plus II.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Н. И. Иopa, «Теория автоматов (Проектирование цифровых устройств на ПЛИС)», Методические указания к курсовой работе, практическим занятиям и лабораторным работам / РГРТУ, Рязань, 2011, 80 с.
2. Н. И. Иopa, «Синтез автоматов без памяти», Учебное пособие / РГРТУ, Рязань, 2011, 92 с.
3. Н. И. Иopa, «Теория автоматов в задачах», Методические указания к практическим занятиям / РГРТА, Рязань, 2004, 36 с.