

## 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).

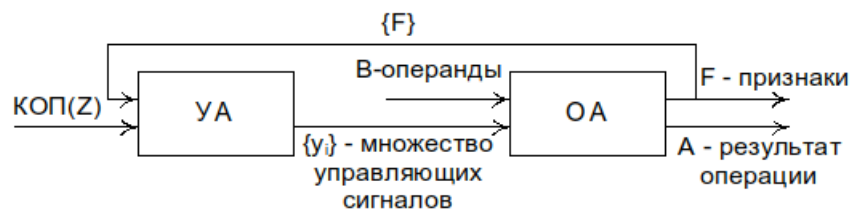


Рисунок 1 — Структура цифрового автомата.

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  $U$ .

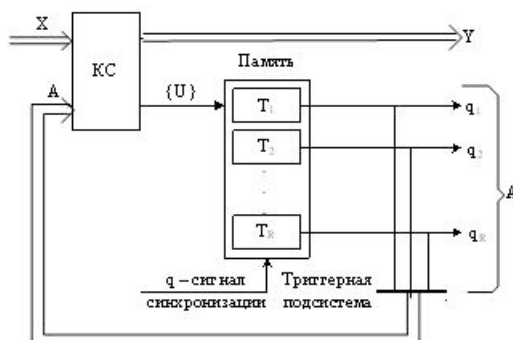


Рисунок 2 — Обобщенная структура ОА.

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).

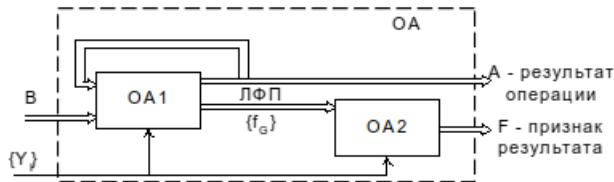


Рисунок 3 — Декомпозиция ОА.

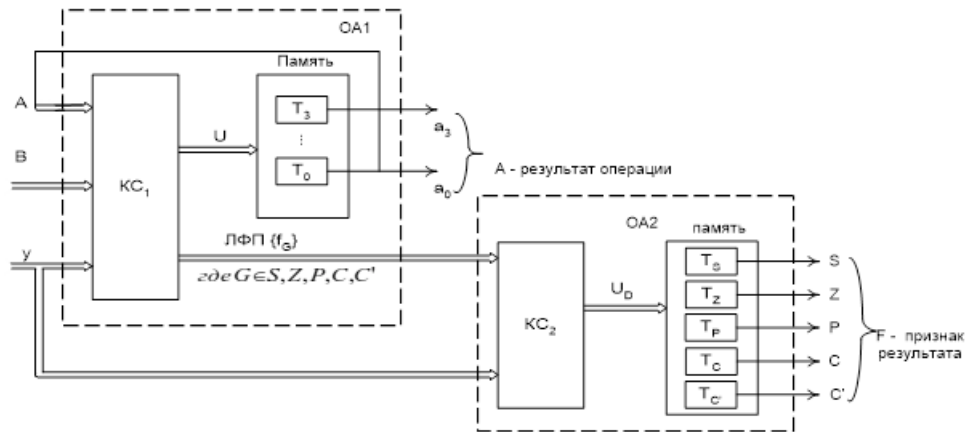


Рисунок 4 — Структурное представление ОА1 и ОА2.

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.

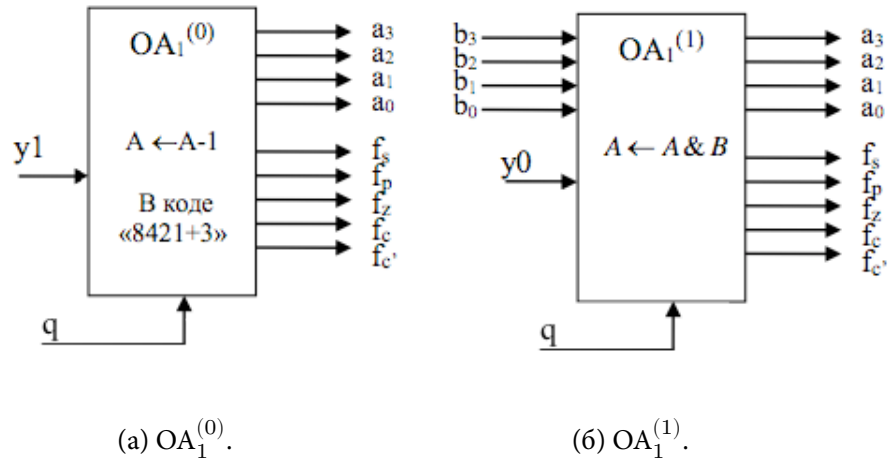


Рисунок 5 — Абстрактное представление  $OA_1$ .

$OA_1^{(0)}$  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).



$J_3^{(0)} :$

			$a_3$
		$a_2$	
	x	0	x
	x	0	x
$a_0$	1	0	x
$a_1$	x	0	x

(а)

$K_3^{(0)} :$

			$a_3$
		$a_2$	
	x	x	0
	x	x	x
$a_0$	x	x	0
$a_1$	x	x	0

(б)

$J_2^{(0)} :$

			$a_3$
		$a_2$	
	x	x	1
	x	x	0
$a_0$	1	x	0
$a_1$	x	x	0

(в)

$K_2^{(0)} :$

			$a_3$
		$a_2$	
	x	1	1
	x	0	x
$a_0$	x	0	x
$a_1$	x	0	x

(г)

$J_1^{(0)} :$

			$a_3$
		$a_2$	
	x	1	1
	x	0	0
$a_0$	x	x	x
$a_1$	x	x	x

(д)

$K_1^{(0)} :$

			$a_3$
		$a_2$	
	x	x	x
	x	x	x
$a_0$	1	0	0
$a_1$	x	1	1

(е)

$J_0^{(0)} :$

			$a_3$
		$a_2$	
	x	1	1
	x	x	x
$a_0$	x	x	x
$a_1$	x	1	1

(ж)

$K_0^{(0)} :$

			$a_3$
		$a_2$	
	x	x	x
	x	1	1
$a_0$	1	1	1
$a_1$	x	x	x

(з)

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

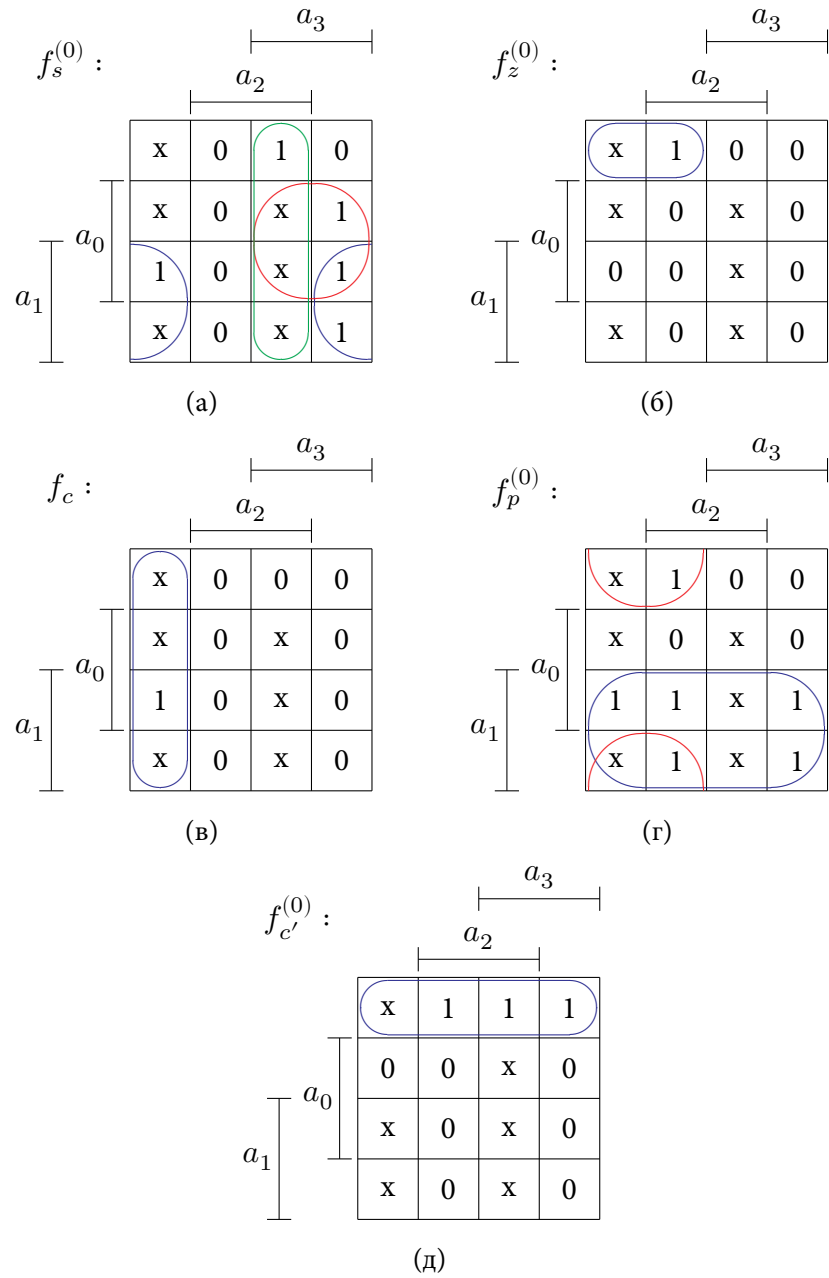


Рисунок 7 — Карты Карно для ЛФП  $OA_1^{(0)}$ .

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).

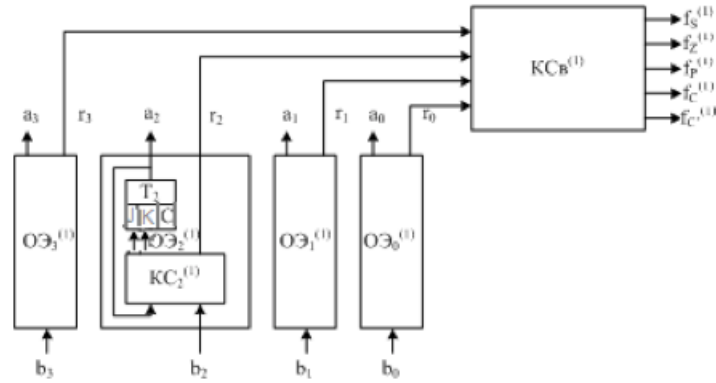


Рисунок 8 — Структура  $OA_1^{(1)}$ .

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
$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_b$	0	x

(a)

$K_i^{(1)} :$ 

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

(б)

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

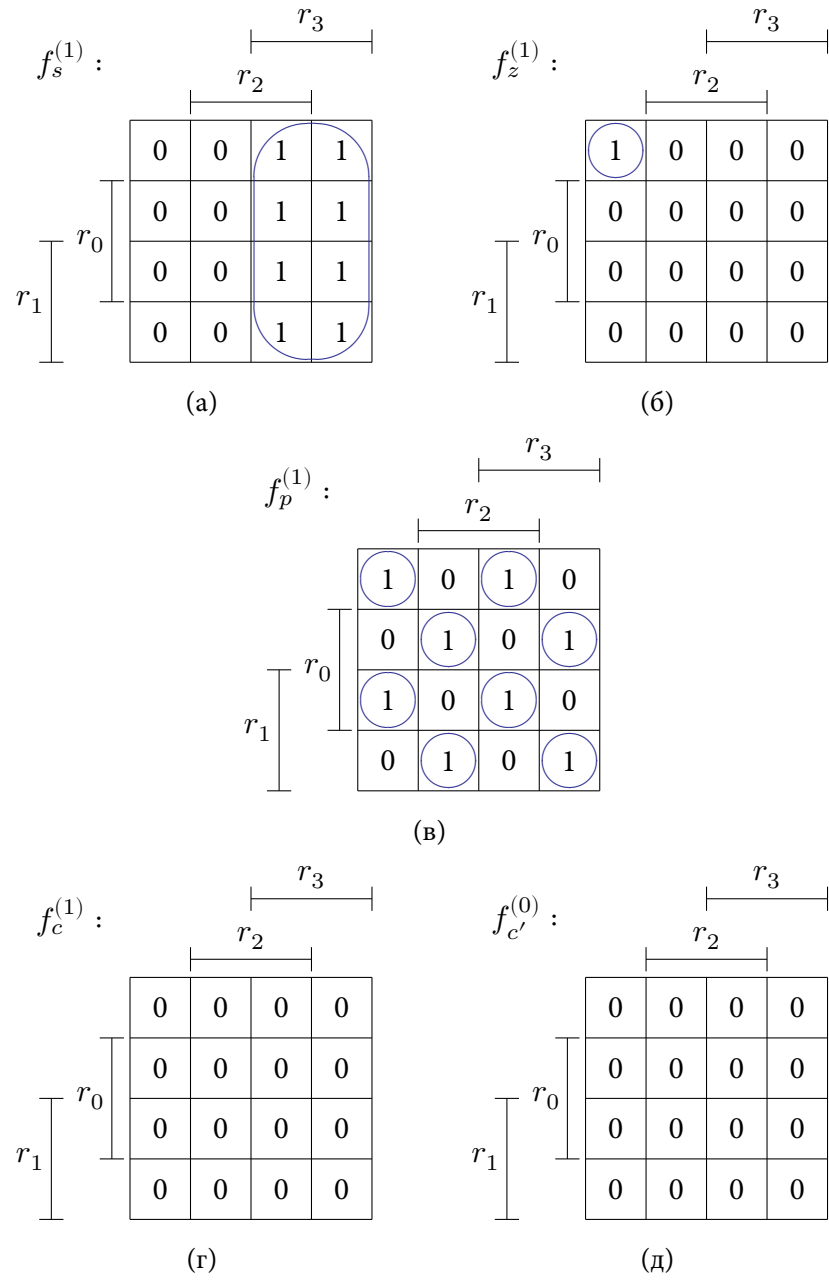


Рисунок 10 — Карты Карно для ЛФП  $OA_1^{(1)}$ .

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 ОА<sub>1</sub>

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 ОА<sub>1</sub><sup>(0)</sup> и ОА<sub>1</sub><sup>(1)</sup> 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).

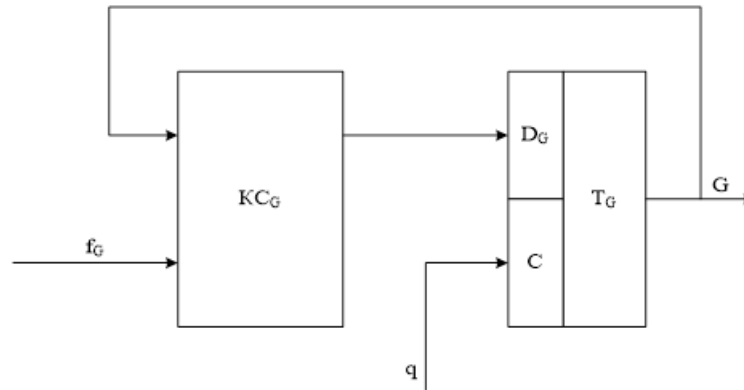


Рисунок 11 — Автомат для установки признака  $G$ .

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:

- $G \leftarrow f_G$ , если признак устанавливается,
- $G \leftarrow G$ , 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, 1)	0	0	0	0	$D_G = f_G$
	0	1	0	0	
	1	0	1	1	
	1	1	1	1	
не устанавли- вается (-)	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 в зависимости от кода операции  $Y$ .

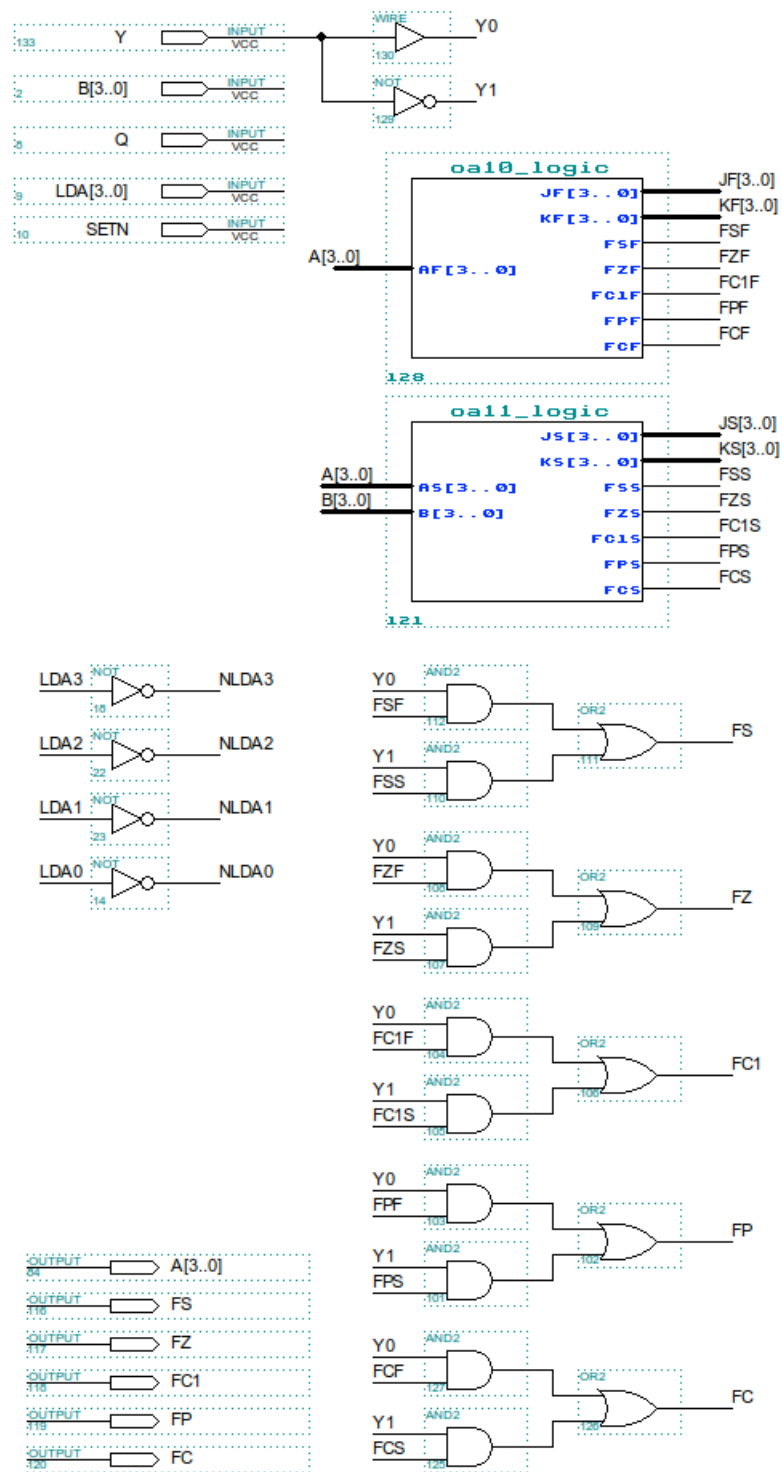


Рисунок 12 — Схема ОА<sub>1</sub> (начало).

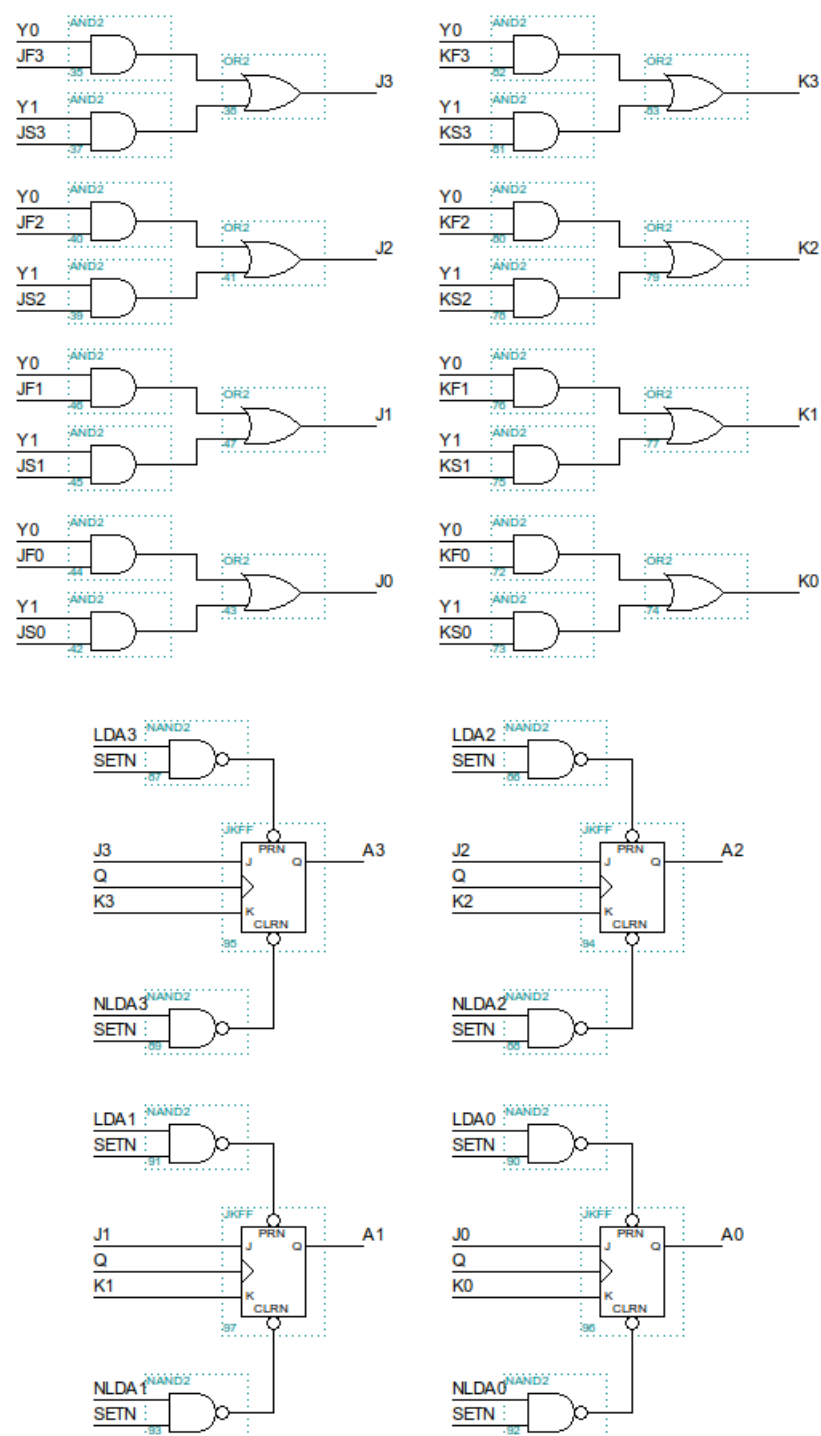


Рисунок 13 — Схема ОА<sub>1</sub> (окончание).



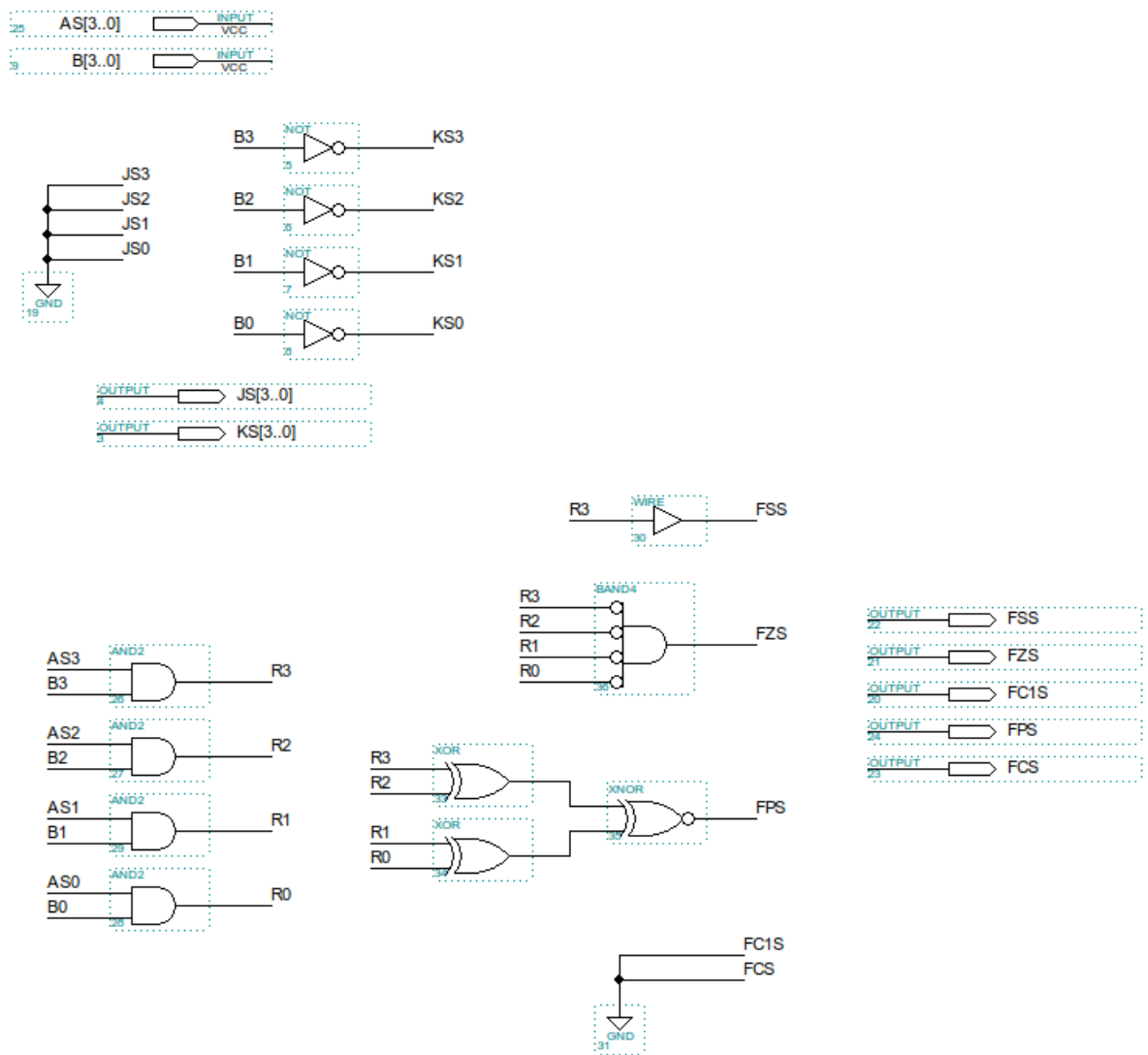


Рисунок 15 — Схема формирования функций возбуждения и ЛФП ОА<sub>1</sub><sup>(1)</sup>.

## 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  $Y1$ ) 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  $S$ ,  $Z$ ,  $C1$ ,  $P$ ,  $C$ .

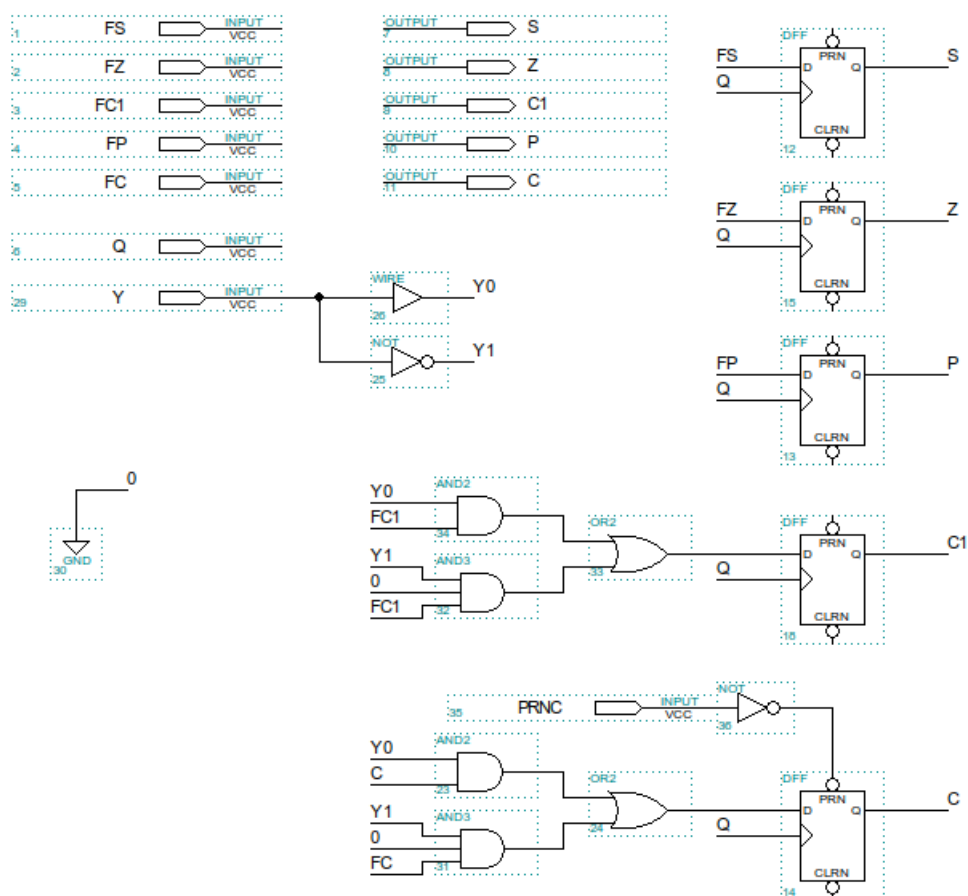


Рисунок 16 — Схема  $OA_2$ .

### 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.

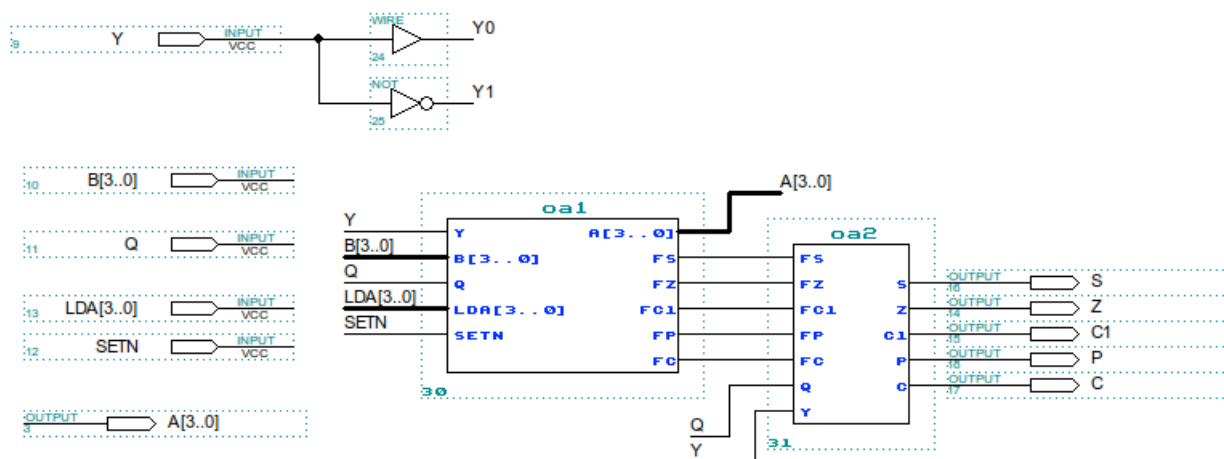


Рисунок 17 — Схема ОА.



## 5 Моделирование ОА

### 5.1 Методика моделирования

Процесс моделирования данного автомата был разделен на 3 этапа:

- Моделирование ОА<sub>1</sub>. Целью моделирования ОА<sub>1</sub> 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 ОА<sub>1</sub> 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

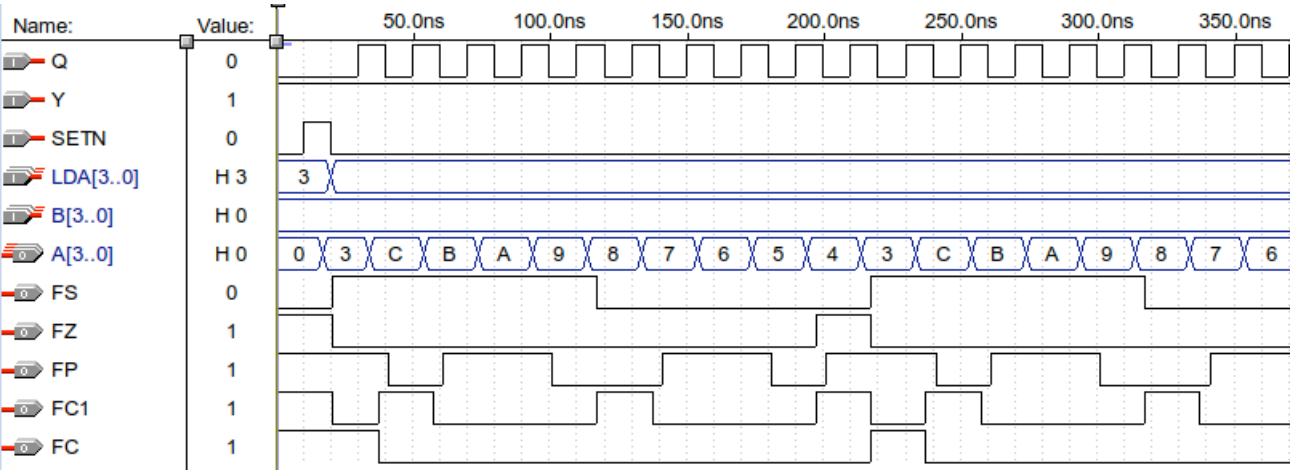


Рисунок 18 — Временная диаграмма результатов моделирования операции  $A \leftarrow A - 1$ .

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
1111	1001	1001	1	0	0	1	0
1001	0110	0000	0	1	0	1	0

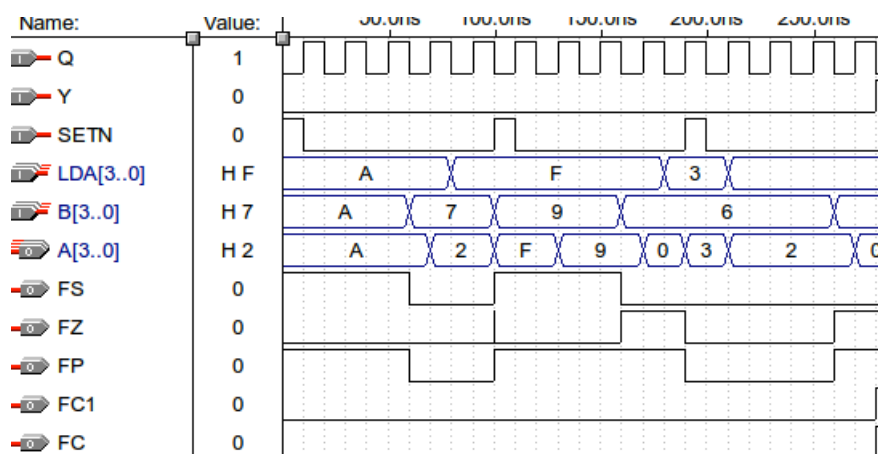


Рисунок 19 — Временная диаграмма результатов моделирования операции  $A \leftarrow A \& B$ .

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.

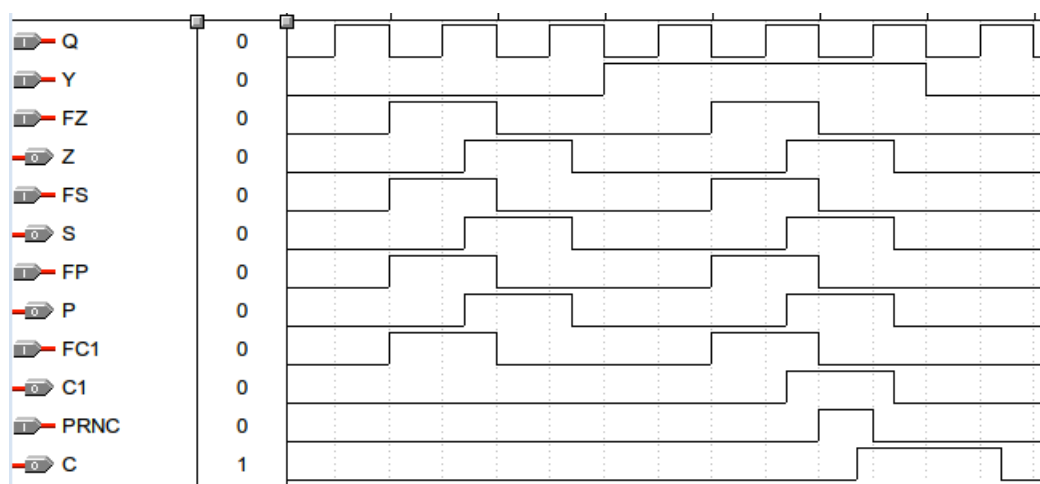
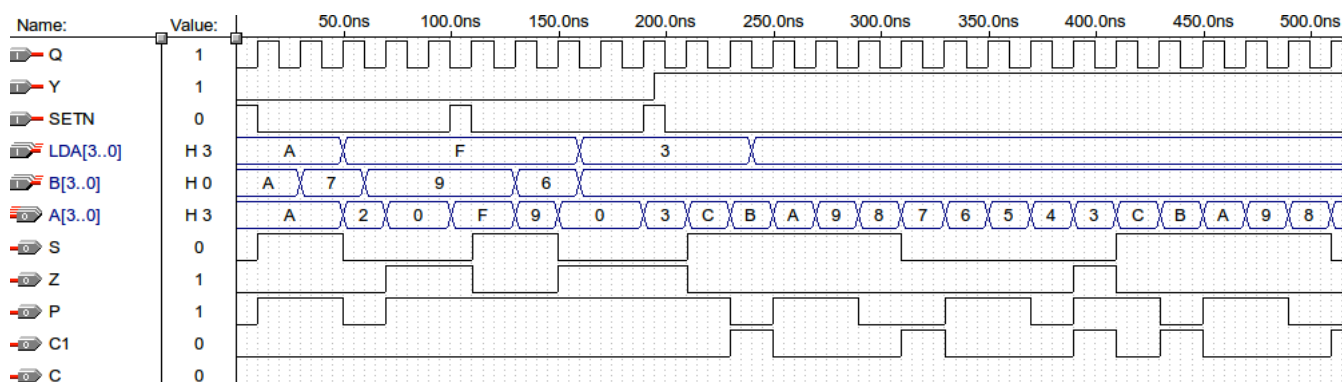


Рисунок 20 — Временная диаграмма результатов моделирования  $OA_2$ .

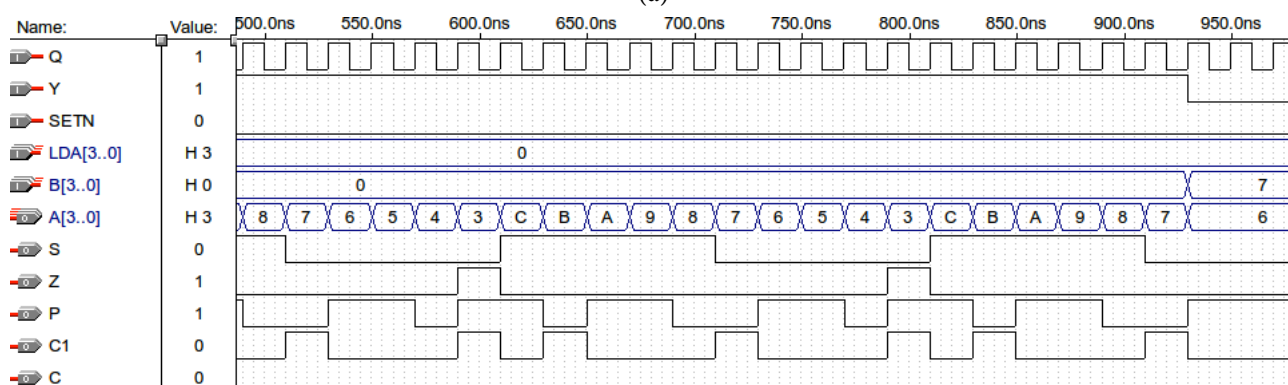
Из диаграммы (Рисунок 20) видно, что схема работает корректно. Значение признака C при выполнении арифметической ( $Y = 1$ ) операции  $OA$  сохраняет.

## 5.4 Моделирование ОА

На рисунке 21 приведена временная диаграмма выполнения логической (для  $Y = 0$ ) и арифметической (для  $Y = 1$ ) операций, иллюстрирующая работу автомата, состоящего из  $ОА_1$  и  $ОА_2$ .



(a)



(б)

Рисунок 21 — Временная диаграмма результатов моделирования ОА.

Из временной диаграммы видно, что результаты выполнения операций и признаки совпадают со значениями из таблиц 2 и 5. Признак  $C$ , 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.