

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого»

Институт компьютерных наук и кибербезопасности  
Высшая школа технологий искусственного интеллекта  
Направление: 02.03.01 Математика и компьютерные науки

Теория алгоритмов

**Курсовая работа**

*«Синтез функциональной схемы электронных часов»*

Вариант 11

Студент,  
группы 5130201/20102

\_\_\_\_\_ Гаар В.С.

Преподаватель

\_\_\_\_\_ Востров А.В.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Санкт-Петербург, 2024

# Содержание

<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>1 Постановка задачи</b>	<b>4</b>
<b>2 Описание объекта управления</b>	<b>5</b>
<b>3 Математическое описание</b>	<b>6</b>
3.1 Модель конечного автомата . . . . .	6
3.2 Реализация графа управляющего автомата . . . . .	6
3.3 Управляющие воздействия . . . . .	9
3.4 Общая структурная схема . . . . .	10
3.5 Кодирование входных и выходных воздействий, состояний автомата . .	12
3.6 Минимизация функций . . . . .	13
<b>4 Схемотехническая реализация</b>	<b>18</b>
4.1 Анализ схемотехнических элементов . . . . .	18
<b>Заключение</b>	<b>19</b>
<b>Список источников</b>	<b>20</b>

# Введение

Данный отчёт содержит в себе информацию о курсовой работе, в ходе выполнения которой было необходимо разработать функциональную схему электронных часов с заданными дополнительными функциями.

На функциональной схеме изображают функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы), участвующие в процессе, иллюстрируемом схемой, и связи между этими частями. Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности процессов, иллюстрируемых схемой.

# 1 Постановка задачи

Построить функциональную схему электронных часов, которые кроме отображения и корректировки времени (минут и часов) выполняют следующие функции, определённые вариантом 2101100:

- A=2: отображают и позволяют корректировать день недели;
- B=1: режим работы часов 24-х часовой;
- C=0: отключение индикаторов с целью экономии электроэнергии отсутствует;
- D=1: останов часов по нажатию кнопки;
- E=1: присутствует простой секундомер (сброс - запуск - останов);
- F=0: звуковая сигнализация отсутствует;
- G=0: звуковой сигнал в устанавливаемое время (будильник) отсутствует.

Для построения управляющих воздействий было необходимо:

1. Построить конечный автомат с состояниями системы часов.
2. Построить и минимизировать функции импульсных и потенциальных команд.
3. Построить функциональную схему часов с данными командами.

## 2 Описание объекта управления

Реализуемые электронные часы содержат индикаторную панель, показывающую время (часы, минуты) и день недели, и внешние кнопки управления а и б.

Для отображения времени используются:

1. Шесть семисегментных дисплеев:
  - старший десятичный разряд часов;
  - младший десятичный разряд часов;
  - старший десятичный разряд минут;
  - младший десятичный разряд минут;
  - первая буква аббревиатуры дня недели;
  - вторая буква аббревиатуры дня недели.
2. Диод, отвечающий за режим работы часов: отображение времени часов/отображение времени секундомера.

Для управления часами используются кнопки внешнего управления – а и б. Входные воздействия на часы возможны нажатием одной из кнопок или их обеих одновременно.

## 3 Математическое описание

### 3.1 Модель конечного автомата

Конечный автомат — абстрактный автомат с конечным числом возможных внутренних состояний.

Конечный автомат возможно формализовать как упорядоченную шестёрку:  $M = (S, \Sigma, Y, s_0, \delta, \lambda)$ , где

- $S$  — множество состояний конечного автомата;
- $\Sigma$  — входной алфавит;
- $Y$  — множество выходных сигналов;
- $s_0$  — начальное состояние;
- $\delta : S \times \Sigma \rightarrow S$  — функция переходов;
- $\lambda : S \times \Sigma \rightarrow Y$  — функция выходов.

Конечный автомат начинает работу в состоянии  $s_0$ , считывает входные воздействия и переходит в соответствующие функции переходов состояния, выводя соответствующие выходные данные.

### 3.2 Реализация графа управляющего автомата

Было выделено 7 состояний  $S = \{S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$ , где

- $S_0$  — состояние отображения времени и дня недели (*time*). В этом состоянии включены все индикаторы для отображения часов, минут и дня недели.
- $S_1$  — состояние коррекции минут (*minutes correction*). В этом состоянии горят только индикаторы минут.
- $S_2$  — состояние коррекции часов (*hours correction*). В этом состоянии горят только индикаторы часов.
- $S_3$  — состояние коррекции дня недели (*day of the week correction*). В этом состоянии горит только индикатор дня недели.
- $S_4$  — состояние отображения времени секундомера (*stopwatch*). На индикаторах — идущее время (минуты и секунды) секундомера.
- $S_5$  — состояние остановленного секундомера (*stopwatch pause*). На индикаторах — минуты и секунды секундомера. В этом состоянии секундомер не отсчитывает время.
- $S_6$  — состояние остановленных часов (*time stop*). На индикаторах — часы, минуты и день недели. В этом состоянии время зафиксировано и не изменяется.

Множество выходных сигналов  $Y = \{z_0, z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6\}$ , где

- $z_0$  – нейтральный сигнал.
- $z_1$  – прибавление единицы к минутам при корректировке;
- $z_2$  – прибавление единицы к часам при корректировке;
- $z_3$  – смена дня недели на следующий при корректировке;
- $z_4$  – запуск секундомера;
- $z_5$  – остановка/запуск секундомера;
- $z_6$  – сброс текущего значения секундомера;
- $z_7$  – остановка/запуск часов.

Входной алфавит  $\Sigma = \{a, b, ab\}$ , где

- $a$  – нажатие кнопки а;
- $b$  – нажатие кнопки b;
- $ab$  – нажатие обеих кнопок.

Начальное состояние  $s_0$  автомата это состояние  $S_0$  – "Отображение времени и дня недели".

Функция переходов и выходов представлены в Табл. 1 и Табл. 2 соответственно.

Таблица 1. Функция переходов  $\delta$

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>ab</b>
<b>S<sub>0</sub></b>	$S_1$	$S_4$	$S_6$
<b>S<sub>1</sub></b>	$S_2$	$S_1$	$S_1$
<b>S<sub>2</sub></b>	$S_3$	$S_2$	$S_2$
<b>S<sub>3</sub></b>	$S_0$	$S_3$	$S_3$
<b>S<sub>4</sub></b>	$S_4$	$S_5$	$S_0$
<b>S<sub>5</sub></b>	$S_5$	$S_4$	$S_0$
<b>S<sub>6</sub></b>	$S_6$	$S_6$	$S_0$

Таблица 2. Функция выходов  $\lambda$

	a	b	ab
$S_0$	$z_0$	$z_0$	$z_7$
$S_1$	$z_0$	$z_1$	$z_0$
$S_2$	$z_0$	$z_2$	$z_0$
$S_3$	$z_0$	$z_3$	$z_0$
$S_4$	$z_4$	$z_5$	$z_0$
$S_5$	$z_6$	$z_5$	$z_0$
$S_6$	$z_0$	$z_0$	$z_7$

На Рис. 1 представлен реализованный конечный автомат.

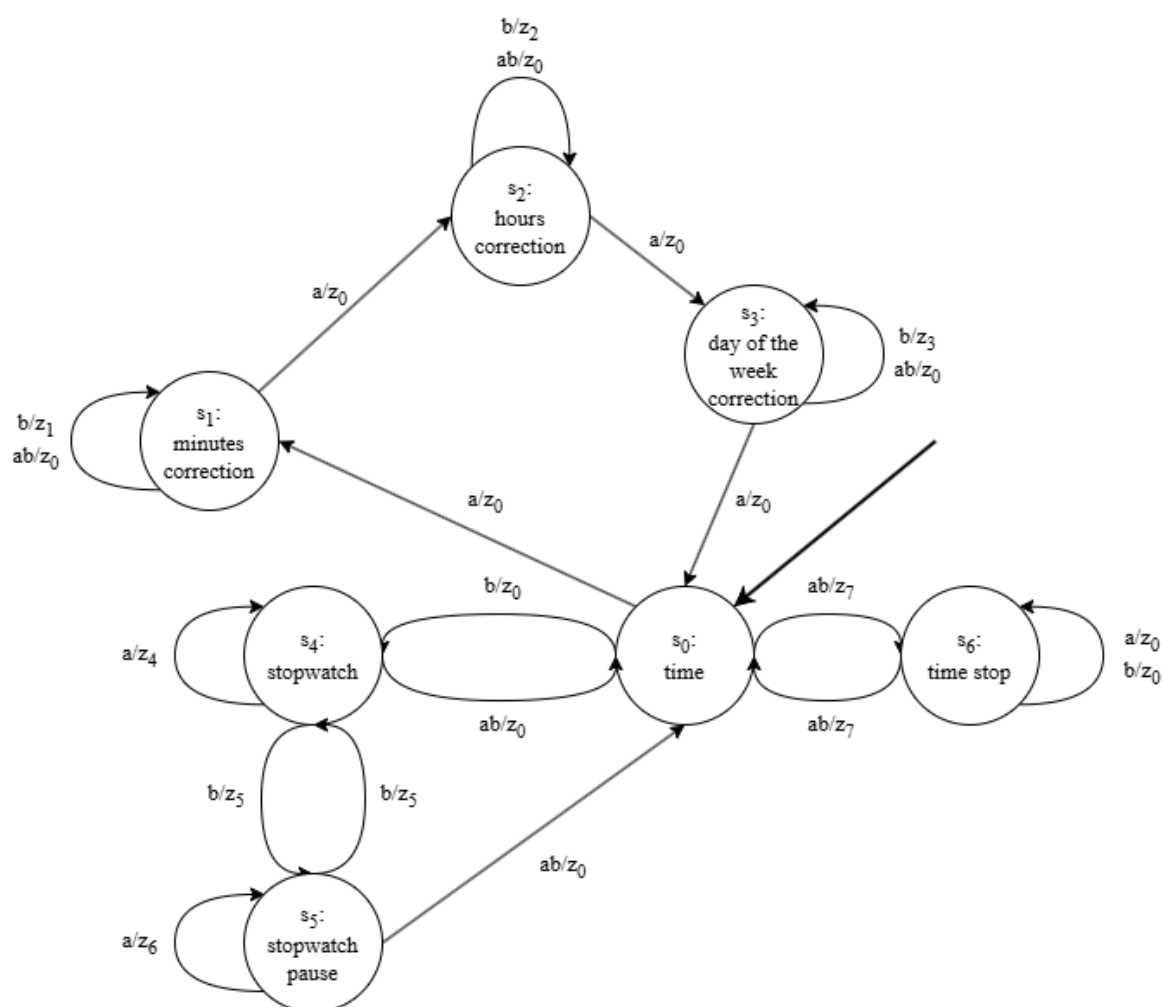


Рис. 1. Конечный автомат

Этому графу переходов соответствует следующая таблица переходов (Табл. 3).



Таблица 3. Таблица переходов

Вход	Текущее состояние	Следующее состояние	Выход
a	$s_0$ : time	$s_1$ : minutes correction	$z_0$
b	$s_0$ : time	$s_4$ : stopwatch	$z_0$
ab	$s_0$ : time	$s_6$ : time stop	$z_7$
a	$s_1$ : minutes correction	$s_2$ : hours correction	$z_0$
b	$s_1$ : minutes correction	$s_1$ : minutes correction	$z_1$
ab	$s_1$ : minutes correction	$s_1$ : minutes correction	$z_0$
a	$s_2$ : hours correction	$s_3$ : day of the week correction	$z_0$
b	$s_2$ : hours correction	$s_2$ : hours correction	$z_2$
ab	$s_2$ : hours correction	$s_2$ : hours correction	$z_0$
a	$s_3$ : day of the week correction	$s_0$ : time	$z_0$
b	$s_3$ : day of the week correction	$s_3$ : day of the week correction	$z_3$
ab	$s_3$ : day of the week correction	$s_3$ : day of the week correction	$z_0$
a	$s_4$ : stopwatch	$s_4$ : stopwatch	$z_4$
b	$s_4$ : stopwatch	$s_5$ : stopwatch pause	$z_5$
ab	$s_4$ : stopwatch	$s_0$ : time	$z_0$
a	$s_5$ : stopwatch pause	$s_5$ : stopwatch pause	$z_6$
b	$s_5$ : stopwatch pause	$s_4$ : stopwatch	$z_5$
ab	$s_5$ : stopwatch pause	$s_0$ : time	$z_0$
a	$s_6$ : time stop	$s_6$ : time stop	$z_0$
b	$s_6$ : time stop	$s_6$ : time stop	$z_0$
ab	$s_6$ : time stop	$s_0$ : time	$z_7$

### 3.3 Управляющие воздействия

Входом в управляющий автомат являются преобразованные внешние воздействия, выходы – это два типа управляющих воздействий: импульсные и потенциальные. Импульсные команды — это кратковременные воздействия, которые подаются в момент нажатия внешних кнопок владельцем часов. Потенциальные команды — это продолжительное воздействие, которое действует в период нахождения автомата в определенном состоянии и может измениться только при переключении автомата в другое состояние.

**Потенциальные команды:**

- $L_1$  – разрешение подачи тактового импульса на счётчики секундомера. При наличии этого сигнала секундомер запускается, при отсутствии – останавливается.
- $L_2$  – управление МС, которое позволяет выводить на индикаторы текущее время или время секундомера.
- $L_3$  – управление подачей сигнала на индикатор минут.

- $L_4$  – управление подачей сигнала на индикатор часов.
- $L_5$  – управление подачей сигнала на индикатор дней недели.
- $L_6$  – разрешение подачи тактового импульса на счётчики часов. При наличии этого сигнала часы идут, при отсутствии – останавливаются.

#### **Импульсные команды:**

- $i_1$  – прибавление единицы к минутам при корректировке;
- $i_2$  – прибавление единицы к часам при корректировке;
- $i_3$  – прибавление единицы к порядковому номеру дня недели;
- $i_4$  – обнулить счетчики секундомера.

### **3.4 Общая структурная схема**

Общая структурная схема представлена на Рис. 2.

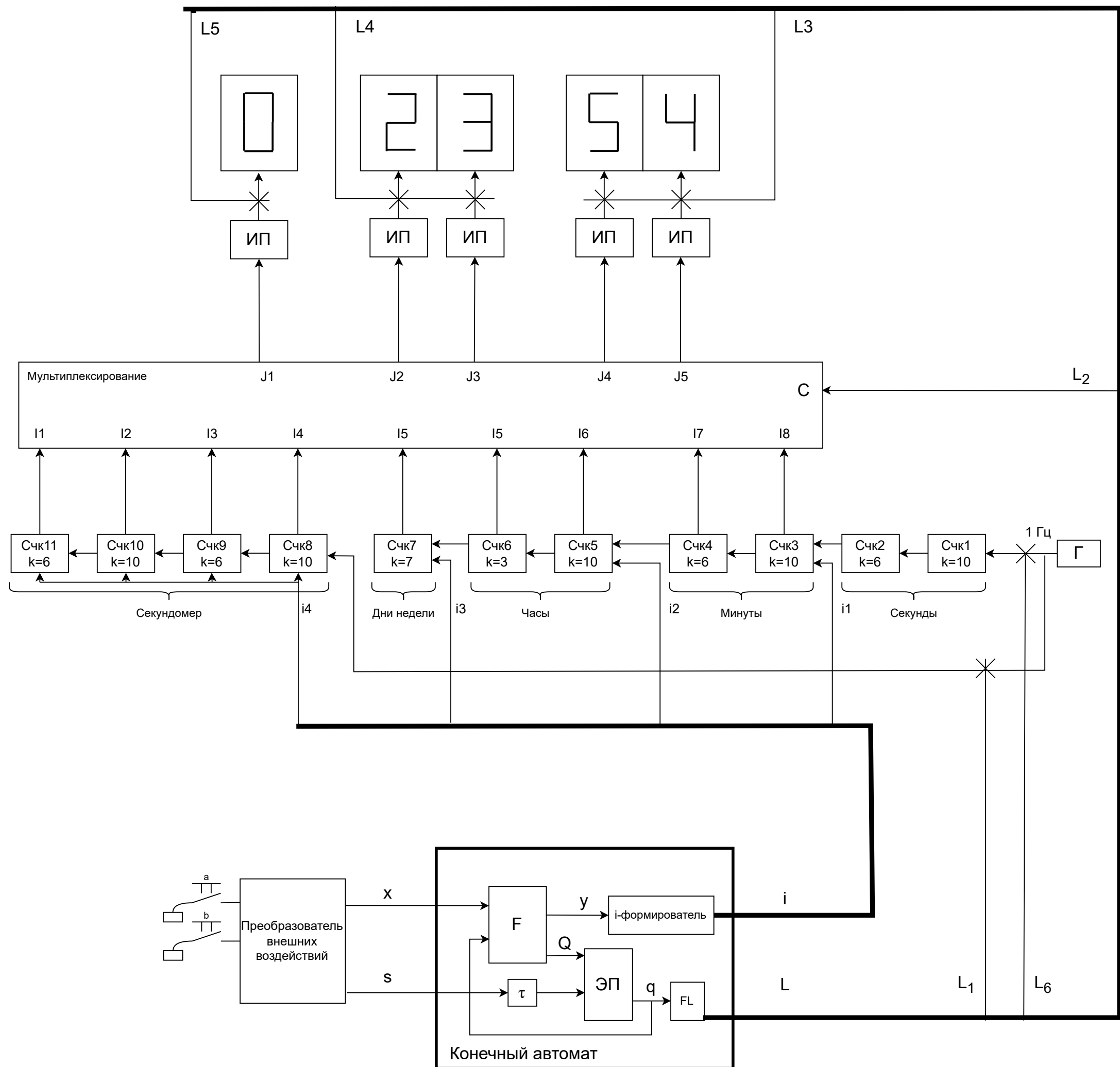


Рис. 2. Общая структурная схема

### 3.5 Кодирование входных и выходных воздействий, состояний автомата

Кодирование входных сигналов, выходных сигналов и состояний автомата представлены в Табл. 4, Табл. 5 и Табл. 6 соответственно.

Таблица 4. Кодирование входных сигналов

	$x_1$	$x_2$
<b>a</b>	1	0
<b>b</b>	0	1
<b>ab</b>	1	1

Таблица 5. Кодирование выходных сигналов

	$y_1$	$y_2$	$y_3$
<b>z<sub>0</sub></b>	0	0	0
<b>z<sub>1</sub></b>	0	0	1
<b>z<sub>2</sub></b>	0	1	0
<b>z<sub>3</sub></b>	0	1	1
<b>z<sub>4</sub></b>	1	0	0
<b>z<sub>5</sub></b>	1	0	1
<b>z<sub>6</sub></b>	1	1	0
<b>z<sub>7</sub></b>	1	1	1

Таблица 6. Кодирование состояний

	$q_1$	$q_2$	$q_3$
<b>S<sub>0</sub></b>	0	0	0
<b>S<sub>1</sub></b>	0	0	1
<b>S<sub>2</sub></b>	0	1	0
<b>S<sub>3</sub></b>	0	1	1
<b>S<sub>4</sub></b>	1	0	0
<b>S<sub>5</sub></b>	1	0	1
<b>S<sub>6</sub></b>	1	1	0

### 3.6 Минимизация функций

В соответствии с закодированными состояниями были построены таблицы истинности для преобразований F и FL (Табл. 7 и Табл. 8).

Таблица 7. Преобразование F

Входы		Текущее состояние			Следующее состояние			Выход						
x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	i <sub>1</sub>	i <sub>2</sub>	i <sub>3</sub>	i <sub>4</sub>
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0
1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0

Таблица 8. Преобразование FL

	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
2	0	1	0	0	0	0	1	0	1
3	0	1	1	0	0	0	0	1	1
4	1	0	0	1	1	1	1	0	1
5	1	0	1	0	1	1	1	0	1
6	1	1	0	0	0	1	1	1	0

### 3.6.1 Минимизация для $Q_1$ - $Q_3$

По Табл. 7 были построены формулы для  $Q_1, Q_2, Q_3$ . На Рис. 3 приведены карты Карно для минимизации  $Q_1, Q_2, Q_3$  соответственно.

$q_1q_2q_3$ $ab$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	x	x	x	x	x	x	x	x
01	1	0	0	0	1	0	1	1
11	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1	0	1	1

(a)

$q_1q_2q_3$ $ab$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	x	x	x	x	x	x	x	x
01	0	0	1	1	1	0	0	0
11	1	0	1	1	0	0	0	0
10	0	1	0	1	1	0	0	0

(b)

$q_1q_2q_3$ $ab$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	x	x	x	x	x	x	x	x
01	0	1	1	0	0	0	0	1
11	0	1	1	0	0	0	0	0
10	1	0	0	1	0	0	1	0

(c)

Рис. 3. Карты карно для (a)  $Q_1$ ; (b)  $Q_2$ ; (c)  $Q_3$ .

$$Q_1 = \neg x_2 q_1 \neg q_2 + \neg x_2 q_1 \neg q_3 + \neg x_1 q_1 \neg q_2 + \neg x_1 q_1 \neg q_3 + x_2 \neg q_1 \neg q_2 \neg q_3$$

$$Q_2 = \neg x_2 q_2 \neg q_3 + \neg x_1 q_2 \neg q_3 + x_2 \neg q_1 q_2 + \neg x_2 \neg q_1 \neg q_2 q_3 + x_1 x_2 \neg q_1 \neg q_3$$

$$Q_3 = \neg x_2 \neg q_1 \neg q_3 + x_2 \neg q_1 q_3 + \neg x_2 q_1 \neg q_2 q_3 + \neg x_1 q_1 \neg q_2 \neg q_3$$

### 3.6.2 Минимизация для $y_1$ - $y_3$

По Табл. 7 были построены формулы для  $y_1, y_2, y_3$ . На Рис. 4 приведены карты Карно для минимизации  $y_1, y_2, y_3$  соответственно.

q1q2q3 ab	000	001	011	010	110	111	101	100
00	x	x	x	x	x	x	x	x
01	0	0	0	0	0	0	1	1
11	1	0	0	0	1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1	1

(a)

q1q2q3 ab	000	001	011	010	110	111	101	100
00	x	x	x	x	x	x	x	x
01	0	0	1	1	0	0	0	0
11	1	0	0	0	1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1	0

(b)

q1q2q3 ab	000	001	011	010	110	111	101	100
00	x	x	x	x	x	x	x	x
01	0	1	1	0	0	0	1	1
11	1	0	0	0	1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0

(c)

Рис. 4. Карты карно для (a)  $y_1$ ; (b)  $y_2$ ; (c)  $y_3$ .

$$y_1 = \neg x_2 q_1 \neg q_2 + \neg x_1 q_1 \neg q_2 + x_1 x_2 q_1 q_2 \neg q_3 + x_1 x_2 \neg q_1 \neg q_2 \neg q_3$$

$$y_2 = \neg x_1 \neg q_1 q_2 + \neg x_2 q_1 \neg q_2 q_3 + x_1 x_2 q_1 q_2 \neg q_3 + x_1 x_2 \neg q_1 \neg q_2 \neg q_3$$

$$y_3 = \neg x_1 q_1 \neg q_2 + \neg x_1 \neg q_1 q_3 + x_1 x_2 q_1 q_2 \neg q_3 + x_1 x_2 \neg q_1 \neg q_2 \neg q_3$$

### 3.6.3 Минимизация для $i_1$ - $i_4$

По Табл. 7 были построены формулы для  $i_1, i_2, i_3, i_4$ . На Рис. 5 приведены карты Карно для минимизации  $i_1, i_2, i_3, i_4$  соответственно.

q1q2q3 ab	000	001	011	010	110	111	101	100
00	x	x	x	x	x	x	x	x
01	0	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0

(a)

q1q2q3 ab	000	001	011	010	110	111	101	100
00	x	x	x	x	x	x	x	x
01	0	0	0	1	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0

(b)

q1q2q3 ab	000	001	011	010	110	111	101	100
00	x	x	x	x	x	x	x	x
01	0	0	1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0

(c)

q1q2q3 ab	000	001	011	010	110	111	101	100
00	x	x	x	x	x	x	x	x
01	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	1	0

(d)

Рис. 5. Карты карно для (a)  $i_1$ ; (b)  $i_2$ ; (c)  $i_3$ ; (d)  $i_4$ .

$$i_1 = \neg x_1 \neg q_1 \neg q_2 q_3$$

$$i_2 = \neg x_1 \neg q_1 q_2 \neg q_3$$

$$i_3 = \neg x_1 \neg q_1 q_2 q_3$$

$$i_4 = \neg x_2 q_1 \neg q_2 q_3$$

### 3.6.4 Минимизация для $L_1$ - $L_6$

По Табл. 8 были построены формулы для  $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6$ . На Рис. 6 приведены карты Карно для минимизации  $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6$  соответственно.

$\begin{smallmatrix} q_2 q_3 \\ q_1 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	1	1	0	X

(a)

$\begin{smallmatrix} q_2 q_3 \\ q_1 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	1	1	1	X

(b)

$\begin{smallmatrix} q_2 q_3 \\ q_1 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
0	1	1	0	0
1	1	1	X	1

(c)

$\begin{smallmatrix} q_2 q_3 \\ q_1 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
0	1	0	0	1
1	1	1	X	1

(d)

$\begin{smallmatrix} q_2 q_3 \\ q_1 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
0	1	0	1	0
1	0	0	X	1

(e)

$\begin{smallmatrix} q_2 q_3 \\ q_1 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
0	1	1	1	1
1	1	1	X	0

(f)

Рис. 6. Карты карно для (a)  $L_1$ ; (b)  $L_2$ ; (c)  $L_3$ ; (d)  $L_4$ ; (e)  $L_5$ ; (f)  $L_6$ .

$$L_1 = q_1 \neg q_2 \neg q_3$$



$$L_2 = q_1 \neg q_2$$

$$L_3 = q_1 + \neg q_2$$

$$L_4 = q_1 + \neg q_3$$

$$L_5 = q_1 q_2 + q_2 q_3 + \neg q_1 \neg q_2 \neg q_3$$

$$L_6 = \neg q_1 + \neg q_2$$

## 4 Схемотехническая реализация

### 4.1 Анализ схемотехнических элементов

#### 4.1.1 Индикаторный преобразователь (ИП)

## Заключение

## Список источников

- [1] Теория алгоритмов [Электронный ресурс] URL: <https://tema.spbstu.ru/algorithm/> (дата обращения 10.12.2024).
- [2] sublime.tools. Карта карно [Электронный ресурс] URL: <https://sublime.tools/ru/karta-karno> (дата обращения 10.12.2024).