

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО 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

Отчет по курсовой работе

по дисциплине «Теория алгоритмов»

Синтез функциональной схемы часов

Вариант № 21

Обучающийся: _____

Шихалев А.О.

Преподаватель: _____

Востров А.В.

«_____» _____ 20____ г.

Санкт-Петербург, 2025

Содержание

Введение	3
1 Постановка задачи	4
2 Математическое описание	5
2.1 Конечный автомат	5
2.2 Синтезированный граф конечного автомата для часов	5
2.2.1 Входы конечного автомата	7
2.2.2 Состояния конечного автомата	7
2.2.3 Выходы конечного автомата	9
2.3 Управляющие воздействия	9
2.4 Таблица истинности для преобразования FL	10
2.5 Таблица истинности для преобразований F	10
2.6 Минимизация для $Q_1 - Q_3$	11
2.7 Минимизация для $L_1 - L_6$	13
2.8 Минимизация для $i_1 - i_4$	14
3 Схемотехническая реализация	17
3.1 Анализ схемотехнической реализации	17
3.1.1 Индикаторный преобразователь	17
3.1.2 Счётчик	19
3.1.3 Тактовый генератор	19
3.1.4 Тоннель	20
3.1.5 D-триггер	20
3.1.6 Преобразователь внешних воздействий	21
3.1.7 Блок элементов памяти	21
3.1.8 Блок F	22
3.1.9 Блок FL	24
3.1.10 i-формирователь	25
3.1.11 Интерфейс часов	25
3.1.12 Секундомер	26
3.2 Расчёт площади схемы	26
Заключение	28
Список использованной литературы	29
Приложение. Общая функциональная схема часов	29

Введение

Курсовая работа представляет из себя спроектированную схему, реализующую поведение часов со следующими характеристиками:

- Отображение и корректировка минут, часов в 12-часовом формате.
- Простой секундомер (сброс-запуск-остановка).
- Остановка часов по нажатию кнопки.

Курсовая работа реализована в Logisim 2.7.1.

1 Постановка задачи

Требуется построить функциональную схему электронных часов в соответствии с вариантом 1001100 (21 Вариант):

- Отображение и корректировка минут, часов.
- 12-и часовой формат времени.
- Простой секундомер (сброс-запуск-остановка).
- Остановка часов по нажатию кнопки.

Для построения функциональной схемы часов требуется выполнить следующие 6 этапов:

1. Построить граф управляющего автомата часов и дать пояснения к нему.
2. Провести кодирование входных и выходных воздействий и состояний автомата.
3. Построить минимизацию функций блоков F и FL.
4. Построить общую функциональную схему. При этом необходимо четко описать алгоритм работы и уметь объяснить принцип проектирования всех блоков.
5. Определить (приблизительно) площадь микросхемы, реализующей построенную функциональную схему при современной плотности компоновки транзисторов.

2 Математическое описание

2.1 Конечный автомат

Математическая модель дискретного устройства, которая описывается набором $S = (S, X, Z, \delta, \lambda, a_0)$, где

- $S = \{s_0, \dots, s_m, \dots, s_M\}$ — множество состояний;
- $X = \{x_1, \dots, x_f, \dots, x_F\}$ — множество входных сигналов;
- $Z = \{z_1, \dots, z_g, \dots, z_G\}$ — множество выходных сигналов;
- Δ — функция переходов КА, которая $(s_m, x_f) \rightarrow s_s$, т.е. $s_s = \delta(s_m, x_f)$, $s_s \in S$.
- Λ — функция выходов КА, которая $(s_m, x_f) \rightarrow z_g$, т.е. $z_g = \lambda(s_m, x_f)$, $z_g \in Z$.
- s_0 — начальное состояние.

Конечный автомат работает в дискретные моменты времени, и в момент времени $t=0$ автомат всегда находится в состоянии s_0 .

Управление часами несложно задать при помощи конечного автомата Мили.

2.2 Синтезированный граф конечного автомата для часов

На [рисунке 1](#) изображён граф конечного автомата для часов:

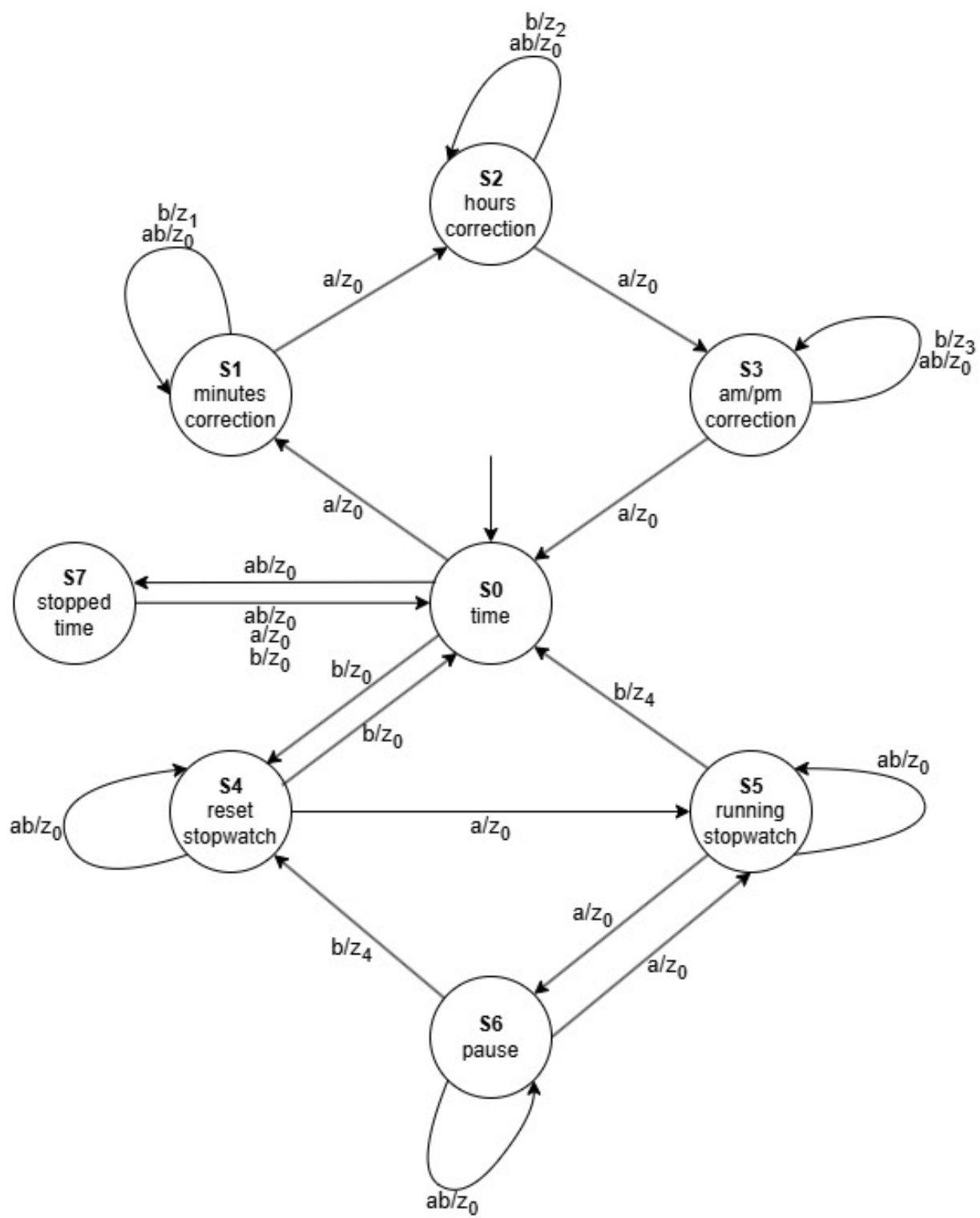


Рис. 1. Граф конечного автомата для часов

2.2.1 Входы конечного автомата

Входной алфавит конечного автомата состоит из 4-х элементов: по отдельности нажатые кнопки a , b и зажатые вместе кнопки ab .

$$X = \{a, b, ab\}$$

Входной алфавит можно закодировать следующим образом:

- $a \rightarrow 00$
- $b \rightarrow 01$
- $ab \rightarrow 10$

2.2.2 Состояния конечного автомата

Описание состояний и переходов управляющего автомата:

- s_0 **time** - состояние отображения текущего времени. На индикаторах значения часов, минут.
- s_1 **minutes correction** - состояние корректировки минут. При переходе в это состояние гаснут индикаторы отображения часов. Однократное нажатие кнопки "b" добавляет единицу к значению минут, отображаемому на индикаторе минут.
- s_2 **hours correction** - состояние корректировки часов. Свидетельством того, что часы готовы к корректировке часов, является погасшие индикаторы отображения минут и am/pm. Однократное нажатие кнопки "b" добавляет единицу к значению часов.
- s_3 **am/pm correction** - состояние смены am на pm и наоборот – производится при нажатии на кнопку "b".
- s_4 **reset stopwatch** - состояние остановленного секундомера. На индикаторах - минуты и секунды секундомера, они отображаются вместо часов и минут. В этом состоянии секундомер не отсчитывает время. Нажатием кнопки "b" возможно сбросить накопленное отображаемое значение, нажатием кнопки "a" - запустить секундомер.
- s_5 **running stopwatch** - состояние запущенного секундомера. На индикаторах - идущее время (минуты и секунды) секундомера. Нажатием кнопки "a" можно поставить секундомер на паузу (иначе говоря, перевести его в состояние pause). Нажатием кнопки "b" часы можно перевести в состояние отображения времени, секундомер при этом сбросится.
- s_6 **pause** - состояние поставленного на паузу секундомера. При нажатии на кнопку "a" секундомер возобновит свою работу – перейдет в состояние running stopwatch. В случае нажатия на кнопку "b" будет произведен сброс секундомера и переход в состояние reset stopwatch.

s_7 **stopped time** - состояние установки минут будильника. При переходе в это состояние гаснут индикаторы отображения часов и am/pm. Нажатие на любую кнопку вернет часы в исходное состояние time.

Функция переходов КА представлена в [таблице 1](#):

Δ	a	b	ab
s_0	s_1	s_4	s_7
s_1	s_2	s_1	s_1
s_2	s_3	s_2	s_2
s_3	s_0	s_3	s_3
s_4	s_5	s_0	s_4
s_5	s_6	s_0	s_5
s_6	s_5	s_4	s_6
s_7	s_0	s_0	s_0

Таблица 1. Таблица функции переходов конечного автомата.

Множество состояний конечного автомата выглядит следующим образом:

$$S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7\}$$

Также следует отметить, что начальным состоянием конечного автомата является состояние s_0 - time.

В [таблице 2](#) приведены коды необходимых для реализации состояний.

Состояние	Расшифровка	Код
s_0	time	000
s_1	minutes correction	001
s_2	hours correction	010
s_3	am/pm correction	011
s_4	reset stopwatch	100
s_5	running stopwatch	101
s_6	pause	110
s_7	stopped time	111

Таблица 2. Коды состояний

2.2.3 Выходы конечного автомата

Описание выходов управляющего автомата:

- z_0 - Нейтральный сигнал;
- z_1 - Корректировка минут;
- z_2 - Корректировка часов;
- z_3 - Смена am/pm;
- z_4 - Сброс секундомера;

В таком случае множество выходов конечного автомата можно записать следующим образом:

$$Z = \{z_0, z_1, z_2, z_3, z_4\}$$

В [таблице 3](#) представлена функция выходов конечного автомата:

Λ	a	b	ab
s_0	z_0	z_0	z_0
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_0	z_0	z_0
s_5	z_0	z_4	z_0
s_6	z_0	z_4	z_0
s_7	z_0	z_0	z_0

Таблица 3. Таблица функции выходов конечного автомата.

2.3 Управляющие воздействия

Входом в управляющий автомат являются преобразованные внешние воздействия, выходы – это два типа управляющих воздействий: импульсные и потенциальные.

Импульсные микрокоманды – это кратковременные воздействия, которые подаются в момент нажатия внешних кнопок владельцем часов. Значение импульсной микрокоманды (кратковременное воздействие) может быть отлично от нуля лишь во время перехода из одного состояния в другое. В [таблице 4](#) приведены импульсные микрокоманды.

Обозначение	Расшифровка
i_1	Добавление единицы в счётчик минут
i_2	Добавление единицы в счётчик часов
i_3	Смена am/pm
i_4	Сброс секундомера

Таблица 4. Импульсные микрокоманды

Потенциальные микрокоманды – это продолжительное воздействие, которое действует в период нахождения автомата в определенном состоянии и может измениться только при переключении автомата в другое состояние. В [таблице 5](#) приведены потенциальные микрокоманды.

Обозначение	Расшифровка
L_1	Отображение минут
L_2	Отображение часов
L_3	Отображение am/pm
L_4	Отображение секунд и минут у секундомера
L_5	Подключение счетчиков часов к генератору тактовых импульсов
L_6	Подключение счетчиков секундомера к генератору тактовых импульсов

Таблица 5. Импульсные микрокоманды

2.4 Таблица истинности для преобразования FL

Связь состояний конечного автомата с потенциальными микрокомандами представлена в [таблице 6](#).

s_i	q_1	q_2	q_3	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
s_0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
s_1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
s_2	0	1	0	0	1	0	0	0	0
s_3	0	1	1	0	0	1	0	0	0
s_4	1	0	0	0	0	0	1	1	0
s_5	1	0	1	0	0	0	1	1	1
s_6	1	1	0	0	0	0	1	1	0
s_7	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Таблица 6. Таблица состояний и связанных с ними потенциальных микрокоманд

S_i – состояние часов, q_1 – q_3 – кодировка состояния часов, L_1 – L_6 – управляющие потенциальные микрокоманды.

2.5 Таблица истинности для преобразований F

В [таблице 7](#) представлена таблица истинности кодирования переходов состояний и импульсных микрокоманд. a(00), b(01), ab(10) - входы с кнопок, q_1 – q_3 – кодировка текущего состояния часов, Q_1 – Q_3 – кодировка следующего состояния часов, i_1 – i_4 - управляющие импульсные микрокоманды.

S_i	Вход		Текущее состояние			Следующее состояние			Выход			
	x_1	x_2	q_1	q_2	q_3	Q_1	Q_2	Q_3	i_1	i_2	i_3	i_4
S_0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
S_1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
S_2	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
S_3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0
	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
S_4	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
S_5	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
S_6	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1
	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
S_7	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Таблица 7. Таблица состояний часов и связанных с ними импульсных микрокоманд

2.6 Минимизация для $Q_1 - Q_3$

На [рисунках 2-4](#) приведены минимизации для разрядов Q_1-Q_3 кодировки состояния конечного автомата при помощи карт Карно.

$\begin{matrix} q_1 q_2 q_3 \\ x_1 x_2 \end{matrix}$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	1	0	1	1
01	1	0	0	0	1	0	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	1	0	0	0	1	0	1	1

Результат

$$F = x_1 \overline{q_2} \overline{q_3} + \overline{x_2} q_1 \overline{q_2} + q_1 q_2 \overline{q_3} + x_2 \overline{q_1} \overline{q_2} \overline{q_3}$$

Рис. 2. Минимизация для Q_1

$\begin{matrix} q_1 q_2 q_3 \\ x_1 x_2 \end{matrix}$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	1	0	1	0	0	1	0
01	0	0	1	1	0	0	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	1	0	1	1	1	0	0	0

Результат

$$F = x_1 q_2 \overline{q_3} + x_1 \overline{q_1} q_2 + x_1 \overline{q_1} \overline{q_3} + x_2 \overline{q_1} q_2 + \overline{q_1} q_2 \overline{q_3} + \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{q_2} q_3$$

Рис. 3. Минимизация для Q_2

$q_1q_2q_3$ x_1x_2	000	001	011	010	110	111	101	100
00	1	0	0	1	1	0	0	1
01	0	1	1	0	0	0	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	1	1	1	0	0	0	1	0

Результат

$$F = x_1 \overline{q_2} q_3 + x_1 \overline{q_1} q_3 + x_1 \overline{q_1} \overline{q_2} + x_2 \overline{q_1} q_3 + \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{q_3}$$

Рис. 4. Минимизация для Q_3

2.7 Минимизация для $L_1 - L_6$

На [рисунках 5–10](#) приведены минимизации для потенциальных управляющих сигналов L_1-L_6 кодировки при помощи карт Карно.

q_2q_3 q_1	00	01	11	10
0	1	1	0	0
1	0	0	0	0

Результат

$$F = \overline{q_1} \overline{q_2}$$

Рис. 5. Минимизация для L_1

q_2q_3 q_1	00	01	11	10
0	1	0	0	1
1	0	0	0	0

Результат

$$F = \overline{q_1} \overline{q_3}$$

Рис. 6. Минимизация для L_2

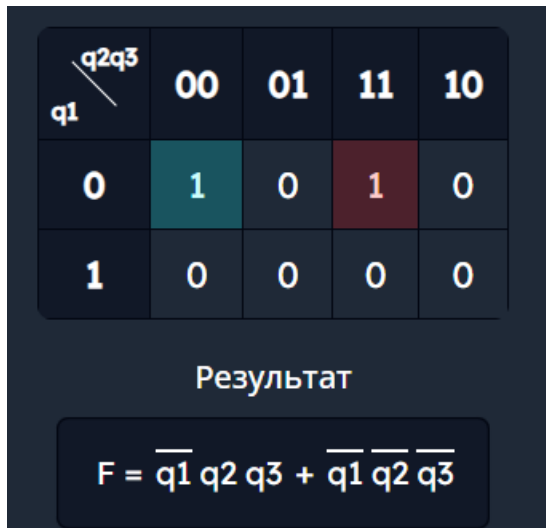


Рис. 7. Минимизация для L_3

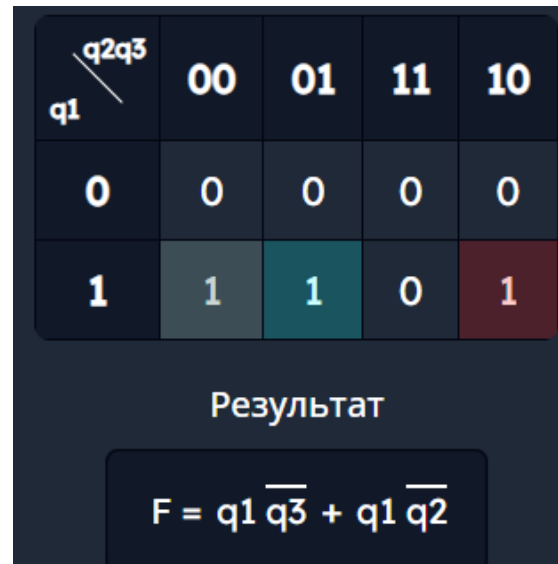


Рис. 8. Минимизация для L_4

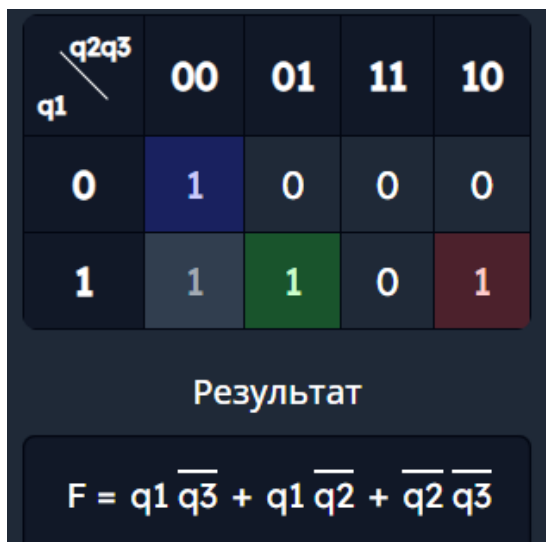


Рис. 9. Минимизация для L_5

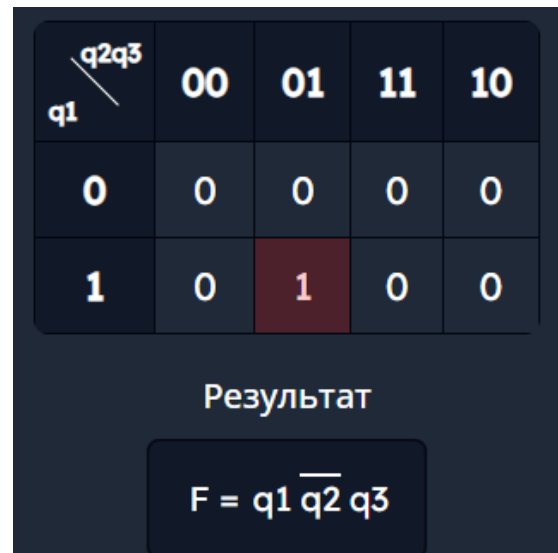


Рис. 10. Минимизация для L_6

2.8 Минимизация для $i_1 - i_4$

На [рисунках 11–14](#) представлены минимизации для импульсных управляющих сигналов $i_1 - i_4$ кодировки при помощи карт Карно.

$q_1q_2q_3$ x_1x_2	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	0	0	0
01	0	1	0	0	0	0	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	0	0	0	0	0	0	0	0

Результат

$$F = x_2 \overline{q_1} \overline{q_2} q_3$$

Рис. 11. Минимизация для i_1

$q_1q_2q_3$ x_1x_2	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	0	0	0
01	0	0	0	1	0	0	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	0	0	0	0	0	0	0	0

Результат

$$F = x_2 \overline{q_1} q_2 \overline{q_3}$$

Рис. 12. Минимизация для i_2

q1q2q3 x1x2	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	0	0	0
01	0	0	1	0	0	0	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	0	0	0	0	0	0	0	0

Результат

$$F = x_2 \overline{q_1} q_2 q_3$$

Рис. 13. Минимизация для i_3

q1q2q3 x1x2	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	1	0	1	1
01	0	0	0	0	0	0	1	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	0	0	0	0	0	0	0	0

Результат

$$F = \overline{x_1} q_1 \overline{q_2} q_3 + \overline{x_1} \overline{x_2} q_1 \overline{q_3}$$

Рис. 14. Минимизация для i_4

3 Схемотехническая реализация

3.1 Анализ схемотехнической реализации

3.1.1 Индикаторный преобразователь

Индикаторный преобразователь (ИП) — это функциональная схема, предназначенная для преобразования числовой информации, представленной в двоичном коде, в сигналы, управляющие сегментами индикатора. В каждом разряде индикатор содержит семь сегментов, которые, высвечиваясь в определенной комбинации, могут дать изображение цифры. Для того, чтобы сегмент "загорелся", на него необходимо подать напряжение. Таким образом, один разряд индикатора содержит 7 входов. Если на некоторые из этих входов подать напряжение, а на остальные — нет, то на индикаторе высветится соответствующая комбинация сегментов. Условное изображение схемы индикаторного преобразователя представлено на [рисунке 15](#), а его структурная схема на [рисунке 16](#).

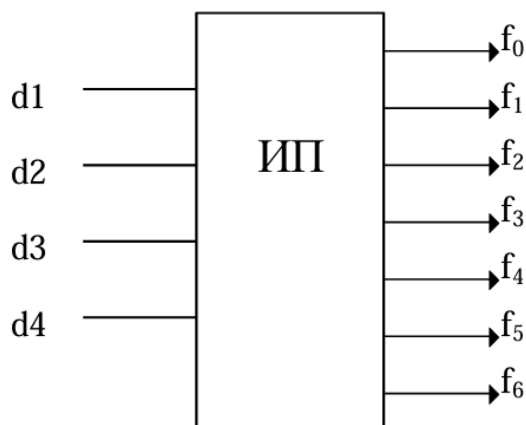


Рис. 15. Схема ИП

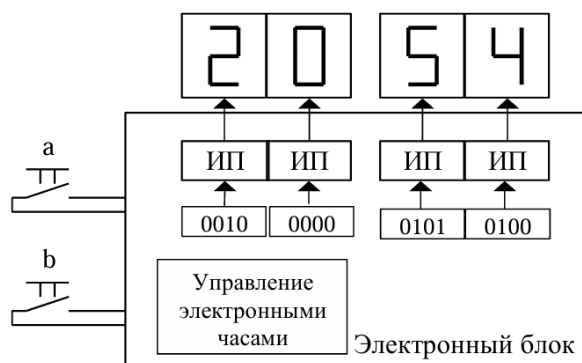


Рис. 16. Структурная схема ИП

В данной работе был создан ИП для отображения цифр от 0 до 9 включительно, его функциональная схема представлена на [рисунке 17](#).

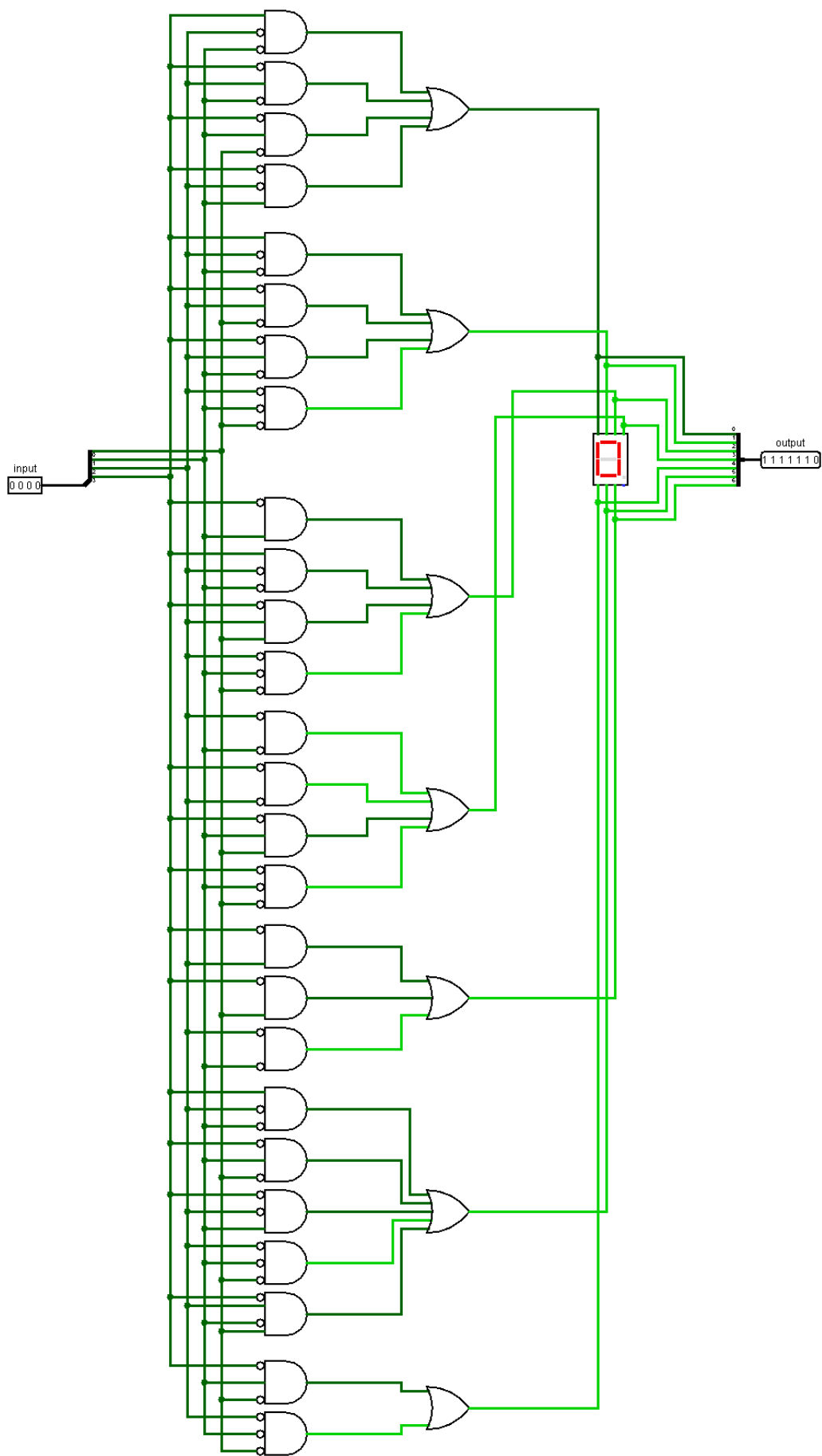


Рис. 17. Функциональная схема индикаторного преобразователя

3.1.2 Счётчик

Счётчик – это устройство, которое осуществляет счет и хранение кода числа подсчитанных импульсов. У каждого счетчика есть тактовый вход, на который поступают электрические импульсы, и несколько выходов, с которых можно снимать двоичный код числа, находящийся в счетчике. С каждым новым входным импульсом этот код изменяется: он может увеличиваться на 1 (суммирующий счетчик), уменьшаться на 1 (вычитающий счетчик) или изменяться в соответствии с каким-либо другим правилом.

Важным параметром счетчика является **коэффициент пересчета К**. К - это максимальное число импульсов, которое может быть подсчитано. Для удобства использования счетчика, кроме тактового входа существует вход “Уст.0” (сброс). При подаче на него импульса (логической единицы) на выходе устанавливается нулевой код.

Функциональная схема счетчика с коэффициентом пересчёта $K = 10$, используемая в данной работе, представлена на [рисунке 18](#).

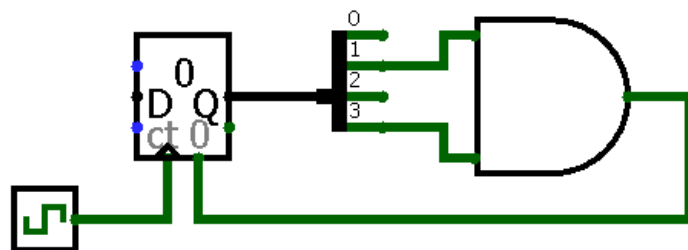


Рис. 18. Функциональная схема счётчика с $K=10$

3.1.3 Тактовый генератор

Генератор тактовых импульсов — это компонент, который генерирует последовательную череду электрических сигналов (прямоугольных импульсов) с фиксированной частотой, используемых для синхронизации работы цифровых схем, таких как счётчики, триггеры и регистры. В данной работе, один такт генератора импульсов эквивалентен интервалу в одну секунду на часах, т.е. частоте 1 Гц.

Функциональная схема тактового генератора, используемая в данной работе, представлена на [рисунке 19](#).



Рис. 19. Функциональная схема генератора тактовых импульсов

3.1.4 Тоннель

Тоннель – это компонент, который используется для упрощения схем, сокращая длину проводников. Тоннель позволяет подключать элементы, расположенные на разных частях схемы, без необходимости протягивать длинные провода через весь рабочий участок. Он действует как виртуальная связь, передавая сигнал из одного места схемы в другое. Тоннель имеет только один контакт, разрядность которого соответствует атрибуту «Биты данных» тоннеля.

Функциональная схема тоннеля `sec_units`, отвечающего за передачу сигнала, который представляет единицы секунд на часах и имеющего разрядность 4 бита представлена на [рисунке 20](#).

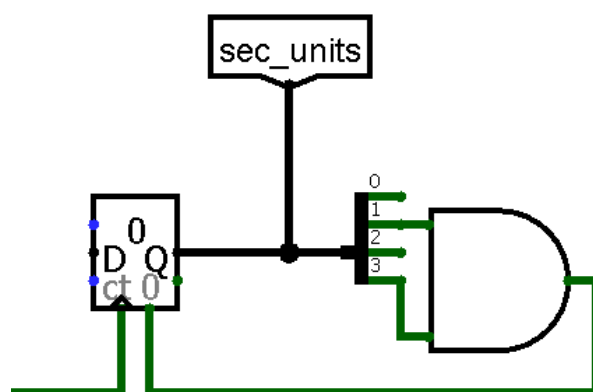


Рис. 20. Функциональная схема тоннеля

3.1.5 D-триггер

Триггер – это устройство с двумя устойчивыми состояниями. Основная его функция – хранить один бит информации неограниченное время до тех пор, пока эта информация не будет изменена воздействием на вход триггера. Существует довольно много разновидностей триггеров, различающихся по входным условиям смены состояния.

В данной работе используется D-триггер, представленный на [рисунке 21](#). D-триггер (или D-Flip-Flop) – это базовый элемент памяти, который сохраняет значение, поданное на его вход **D**, на выходе **Q** до следующего тактового сигнала.

D-триггер имеет несколько ключевых входов:

- **D** – вход данных, на который подается значение, которое будет сохранено в триггере.
- **Clock (C)** – тактовый сигнал, который управляет моментом записи данных на выход. Запись происходит на фронте тактового сигнала (обычно на переднем фронте).
- **Q** – основной выход, на котором сохраняется информация, поступившая на вход **D**.
- **Q'** – инвертированный выход, который является логическим дополнением выхода **Q**.

D-триггер сохраняет значение на выходе **Q** до тех пор, пока не будет активирован тактовый сигнал. Когда тактовый сигнал меняет свое состояние (например, с 0 на 1), информация с входа **D** копируется в триггер и сохраняется на выходе **Q**. Это значение будет сохраняться до следующего тактового импульса.

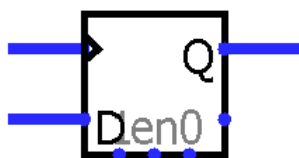


Рис. 21. Функциональная схема триггера

3.1.6 Преобразователь внешних воздействий

Функциональная схема преобразователя внешних воздействий (рис. 22) предназначена для преобразования сигналов, поступающих с кнопок, в закодированные сигналы. Она реализует функциональность конечного автомата, где на основе нажатия кнопок формируются выходные сигналы в виде кодов 00, 01 или 10. Кроме того, в схеме используется синхроимпульс — импульс, поступающий от кнопки, который синхронизирует обновление состояния конечного автомата. Этот импульс подается на вход **Clock** D-триггера, что заставляет триггер запомнить текущее состояние.

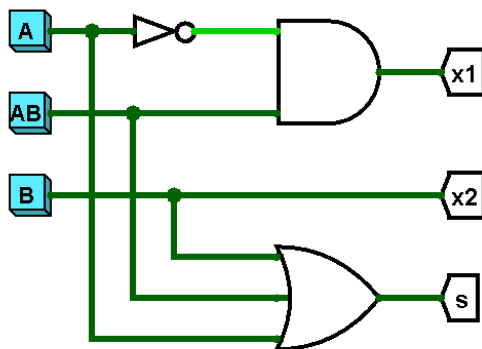


Рис. 22. Функциональная схема преобразователя внешних воздействий

3.1.7 Блок элементов памяти

Блок элементов памяти представляет собой ряд D-триггеров, которые отвечают за хранение текущего состояния автомата. Каждый D-триггер сохраняет один бит информации, необходимой для представления состояния системы.

Работа этого блока синхронизируется с помощью **синхроимпульса** — тактового сиг-

нала, который подается на вход **Clock** каждого триггера. Синхроимпульс определяет момент времени, когда данные, поступающие на входы триггеров, записываются в их внутреннюю память. Это позволяет всей системе обновлять свое состояние строго в согласованные моменты времени, исключая возможные ошибки или несоответствия между состояниями отдельных триггеров.

Синхроимпульс формируется генерируется внутри схемы в ответ на нажатие кнопки. При поступлении синхроимпульса все триггеры одновременно фиксируют свои входные значения на выходах, сохраняя новое состояние автомата. Функциональная схема блока элементов памяти в составе i-формирователя (см. [раздел i-формирователя](#)) представлена на [рисунке 23](#).

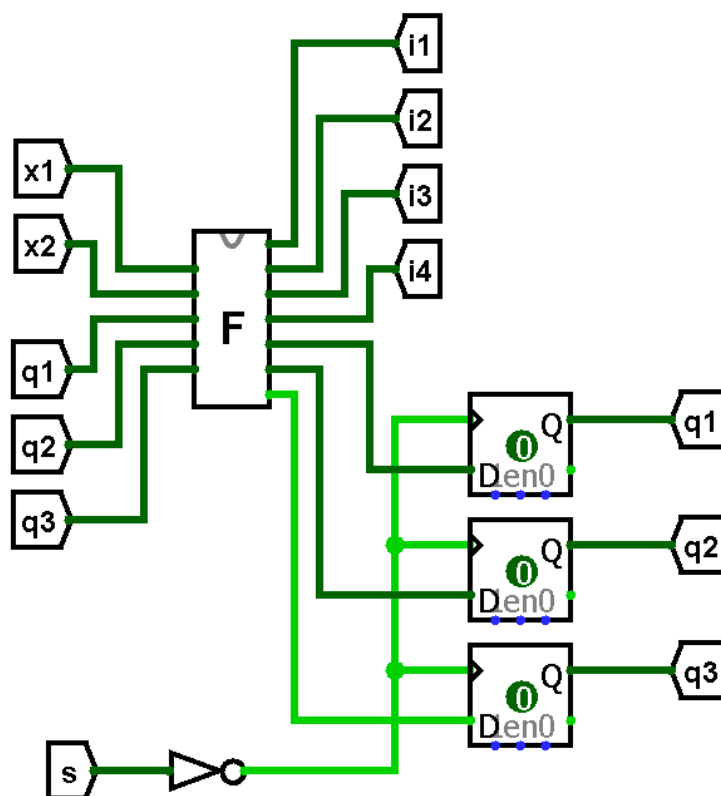


Рис. 23. Функциональная схема i-формирователя с блоком элементов памяти

3.1.8 Блок F

Блок F отвечает за вычисление следующего состояния конечного автомата, а также вычисляет, требуется ли по текущему входу и текущему состоянию формировать импульсный сигнал. Сам блок представляет из себя множество логических блоков, рассматривающих каждую ситуацию изменения состояния конечного автомата и формирования импульсного сигнала. Блок F представлен на [рисунке 24](#).

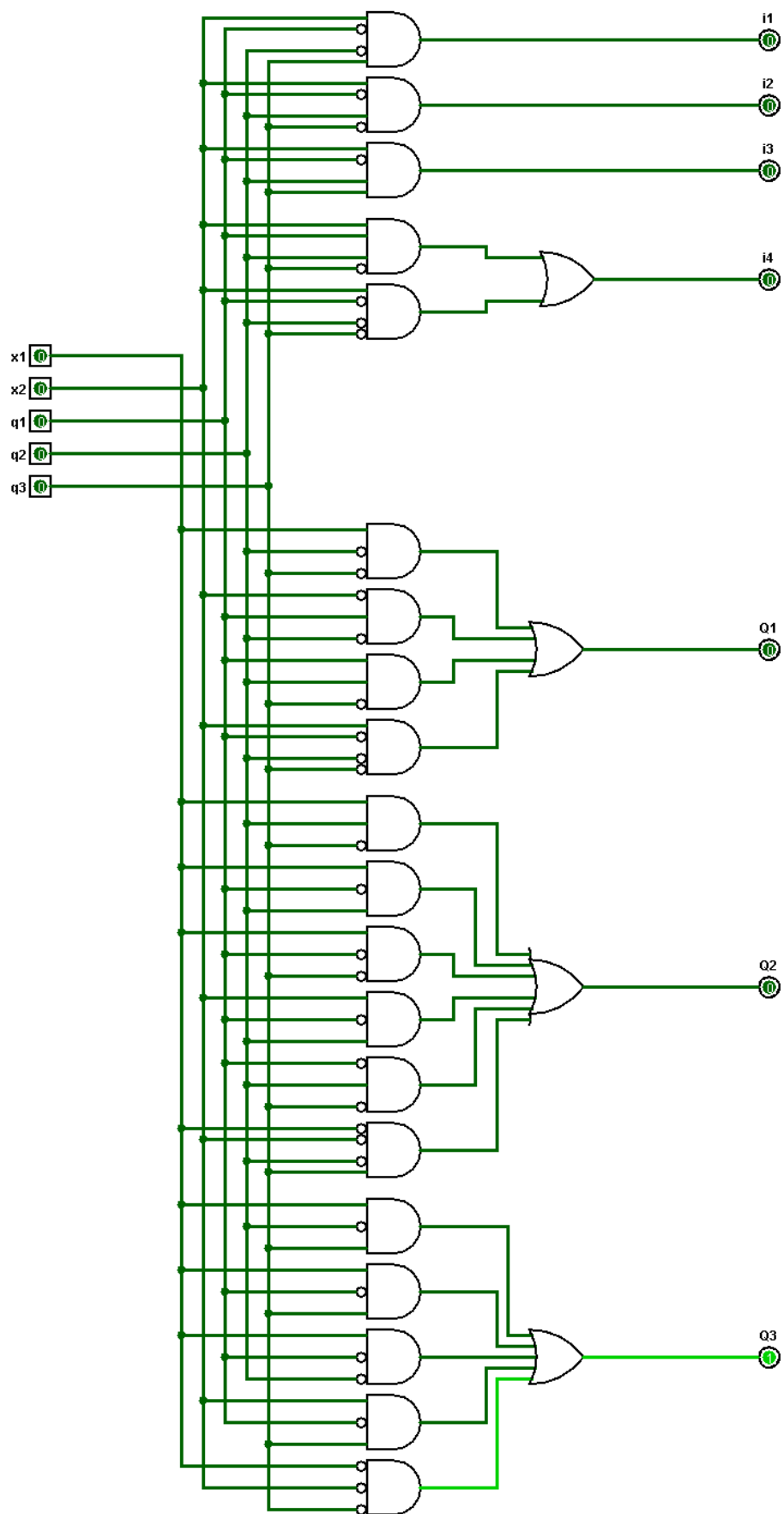


Рис. 24. Функциональная схема блока F

3.1.9 Блок FL

Блок F отвечает за формирование потенциальных сигналов, относительно текущего состояния автомата. Он также как и блок F представляет из себя множество логических блоков, которые рассматривают ситуации формирования потенциального сигнала относительно текущего состояния автомата. Функциональная схема блока FL представлена на [рисунке 25](#).

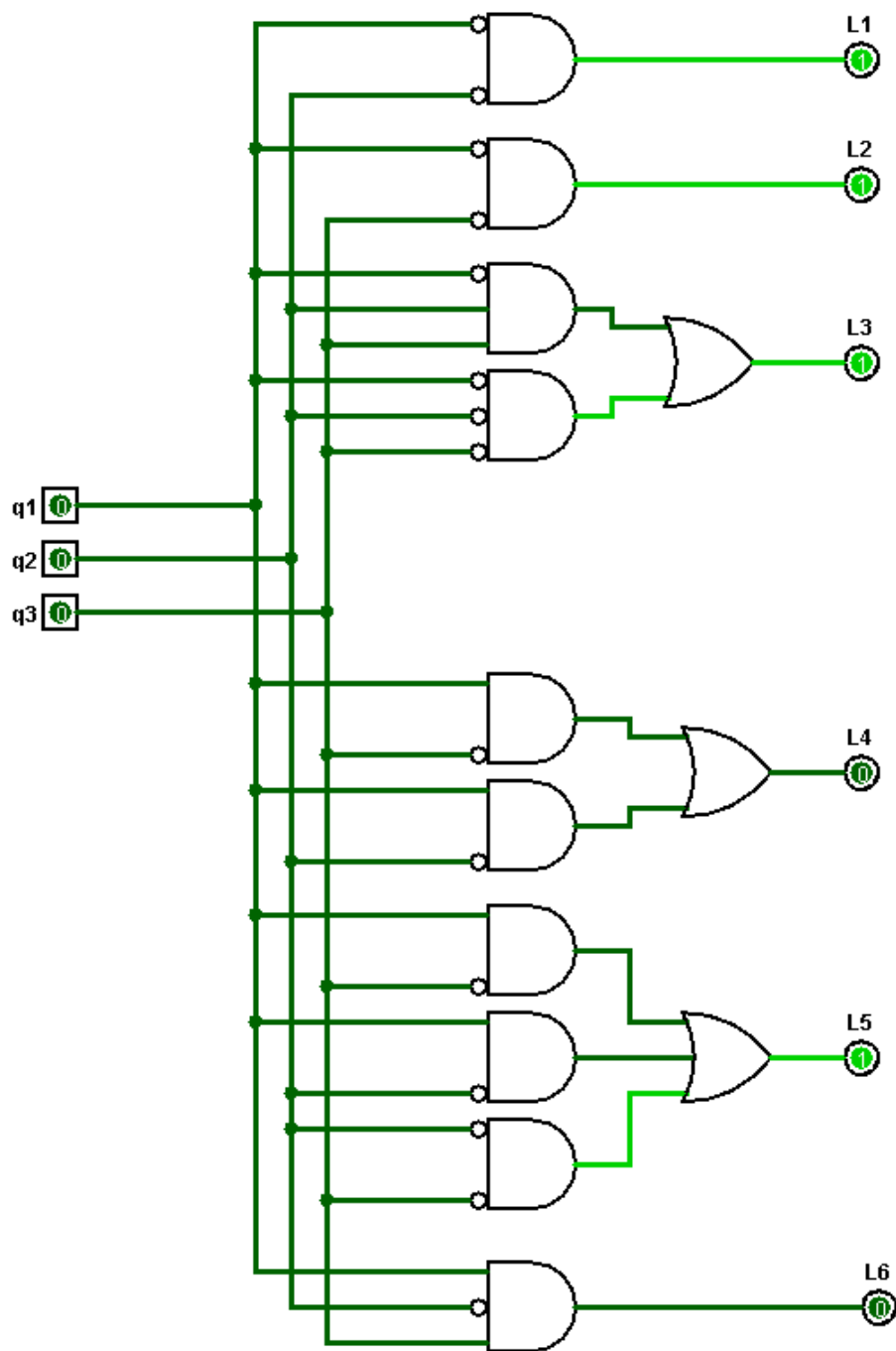


Рис. 25. Функциональная схема блока FL

3.1.10 i-формирователь

i-формирователь отвечает за генерацию импульсного сигнала. Он получает на вход продолжительный сигнал от блока F. Когда на i-формирователь подаётся синхроимпульс, он генерирует импульсный сигнал. Функциональная схема i-формирователя представлена на [рисунке 26](#).

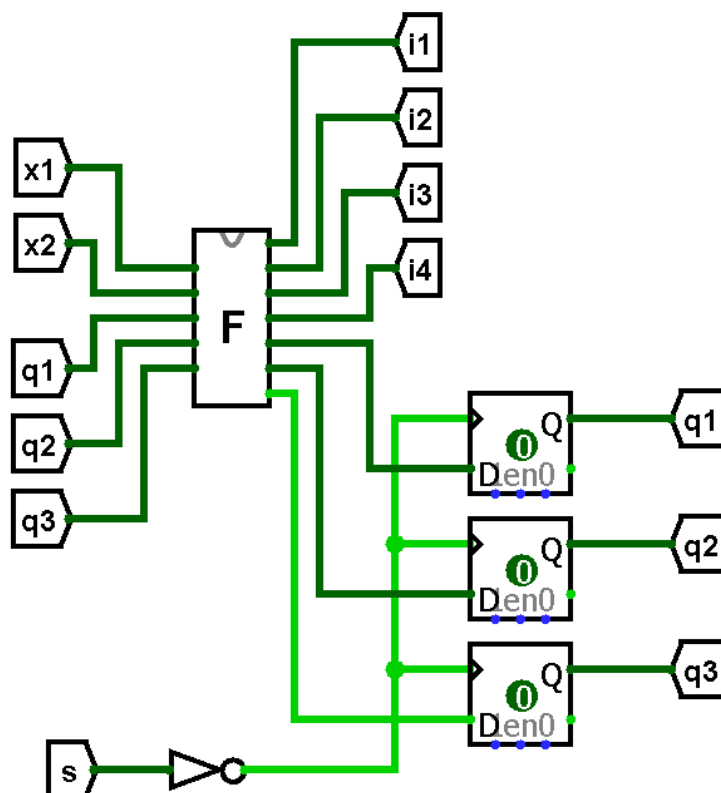


Рис. 26. Функциональная схема i-формирователя

3.1.11 Интерфейс часов

Интерфейс часов включает в себя 5 дисплеев. Назначение дисплеев слева направо: отображение старшего разряда числа часов, отображение младшего разряда числа часов, отображение старшего разряда числа минут, отображения младшего разряда числа минут, отображение а.м./р.м. Также состояния включен/выключен у дисплеев регулируются потенциальными сигналами L_1 , L_2 , L_3 , L_4 . Когда происходит корректировка времени или установка времени будильника, то включены только те дисплеи, изменение времени на которых происходит в данный момент, когда как остальные дисплеи отключены. Эта логика достигается благодаря переключателям, которые перестают пропускать ток, когда на них самих нет тока. Интерфейс часов представлен на [рисунке 27](#).

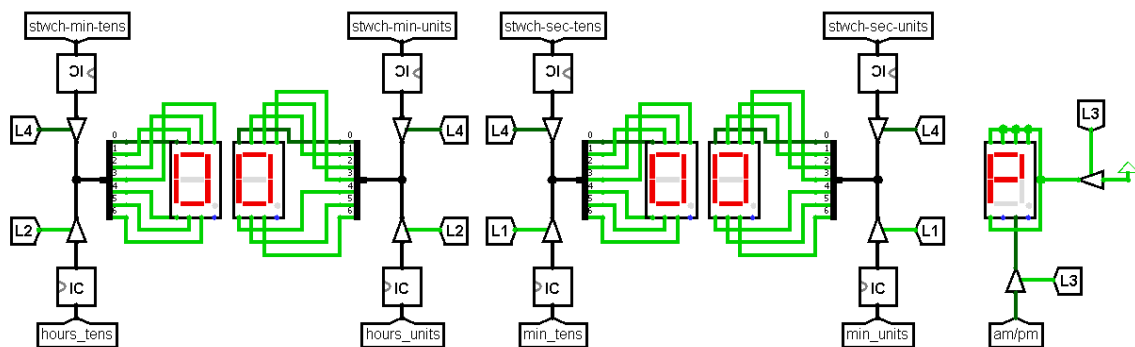


Рис. 27. Функциональная схема реализации интерфейса часов

3.1.12 Секундомер

Секундомер представляет из себя подсхему часов. Он обладает 4-я счётчиками, двумя для хранения цифр минут в старшем и младшем разряде, и ещё двумя для хранения цифр секунд в старшем и младшем разряде. Функциональная схема секундомера представлена на [рисунке 28](#).

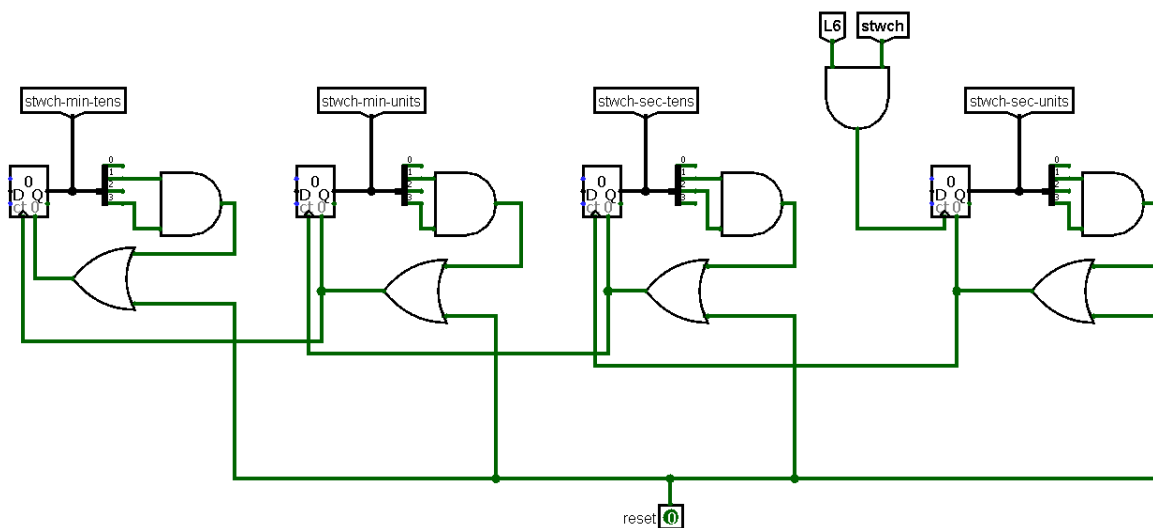


Рис. 28. Функциональная схема секундомера

3.2 Расчёт площади схемы

Количество компонентов каждого типа на функциональной схеме часов показано на [рисунке 29](#).

Компонент	Библиотека	Непосредственно	Уникальных	Рекурсивно
indConverter	Finite-State-Automaton	9	9	9
block F	Finite-State-Automaton	1	1	1
block FL	Finite-State-Automaton	1	1	1
stopwatch	Finite-State-Automaton	1	1	1
Разветвитель	Проводка	12	18	34
Контакт	Проводка	0	30	46
Тоннель	Проводка	64	76	76
Тактовый генератор	Проводка	1	1	1
Константа	Проводка	1	1	1
Питание	Проводка	2	2	2
Элемент НЕ	Элементы	2	2	2
Элемент И	Элементы	8	69	277
Элемент ИЛИ	Элементы	4	22	78
Элемент Исключающее ИЛИ	Элементы	1	1	1
Управляемый буфер	Элементы	10	10	10
D триггер	Память	3	3	3
Счётчик	Память	7	11	11
Кнопка	Ввод/вывод	3	3	3
7-сегментный индикатор	Ввод/вывод	7	8	16
ВСЕГО (без подсхем проекта)		125	257	561
ВСЕГО (с подсхемами)		137	269	573

Рис. 29. Статистика функциональной схемы часов

Рассчитаем число транзисторов для каждого компонента с учётом количества его вхождений в схему(рекурсивно). Результат представлен в

Рис. 37. Подсчёт количества транзисторов на функциональной схеме.

Элемент	Число транзисторов	Число элементов	Всего транзисторов
Элемент И	4	277	1108
Элемент НЕ	4	2	8
Элемент ИЛИ	6	78	468
Элемент XOR	10	1	10
D-триггер	20	3	60
Счётчик 4-разрядный	64	10	640
Счётчик 1-разрядный	16	1	16
Индикаторный преобразователь	400	9	3600

Просуммировав последний столбец таблицы можно получить, что на всю функциональную схему приходится **5910**. Исходя из расчёта, что на 1 квадратный миллиметр приходится примерно 1000 транзисторов, функциональная схема реализованных часов должна занимать примерно **5.910 мм²**.

Заключение

В ходе выполнения курсовой работы была разработана функциональная схема часов, реализующих следующие функции:

- **Отображение и корректировка минут, часов:** Часы позволяют отображать текущее время на индикаторах, разделённое на минуты и часы. Корректировка осуществляется с помощью кнопок "а", "b", которые позволяют по отдельности изменять значение минут и часов.
- **12-и часовой формат времени:** Временной формат ограничен диапазоном от 12:00 АМ до 11:59 РМ. При достижении значения 12 часов выполняется переход между АМ (до полудня) и РМ (после полудня), что отражается на индикаторах.
- **Простой секундомер (сброс-запуск-остановка):** Секундомер запускается нажатием кнопки "а" и начинает отсчёт времени в секундах. Максимальное значение на секундомере – 99 минут, 99 секунд. Остановка осуществляется кнопкой "а", а сброс выполняется при нажатии на кнопку "b", как во время работающего секундомера, так и при паузе.
- **Остановка часов по нажатию кнопки:** Предусмотрена возможность приостановки работы часов при нажатии на кнопку "ab": текущее время замораживается на экране, и отсчёт секунд, минут и часов временно прекращается. Возобновление работы выполняется нажатием любой другой кнопки.

Преимущества реализованной функциональной схемы часов:

- При минимизации функций блоков FL, F и i-формирователя использовалась недоопределённость частичных функций.
- Наличие отключения/включения дисплеев во время корректировки времени.

Недостатки реализованной функциональной схемы часов:

- Избыточное состояние "пауза" в конечном автомате. Вместо него, можно было бы останавливать секундомер при нажатии на кнопку "ab", находясь в состоянии "reset stopwatch", и возобновлять работу секундомера при переходе в состояние "running stopwatch".

Также у данной схемы имеется некоторый задел на масштабирование:

- Реализация звукового сигнала каждое через каждое n-ое количество минут.
- Добавить дисплей для отображения секунд.
- Отключение индикаторов с целью экономии энергии.
- Добавление будильника в функционал часов.

Список литературы

- [1] Методические указания к курсовой работе [Электронный ресурс]. Сайт секции «Телематика». — URL: https://tema.spbstu.ru/userfiles/files/courses/2018-theory-algorithm/KuR_MU.pdf (дата обращения: 08.01.2025).
- [2] Карпов Ю.Г. Теория автоматов. - СПб.: Питер, 2003. - 224 с.
- [3] Эриксон Д. Алгоритмы. - М.: ДМК-Пресс, 2023. - 526 с.
- [4] Карта Карно [Электронный ресурс]. — URL: <https://sublime.tools/ru/karta-karno> (дата обращения: 12.01.2025).

Приложение. Общая функциональная схема часов

