

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»

Отчет по курсовой работе
«Синтез функциональной схемы простейших часов»
по дисциплине «Теория алгоритмов»
Вариант 25

Студент,

группы 5130201/20102

_____ Тищенко А. А.

Преподаватель

_____ Востров А. В.

«_____» _____ 2025г.

Санкт-Петербург, 2025

Содержание

Введение	3
1 Математическое описание	4
1.1 Модель конечного автомата	4
1.2 Реализация графа управляющего автомата	4
1.2.1 Граф управляющего автомата	4
1.2.2 Состояния	4
1.2.3 Входы	6
1.2.4 Выходы	6
1.2.5 Функции переходов и выходов	7
1.3 Управляющие воздействия	8
1.4 Минимизация функций	9
1.4.1 Минимизация функции переходов	10
1.4.2 Минимизация функции выходов	11
1.4.3 Минимизация для схемы FL	12
2 Особенности реализации	15
2.1 Структурная схема	15
2.2 Анализ схемотехнической реализации	17
2.2.1 Индикаторный преобразователь	17
2.2.2 Счётчики	17
2.2.3 Тактовый генератор	19
2.2.4 Мультиплексор	20
2.2.5 Преобразователь внешних воздействий	20
2.2.6 Блок элементов памяти	21
2.2.7 Блок F	22
2.2.8 Блок FL	23
2.2.9 i-формирователь	24
2.2.10 Звуковая сигнализация	25
2.2.11 Общая функциональная схема	25
2.3 Расчёт площади схемы	27
Заключение	28
Список литературы	29

Введение

Современные дискретные системы управления представляют собой основу автоматизированных и цифровых технологий, находящихся применение во многих сферах жизни: от бытовой электроники до сложных промышленных и научных систем. Важной частью их проектирования является синтез функциональных схем.

В данной курсовой работе, в соответствии с вариантом 25 (2110110), рассматривается проектирование и синтез функциональной схемы электронных часов со следующими функциями:

- Отображение и корректировка (в дополнение к часам и минутам): дня недели;
- Режим работы часов: 24-х часовой;
- Отключение индикаторов с целью экономии электроэнергии;
- Секундомер: простой (сброс - запуск - останов);
- Звуковая сигнализация: каждый час в течение четырёх секунд.

Задачи курсовой работы включают:

1. Построить граф управляющего автомата часов и дать пояснения к нему. Пояснения предполагают описание логического смысла каждого состояния, перечень визуальной информации, выводимой на индикаторы, а также порядок использования всех тех возможностей часов, которые перечислены в задании.
2. Изобразить общую структурную схему электронных часов с указанием всех необходимых управляющих микрокоманд (импульсных и потенциальных). Функции каждого блока структурной схемы должны быть пояснены. Должны быть даны также пояснения функции всех управляющих микрокоманд.
3. Провести кодирование входных и выходных воздействий и состояний автомата.
4. Построить минимизацию функций блоков управления.
5. Построить общую функциональную схему. При этом необходимо четко описать алгоритм работы и уметь объяснить принцип проектирования всех блоков.
6. Определить (приблизительно) площадь микросхемы, реализующей построенную функциональную схему при современной плотности компоновки транзисторов.

1 Математическое описание

1.1 Модель конечного автомата

Конечный автомат — математическая модель дискретного устройства, которая описывается набором:

$$A = (S, \Sigma, Y, s_0, \delta, \lambda),$$

где:

- S — конечное множество состояний;
- Σ — конечное множество входных сигналов;
- Y — конечное множество выходных сигналов;
- s_0 — начальное состояние ($s_0 \in S$);
- $\delta : S \times \Sigma \rightarrow S$ — функция переходов;
- $\lambda : S \times \Sigma \rightarrow Y$ — функция выходов.

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

1.2 Реализация графа управляющего автомата

1.2.1 Граф управляющего автомата

На Рис. 1 представлен граф переходов управляющего конечного автомата, который обеспечивает функционал часов, соответствующий варианту курсовой работы. Этому графу переходов соответствует таблица переходов 4.

1.2.2 Состояния

Всего было выделено 7 состояний ($S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7\}$) со следующими значениями:

1. s_0 : *time* — состояние обычной работы часов, на индикаторах отображаются текущее время (часы и минуты) и день недели;
2. s_1 : *minutes* — состояние корректировки минут, отображаются только минуты, остальные индикаторы отключены;
3. s_2 : *hours* — состояние корректировки часов, отображаются только часы, остальные индикаторы отключены;
4. s_3 : *weekday* — состояние корректировки дня недели, отображается только день недели, все остальные индикаторы отключены;

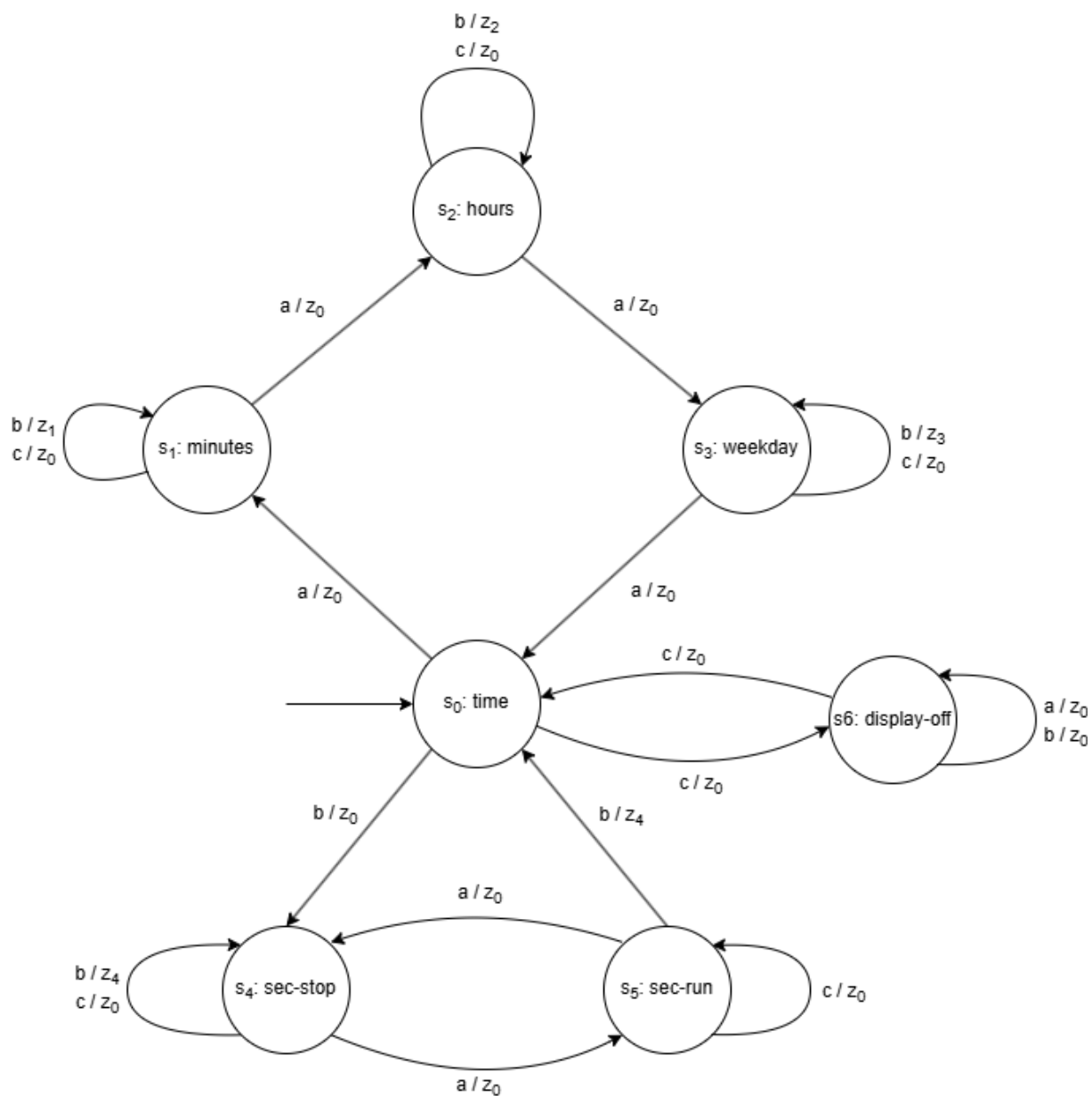


Рис. 1. Граф переходов управляющего конечного автомата.

5. s_4 : *sec-stop* – состояние остановленного секундомера, индикатор дня недели отключен, вместо текущего времени выводится последнее время остановки секундомера (вместо часов выводятся минуты, а вместо минут – секунды);
6. s_5 : *sec-run* – состояние запущенного секундомера, индикатор дня недели отключён, вместо текущего времени выводится время работы секундомера (вместо часов выводятся минуты, а вместо минут – секунды);
7. s_6 : *display-off* – состояние, при котором все индикаторы отключены для экономии электроэнергии, но при этом часы продолжают отсчёт времени.

Двоичные коды состояний представлены в таблице 1.

Таблица 1. Коды состояний.

Состояние	Код
$s_0: time$	000
$s_1: minutes$	001
$s_2: hours$	010
$s_3: weekday$	011
$s_4: sec-stop$	100
$s_5: sec-run$	101
$s_6: display-off$	110

1.2.3 Входы

На часах предполагается наличие трёх кнопок: a , b и c . Каждой кнопке соответствует отдельный входной сигнал, таким образом $\Sigma = \{a, b, c\}$. Коды входных сигналов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Коды входных сигналов.

Входной сигнал/кнопка	Код
a	00
b	01
c	10

1.2.4 Выходы

Было выделено следующее множество выходных сигналов: $Y = \{z_0, z_1, z_2, z_3, z_4\}$. Их назначения и коды представлены в таблице 3.

Таблица 3. Коды импульсных выходных сигналов.

Выходной сигнал	Значение	Код
z_0	Отсутствие реакции	000
z_1	Увеличение минут на 1	001
z_2	Увеличение часов на 1	010
z_3	Следующий день недели	011
z_4	Сброс секундомера	100

1.2.5 Функции переходов и выходов

Функции переходов (δ) и выходов (λ) задаются таблицей 4. Итоговая таблица истинности с учётом указанных кодов состояний, входов и выходов автомата представлена в таблице 5, она соответствует логическому блоку F структурной схемы часов, которая представлена на Рис. 13.

Таблица 4. Таблица переходов управляющего автомата.

Вход	Текущее состояние	Следующее состояние	Выход
a	$s_0: time$	$s_1: minutes$	z_0
b	$s_0: time$	$s_4: sec-stop$	z_0
c	$s_0: time$	$s_6: display-off$	z_0
a	$s_1: minutes$	$s_2: hours$	z_0
b	$s_1: minutes$	$s_1: minutes$	z_1
c	$s_1: minutes$	$s_1: minutes$	z_0
a	$s_2: hours$	$s_3: weekday$	z_0
b	$s_2: hours$	$s_2: hours$	z_2
c	$s_2: hours$	$s_2: hours$	z_0
a	$s_3: weekday$	$s_0: time$	z_0
b	$s_3: weekday$	$s_3: weekday$	z_3
c	$s_3: weekday$	$s_3: weekday$	z_0
a	$s_4: sec-stop$	$s_5: sec-run$	z_0
b	$s_4: sec-stop$	$s_4: sec-stop$	z_4
c	$s_4: sec-stop$	$s_4: sec-stop$	z_0
a	$s_5: sec-run$	$s_4: sec-stop$	z_0
b	$s_5: sec-run$	$s_0: time$	z_4
c	$s_5: sec-run$	$s_5: sec-run$	z_0
a	$s_6: display-off$	$s_6: display-off$	z_0
b	$s_6: display-off$	$s_6: display-off$	z_0
c	$s_6: display-off$	$s_0: time$	z_0

Таблица 5. Таблица истинности для F.

Вход		Текущее состояние			Следующее состояние			Выход		
x_1	x_2	q_1	q_2	q_3	Q_1	Q_2	Q_3	y_1	y_2	y_3
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0
0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

1.3 Управляющие воздействия

Управляющий автомат лежит в основе устройства управления часами. Задача устройства управления заключается в преобразовании внешних сигналов а, b и с в соответствующие управляющие воздействия. Элементарные управляющие воздействия называют микрокомандами. Микрокоманды, действующие на схему продолжительное время, называются потенциальными, а микрокоманды с кратковременным воздействием – импульсными.

Для реализации функциональных возможностей часов в соответствии с заданием курсовой работы было выделено 4 импульсных микрокоманды, они представлены в таблице 6, и 5 потенциальных микрокоманд, они представлены в таблице 7.

Потенциальные сигналы являются функцией состояния управляющего автомата, в то время как импульсные появляются лишь в момент перехода и соответствуют выходам автомата, поэтому в таблице 6 для каждой микрокоманды также указан код на выходе автомата. Соответствие состояний и потенциальных микрокоманд указано в таблице 8, она соответствует логической схеме FL на структурной схеме часов,

которая представлена на Рис. 13.

Таблица 6. Импульсные микрокоманды.

Обозначение	Микрокоманда	Код на выходе автомата
i_1	Увеличение минут на 1	001
i_2	Увеличение часов на 1	010
i_3	Следующий день недели	011
i_4	Сброс секундомера	100

Таблица 7. Потенциальные микрокоманды.

Обозначение	Микрокоманда
L_1	Отображение минут
L_2	Отображение часов
L_3	Отображение дня недели
L_4	Отображение текущего времени
L_5	Работа тактового генератора секундомера

Таблица 8. Потенциальные микрокоманды для каждого состояния.

Состояние	Код состояния			Потенциальные микрокоманды				
	Q_1	Q_2	Q_3	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
$s_0: time$	0	0	0	1	1	1	1	0
$s_1: minutes$	0	0	1	1	0	0	1	0
$s_2: hours$	0	1	0	0	1	0	1	0
$s_3: weekday$	0	1	1	0	0	1	1	0
$s_4: sec-stop$	1	0	0	1	1	0	0	0
$s_5: sec-run$	1	0	1	1	1	0	0	1
$s_6: display-off$	1	1	0	0	0	0	1	0

1.4 Минимизация функций

Для автоматической минимизации функций с помощью карт Карно использовался специализированный онлайн сервис [2]. Некоторые рассматриваемые функции являются частично-определёнными, что было использовано для их минимизации. В дальнейшем на рисунках с картами Карно неопределённые значения отмечаются символом «X».

1.4.1 Минимизация функции переходов

В соответствии с таблицей истинности функции переходов (см. таблицу 5), были составлены карты Карно для каждого кода выходного состояния Q_1 - Q_3 . Карты Карно вместе с минимизированными формулами в дизъюнктивной нормальной форме представлены на Рис. 2-4.

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

Result

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

Рис. 2. Минимизация для Q_1 .

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

Результат

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

Рис. 3. Минимизация для Q_2 .

q1q2q3 x1 x2	000	001	011	010	110	111	101	100
00	1	0	0	1	0	X	0	1
01	0	1	1	0	0	X	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	0	1	1	0	0	X	1	0

Result

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

Рис. 4. Минимизация для Q_3 .

1.4.2 Минимизация функции выходов

В соответствии с таблицей истинности функции выходов (см. таблицу 5), были составлены карты Карно для каждого кода выходного сигнала y_1 - y_3 . Карты Карно вместе с минимизированными формулами в дизъюнктивной нормальной форме представлены на Рис. 5-7.

q1q2q3 x1 x2	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	X	0	0
01	0	0	0	0	0	X	1	1
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	0	0	0	0	0	X	0	0

Result

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

Рис. 5. Минимизация для y_1 .

q1q2q3 x1 x2	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	X	0	0
01	0	0	1	1	0	X	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	0	0	0	0	0	X	0	0

Result

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

Рис. 6. Минимизация для y_2 .

q1q2q3 x1 x2	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	X	0	0
01	0	1	1	0	0	X	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	0	0	0	0	0	X	0	0

Result

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

Рис. 7. Минимизация для y_3 .

1.4.3 Минимизация для схемы FL

Потенциальные микрокоманды являются функцией состояния автомата. Таблица истинности для такого преобразования уже была представлена ранее (см. таблицу 8). Карты Карно и минимизированные формулы в дизъюнктивной нормальной форме для каждой микрокоманды L_1 - L_5 представлены на Рис. 8-12.

$q_1 \backslash q_2 q_3$	00	01	11	10
0	1	1	0	0
1	1	1	X	0

Результат

$$F = \overline{q_2}$$

Рис. 8. Минимизация для L_1 .

$q_1 \backslash q_2 q_3$	00	01	11	10
0	1	0	0	1
1	1	1	X	0

Результат

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

Рис. 9. Минимизация для L_2 .

$q_1 \backslash q_2 q_3$	00	01	11	10
0	1	0	1	0
1	0	0	X	0

Результат

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

Рис. 10. Минимизация для L_3 .

$q_1 \backslash q_2 q_3$	00	01	11	10
0	1	1	1	1
1	0	0	X	1

Result

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

Рис. 11. Минимизация для L_4 .

$q_1 \backslash q_2 q_3$	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	0	1	X	0

Result

$F = q_1 q_3$

Рис. 12. Минимизация для L_5 .

2 Особенности реализации

2.1 Структурная схема

Общая структурная схема часов, на основе которой была построена функциональная схема, представлена на Рис. 13.

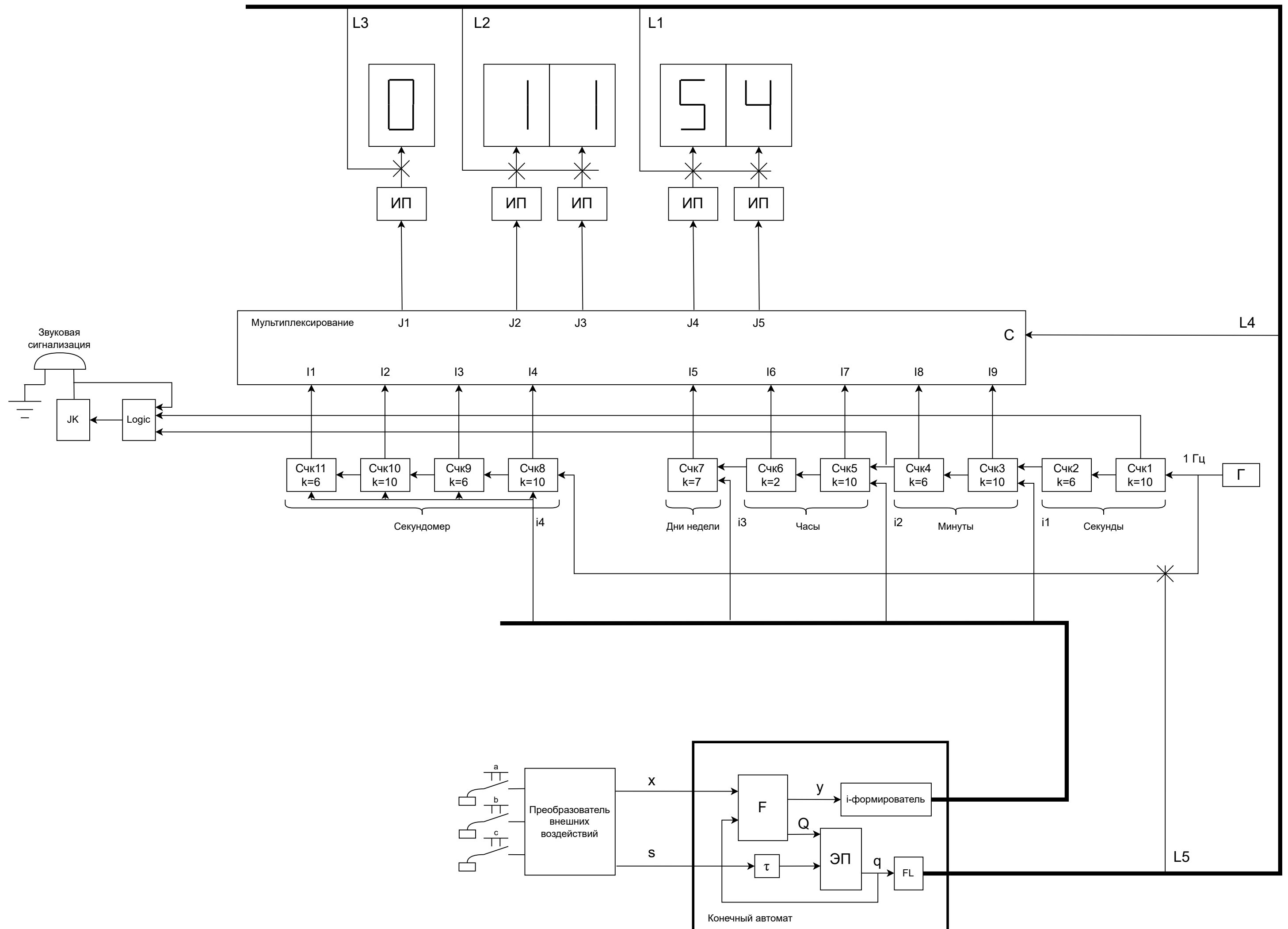


Рис 13. Структурная схема часов.

2.2 Анализ схемотехнической реализации

Функциональная схема часов была реализована в программе Multisim 14 [3].

2.2.1 Индикаторный преобразователь

Индикаторный преобразователь - функциональный преобразователь, который по двоичному коду десятичной цифры вырабатывает сигналы, управляющие индикаторами. Он используется для преобразования двоичных чисел в счётчиках в десятичные цифры на дисплеях часов.

В этой работе использовался готовый индикаторный преобразователь 74LS47D в сочетании с дисплеем SEVEN_SEG_COM_A_BLUE. Схема вывода двоичного числа на дисплей представлена на Рис. 14. На входы A, B, C, D подаётся двоичное число, входы LT, RBI и BI/RBO являются управляющими, в обычном режиме работы преобразователя на них необходимо подавать логическую единицу. Вход преобразуется в сигналы, управляющие сегментами индикатора для отображения соответствующей цифры от 0 до 9.

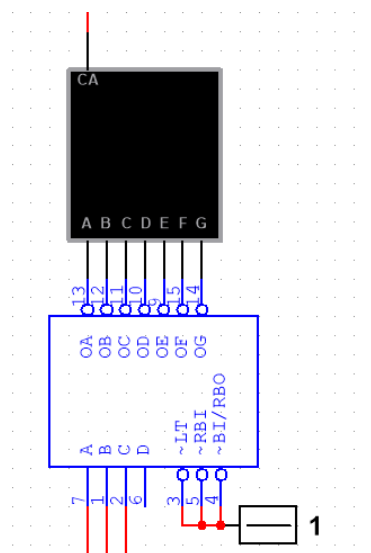


Рис. 14. Схема вывода чисел на дисплей.

2.2.2 Счётчики

Счетчик - 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. Если рассматривать

счетчик как конечный автомат, то K - это количество различных состояний счетчика. Счетчик с коэффициентом пересчета K через K переключений возвращается в исходное состояние.

В основе счётчиков, используемых в этой работе лежит готовый счётчик с $K=10$ – 74LS90D. На его основе сделана пользовательская схема **10-counter**, представленная на Рис. 15, с тремя входами: TIK – основной тактовый вход, +1 – прибавление единицы, и R – сброс счётчика, и четырьмя выходами, на них подаётся двоичный код числа, которое хранится в счётчике. На основе схемы **10-counter** реализованы схемы счётчиков с другими коэффициентами пересчёта – **6-counter** (см. Рис. 16), **7-counter** (см. Рис. 17), **24-counter** (см. Рис. 18).

Подключение входа логического элемента XOR к земле через резистор выполняет функцию подтяжки к низкому уровню (pull-down resistor). Это гарантирует, что вход будет находиться в логическом состоянии "0" даже в случае, если он не подключен к активному источнику сигнала.

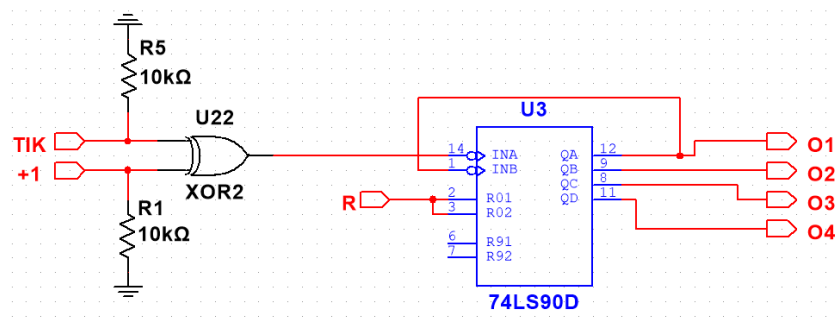


Рис. 15. Схема счётчика с $K=10$.

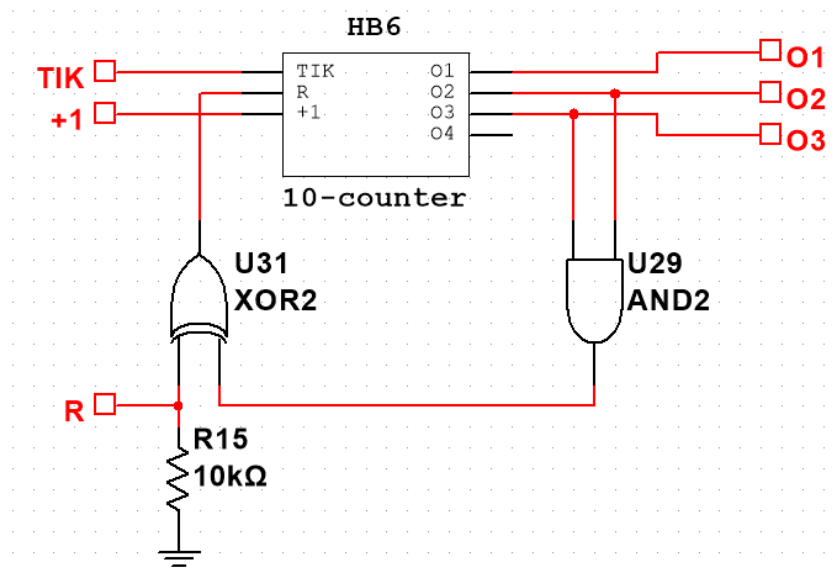


Рис. 16. Схема счётчика с $K=6$.

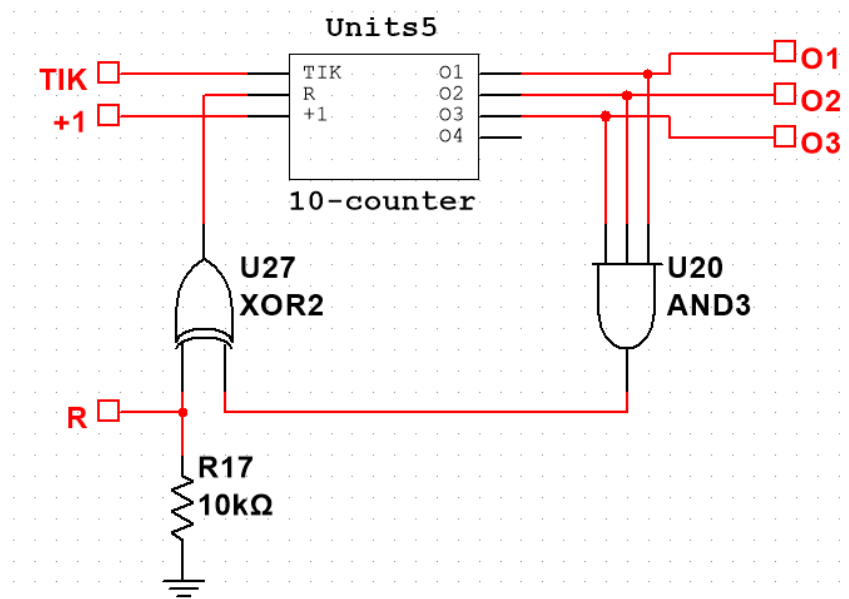


Рис. 17. Схема счётчика с $K=7$.

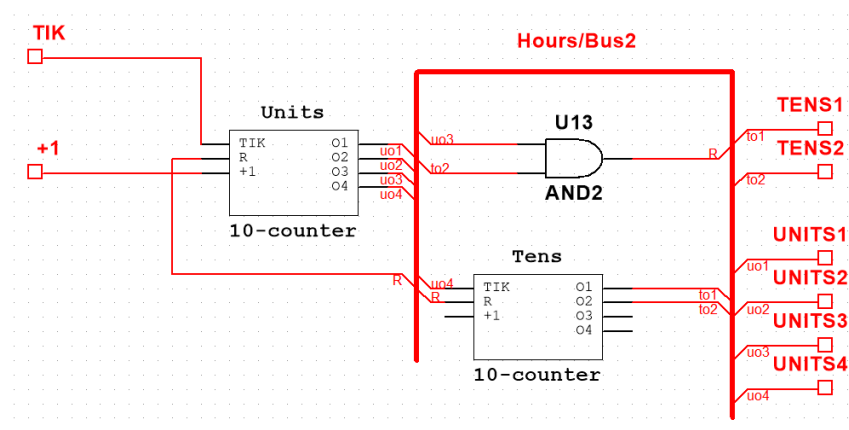


Рис. 18. Схема счётчика с $K=24$.

2.2.3 Тактовый генератор

Генератор тактовых импульсов (генератор тактовой частоты) предназначен для синхронизации различных процессов в цифровых устройствах — ЭВМ, электронных часах, таймерах и других. Он вырабатывает электрические импульсы (обычно прямоугольной формы) заданной частоты, которая часто используется как эталонная — считая количество импульсов, можно, например, измерять временные интервалы.

Подразумевается, что в рассматриваемой схеме часов будет использоваться генератор с частотой 1 Гц. Однако в непосредственной реализации в Multisim приходится завышать его частоту, так как симуляция даже одной секунды работы схемы часов занимает несколько минут.

Тактовый генератор, используемый в данной работе, называется `DIGITAL_CLOCK`, он представлен на Рис. 19.



Рис. 19. Тактовый генератор `DIGITAL_CLOCK`.

2.2.4 Мультиплексор

Мультиплексор — это цифровое устройство, которое выбирает один из нескольких входных сигналов и передаёт его на выход. Управление выбором входа осуществляется с помощью управляющих сигналов.

В этой работе использовался 4-канальный 2-входовый мультиплексор `74LS157D` (см. Рис. 20). Схема имеет две группы входов `A1-A4` и `B1-B4`, на выходы `Y1-Y4` подаются значения со входов группы `A`, когда на управляющий вход `A/B` подаётся логический ноль, иначе на выход идут значения со входов группы `B`.

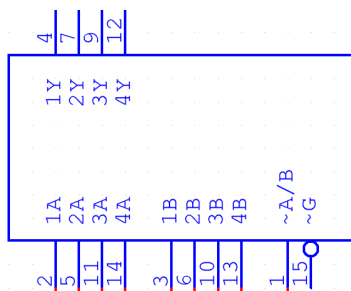


Рис. 20. Мультиплексор `74LS157D`.

2.2.5 Преобразователь внешних воздействий

Преобразователь внешних воздействий отвечает за обработку нажатий на кнопки `a`, `b` и `c`. Он выполняет две задачи, во-первых, переводит сигнал от кнопки в соответствующий код входного воздействия (см. таблицу 2), во-вторых, формирует синхроимпульс непосредственно в момент нажатия кнопки. Время, которое человек держит кнопку часов нажатой, не может быть меньше нескольких миллисекунд, а сформированный на основе этого нажатия синхроимпульс должен быть гораздо короче и не зависеть от продолжительности физического нажатия кнопки. Для этого используется формирователь импульсов с укорачивающей `RC`-цепью. Подбором емкости и сопротивления можно построить схему, которая вырабатывает необходимую продолжительность сигнала.

Для реализации преобразователя внешних воздействий с укорачивающей `RC`-цепью была создана пользовательская схема `input-handler`, представленная на

Рис. 21. В ней использовался конденсатор ёмкостью 1 мкФ и резистор с сопротивлением в 1 кОм.

У схемы **input-handler** три входа – сигналы от кнопок a, b и c, и три выхода – два разряда кода входного сигнала (x_1 и x_2) и синхроимпульс s.

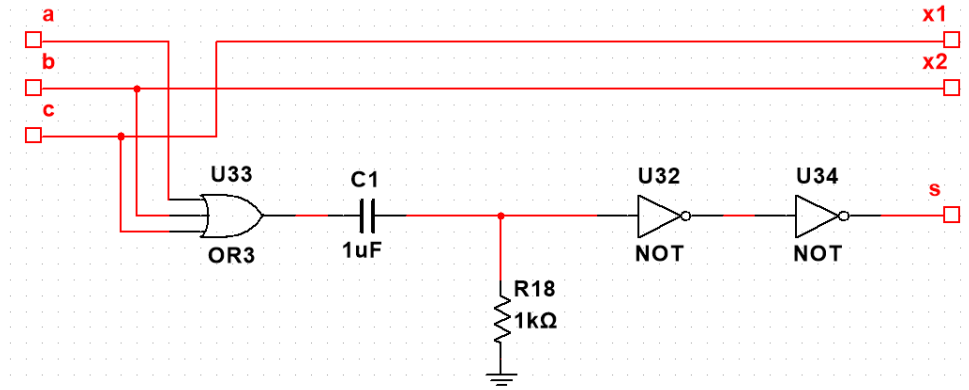


Рис. 21. Схема преобразователя внешних воздействий.

2.2.6 Блок элементов памяти

Блок элементов памяти необходим для хранения текущего состояния управляющего автомата. При реализации конечного автомата существует особенность, связанная с переключением состояний: в момент изменения состояния необходимо одновременно передавать на вход схемы преобразования F код предыдущего состояния и сохранять код нового состояния, формируемого на её выходе. Таким образом, возникает временной промежуток, в течение которого в блоке памяти должны быть доступны как код предыдущего, так и код нового состояния.

Блок элементов памяти реализован в пользовательской схеме **memory**, представленной на Рис. 22. Для каждого разряда кода состояния применяются два D-триггера – D_FF, соединённые последовательно. Такая конфигурация позволяет сохранить новое состояние на выходе схемы F в момент одного переключения автомата и использовать его в качестве входных данных для схемы F при следующем переключении.

У схемы три выхода – разряды состояний, и четыре входа – три для разряда состояния и один для синхроимпульса, в момент прихода которого триггеры должны изменять своё состояние.

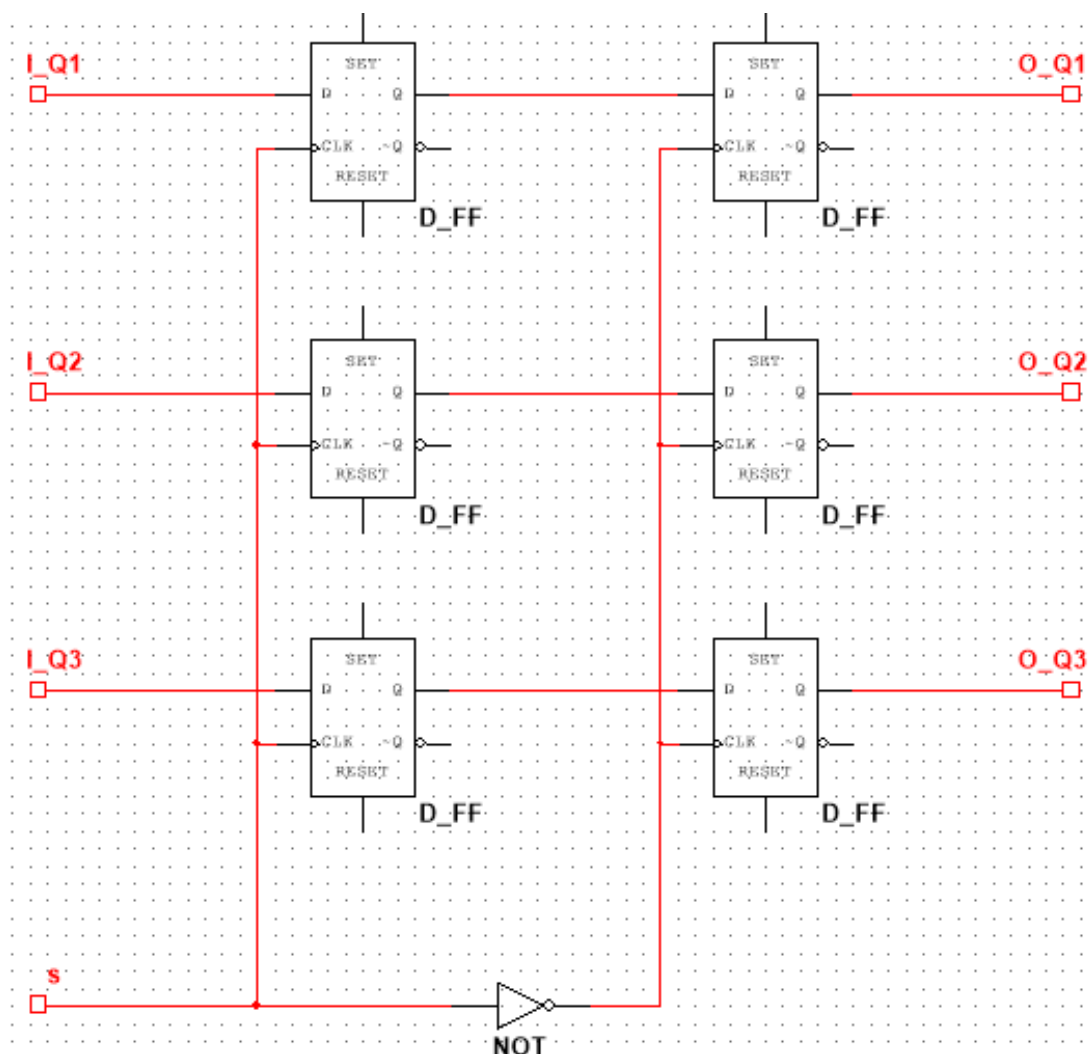


Рис. 22. Схема блока памяти.

2.2.7 Блок F

Блок F представляет собой простую логическую схему, реализующую функцию переходов и выходов управляющего автомата. Схема основана на минимизированных формулах для кодов выходов автомата и кодов его следующего состояния.

Блок F реализован в пользовательской схеме F, представленной на Рис. 23. У схемы пять входов: x1 и x2 – разряды кода входного воздействия, p_q1, p_q2 и p_q3 – разряды кода текущего состояния автомата. Выходов семь: new_Q1, new_Q2 и new_Q3 – разряды кода нового состояния автомата, y1, y2 и y3 – разряды кода выхода автомата.

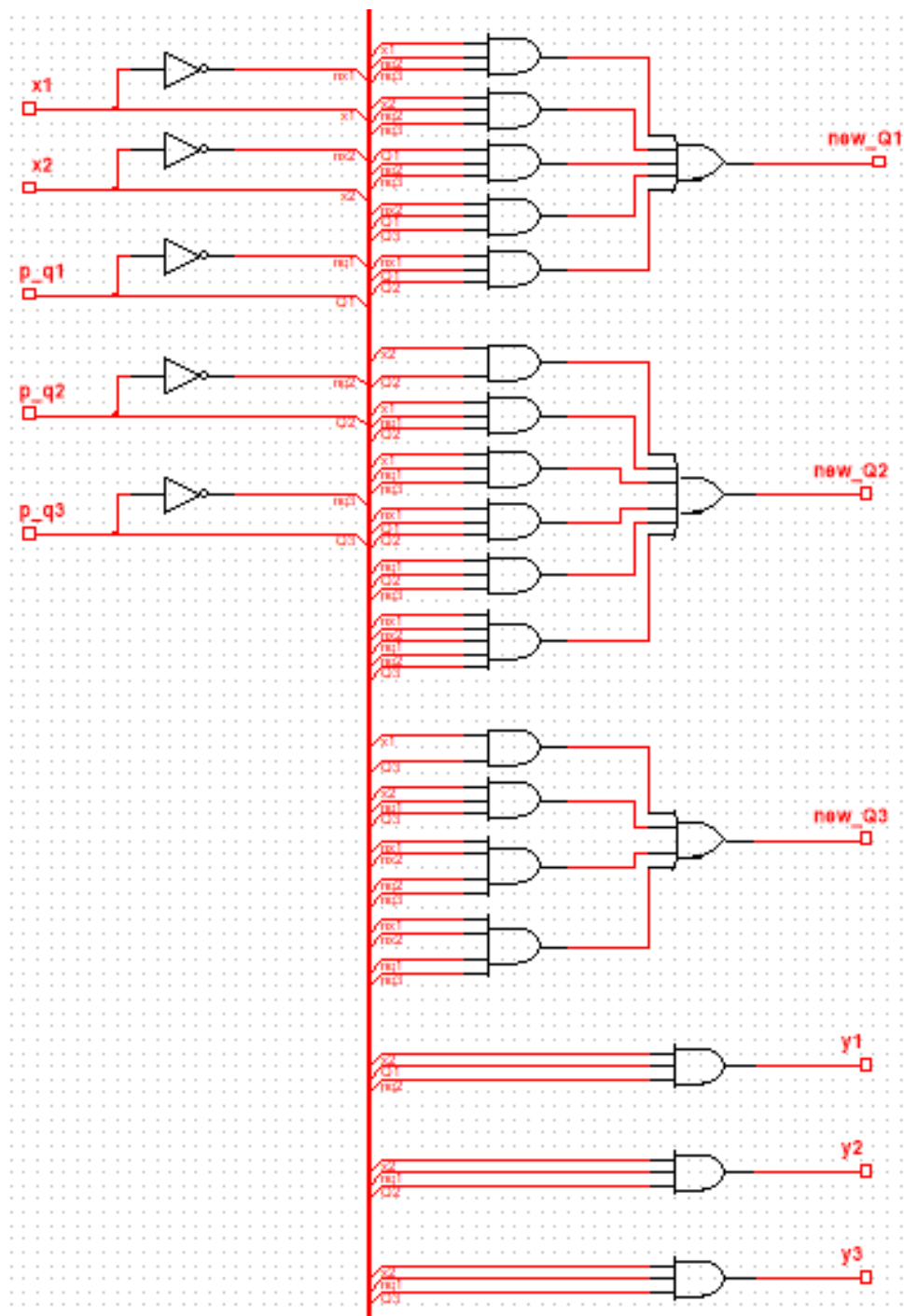


Рис. 23. Реализация блока F.

2.2.8 Блок FL

Блок FL, так же как и блок F, представляет собой простую логическую схему. Он отвечает за преобразование текущего состояния автомата в набор потенциальных микрокоманд.

Блок FL реализован в пользовательской схеме FL, представленной на Рис. 24. У схемы три входа – разряды кода текущего состояния автомата, и пять выходов, каждый из которых соответствует потенциальной микрокоманде.

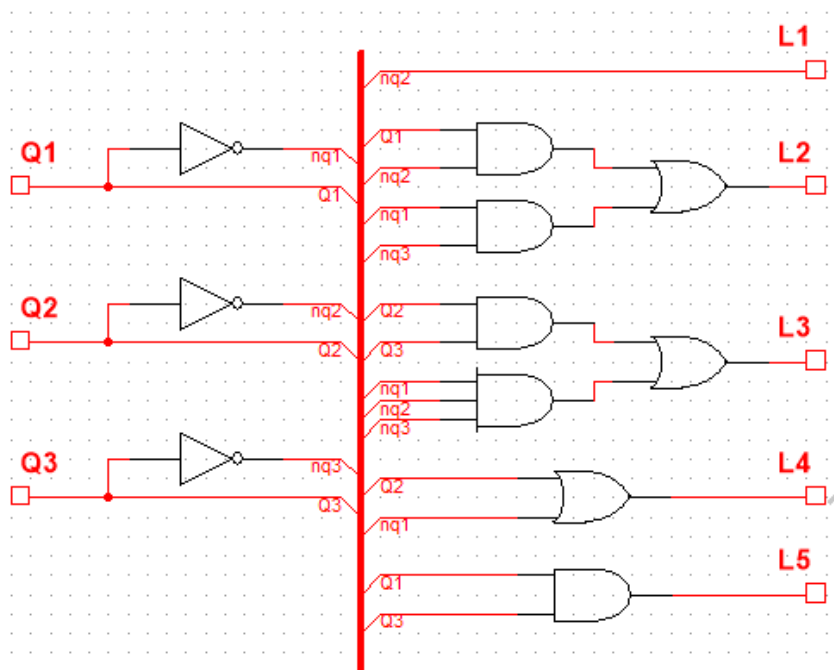


Рис. 24. Реализация блока FL.

2.2.9 i-формирователь

i-формирователь отвечает за генерацию импульсных микрокоманд на основе синхрои́мпульса и выходов управляющего автомата в соответствии с таблицей 6.

i-формирователь реализован в пользовательской схеме *i-shaper*, которая представляет собой обёртку над готовым дешифратором 74LS138D. У схемы четыре входа: y_1 , y_2 и y_3 – разряды кода выхода автомата, s – синхрои́мпульс. Четыре выхода, каждый из которых соответствует импульсной микрокоманде. Схема 74LS138D выдаёт сигнал, только когда на вход G1 подаётся логическая единица, к этому входу и подключен синхрои́мпульс.

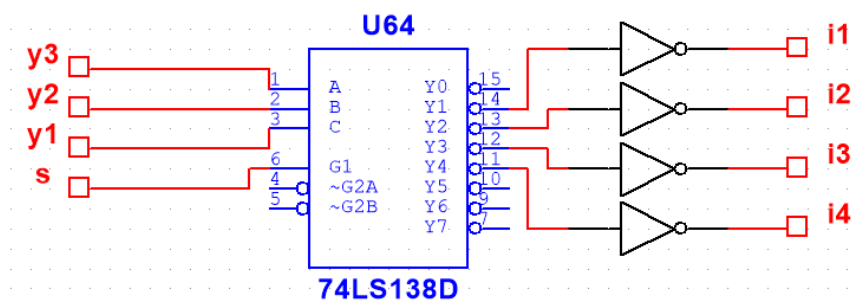


Рис. 25. Схема i-формирователя.

2.2.10 Звуковая сигнализация

По заданию курсовой работы, необходимо было реализовать звуковую сигнализацию, которая бы работала каждый час в течение четырёх секунд. Схема управления этой сигнализацией представлена на Рис. 26. У схемы два входа: `su_2` – второй разряд единиц секунд текущего времени в двоичном виде, `mt_3` – третий (старший) разряд десятков минут текущего времени. Выход один – `is_on` – сигнал контролирующей работу сигнализации. Схема основана на нескольких логических элементах, с помощью которых определяется момент, в который нужно изменить состояние сигнализации, JK триггере, который хранит текущее состояние сигнализации (вкл/выкл), и укорачивающей RC цепи, которая нужна для генерации импульсного сигнала для переключения состояния JK триггера.

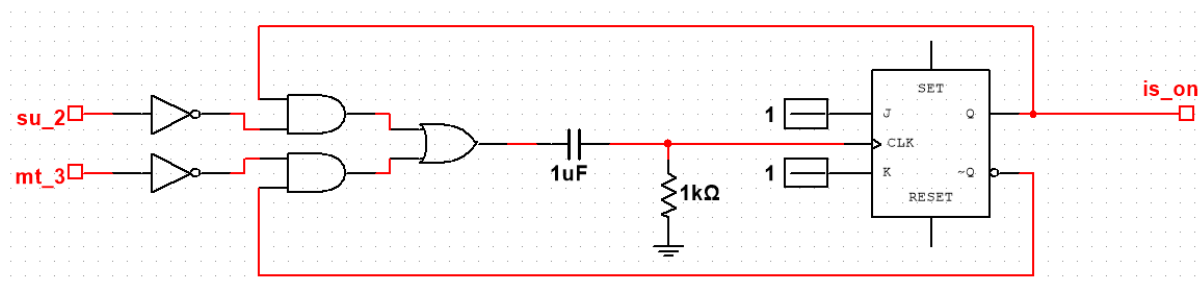


Рис. 26. Схема управления звуковой сигнализацией.

2.2.11 Общая функциональная схема

На Рис. 27 представлена общая функциональная схема часов. За счёт использования пользовательских схема, она получилась достаточно понятной и похоже на структурную схему часов.

На функциональной схеме видно, что линии с потенциальными микрокомандами L1-L3 подключены ко входам СА дисплеев `SEVEN_SEG_COM_A_BLUE`. Дисплеи работают только когда на этот вход подаётся логическая единица. Линия с потенциальной микрокомандой L4 подаётся на управляющий вход A/B мультимплексоров 74LS157D. Линия с потенциальной микрокомандой L5 через логический элемент «И» управляет подачей тактового сигнала на счётчики секундомера.

Помимо основных 5 дисплеев (один для вывода номера дня недели, два для вывода часов и два для вывода минут), на схеме присутствуют ещё два «отладочных» дисплея для вывода секунд. Также для упрощения отладки и демонстрации работы схемы, был добавлен ещё один переключатель, с помощью которого можно увеличивать десятки минут на единицу.

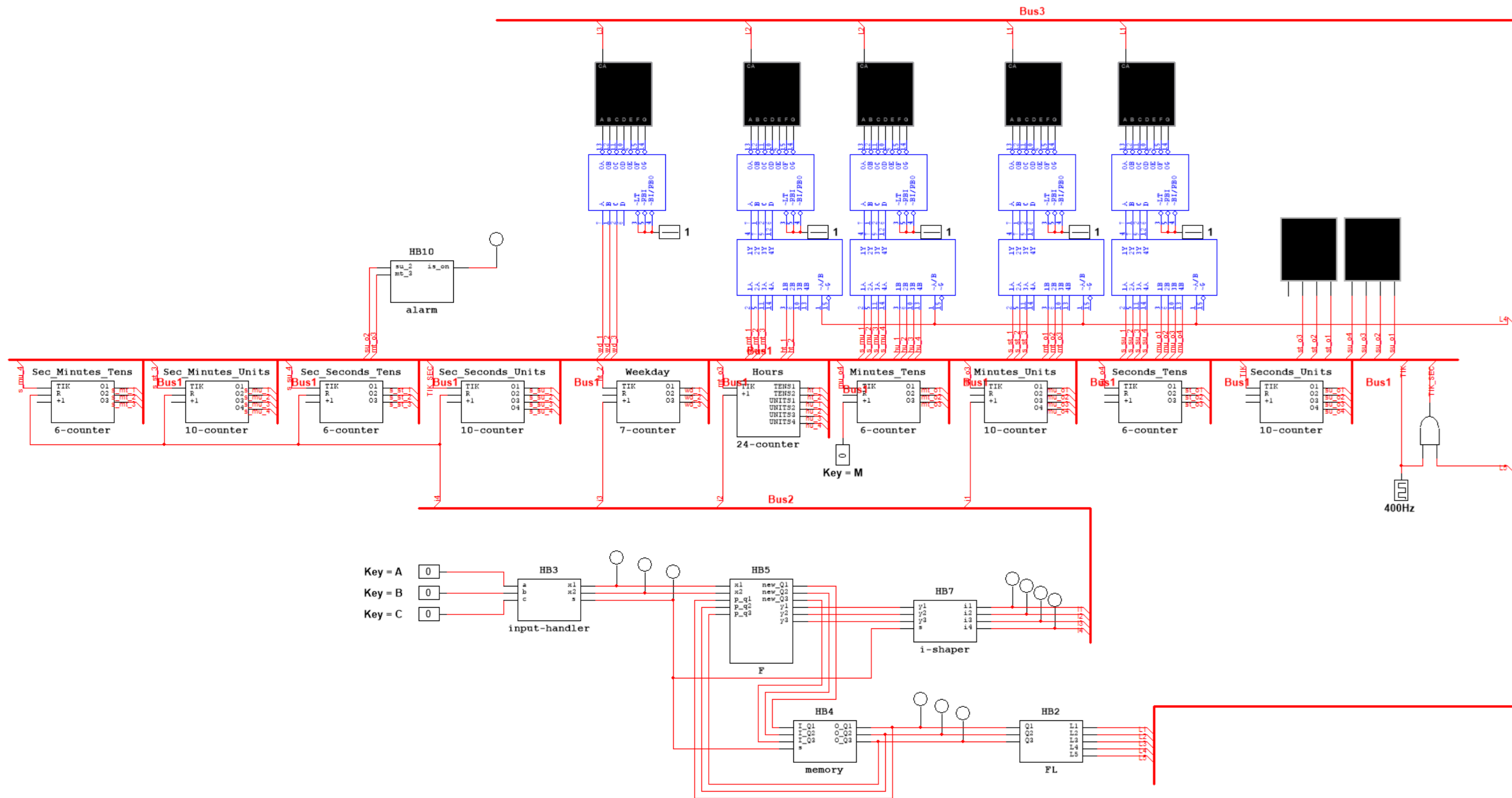


Рис 27. Функциональная схема часов

2.3 Расчёт площади схемы

В таблице 9 представлена некоторая статистика по количеству элементов и транзисторов в них в полученной функциональной схеме.

Таблица 9. Количество транзисторов в функциональной схеме часов.

Элемент	Число транзисторов	Число элементов	Всего транзисторов
Элемент И	4	54	216
Элемент НЕ	4	17	68
Элемент ИЛИ	6	18	108
Элемент XOR	10	11	110
D-триггер	20	6	120
Счётчик 74LS90D	120	11	1320
Мультиплексор 74LS157D	50	4	200
Преобразователь 74LS47N	400	5	2000

Для реализации всей функциональной схемы потребуется 4142 транзистора. Исходя из расчёта, что на 1 квадратный миллиметр приходится примерно 1000 транзисторов, функциональная схема реализованных часов должна занимать примерно 4.142 мм².

Заключение

В ходе выполнения курсовой работы были построены граф управляющего автомата и общая структурная схема часов, проведено кодирование входных и выходных воздействий и состояний автомата, функции блоков управления были минимизированы с помощью карт Карно и сервиса [2], а также разработана их функциональная схема в программе Multisim 14 [3]. В соответствии с вариантом курсовой работы, был реализован следующий функционал:

- Отображение и корректировка (в дополнение к часам и минутам): дня недели;
- Режим работы часов: 24-х часовой;
- Отключение индикаторов с целью экономии электроэнергии;
- Секундомер: простой (сброс - запуск - останов);
- Звуковая сигнализация: каждый час в течение четырёх секунд.

Также была приблизительно определена площадь микросхемы, реализующей построенную функциональную схему при современной плотности компоновки транзисторов. Получилась площадь около 4.142 мм².

Можно выделить несколько преимуществ созданной функциональной схемы часов. Во-первых, функциональная схема разбита на пользовательские схемы, что сделало её гораздо более структурированной и похожей на общую структурную схему. Во-вторых, при минимизации функций блоков управления использовалась их неопределенность на некоторых наборах переменных, что позволило значительно уменьшить количество логических элементов в итоговой схеме.

Также можно выделить несколько недостатков созданной функциональной схемы часов. Во-первых, для упрощения преобразователя входных воздействий было решено сделать три кнопки на часах, в то время как вместо третьей кнопки можно было использовать комбинацию кнопок. Во-вторых, из режима секундомера можно выйти только когда он запущен, что может вызывать некоторое неудобство в использовании.

Функциональную схему можно достаточно просто масштабировать. Во-первых, можно добавить отображение дня недели с помощью сочетаний букв. Во-вторых, достаточно просто переделать схему так, чтобы была возможность просмотра текущего времени с работающим секундомером. В-третьих, можно использовать схему как основу и добавить функционал будильника. В-четвёртых, при редактировании времени, пользователь может увеличивать часы и минуту только на единицу, что может доставлять дискомфорт, в случае если нужно выставить сильно отличающееся время, также это плохо сказывается на долговечности кнопок. На основе созданной схемы несложно добавить возможность редактирования десятков минут и часов.

Список литературы

- [1] Востров А. В, «Теория алгоритмов» URL: <https://tema.spbstu.ru/algorithm/> (Дата обращения: 01.12.2024).
- [2] sublime.tools - «Решить карту Карно», URL: <https://sublime.tools/ru/karta-karno> (Дата обращения: 01.12.2024).
- [3] National Instruments - Multisim, URL: <https://www.ni.com/ru-ru/shop/product/multisim.html> (Дата обращения: 01.12.2024).