

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 № 22.

Обучающийся: _____

Гладков И.А.

Руководитель: _____

Востров А.В.

«_____» _____ 20____ г.

Санкт-Петербург, 2024

Содержание

Введение	3
1 Постановка задач	4
2 Математическое описание	5
2.1 Конечный автомат	5
2.2 Реализация графа управляющего автомата часов	5
2.2.1 Граф управляющего автомата	5
2.2.2 Состояния конечного автомата	6
2.2.3 Входы конечного автомата	7
2.2.4 Выходы конечного автомата	8
2.2.5 Функции переходов и выходов	8
2.3 Управляющие воздействия	8
2.4 Таблица истинности на преобразований FL	9
2.5 Таблица истинности на преобразований F	9
2.6 Минимизация функций	10
2.6.1 Минимизация Q	10
2.6.2 Минимизация L	11
2.6.3 Минимизация i	11
3 Особенности реализации	13
3.1 Анализ схемотехнических элементов	13
3.1.1 Индикаторный преобразователь	13
3.1.2 Тактовый генератор	15
3.1.3 Счетчик	15
3.1.4 D-триггер	16
3.1.5 Блок F	16
3.1.6 Блок памяти	18
3.1.7 Блок FL	18
3.1.8 Преобразователь внешних воздействий	18
3.1.9 Машина состояний	19
3.1.10 Отсчет времени часов	19
3.1.11 Отсчет времени секундомера	20
3.1.12 Звуковая сигнализация	21
3.1.13 Интерфейс часов	22
3.2 Расчет площади схемы	23
Заключение	26
Список литературы	27

Введение

Данная курсовая работа представляет собой спроектированную схему, реализующую работу часов со следующими характеристиками:

- Отображение и корректировка минут, часов.
- Отключение индикаторов с целью экономии электроэнергии.
- Останов часов после состояния корректировки текущего времени.
- Секундомер с фиксацией накопленного времени и возможностью продолжения отсчета секундомера.
- Звуковая сигнализация каждые четверть часа в течение секунды.

1 Постановка задач

Необходимо построить функциональную схему электронных часов в соответствии с вариантом 22 (0112220):

- Отображение и корректировка минут, часов.
- 24-х часовой режим работы часов.
- Отключение индикаторов с целью экономии электроэнергии.
- Останов часов после состояния корректировки текущего времени.
- Секундомер с фиксацией накопленного времени и возможностью продолжения отсчета секундомера.
- Звуковая сигнализация каждые четверть часа в течение секунды.

Для построения функциональной схемы часов требуется выполнить следующие этапы:

1. Построить граф управляющего автомата часов и дать пояснения к нему.
2. Изобразить общую структурную схему часов с указаниями всех необходимых управляющих.
3. Закодировать входные и выходные воздействия, а также состояния автомат.
4. Минимизировать функции блоков F и FL.
5. Построить общую функциональную схему.
6. Определить примерную 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 $A = (S, X, Z, s_0, \delta, \lambda)$, где

- $S = (s_0, s_1, s_2, \dots, s_m)$ – множество состояний
- $X = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_m)$ – множество входных сигналов
- $Z = (y_0, y_1, y_2, \dots, y_m)$ – множество выходных сигналов
- s_0 – начальное состояние
- $\delta : S \times X \rightarrow S$ – функция переходов
- $\lambda : S \times X \rightarrow Y$ – функция выходов

Конечный автомат работает в дискретные моменты времени. В момент времени $t = 0$ автомат всегда будет находиться в начальном состоянии s_0 .

2.2 Реализация графа управляющего автомата часов

2.2.1 Граф управляющего автомата

Граф управляющего конечного автомата электронных часов изображен на рисунке 1.

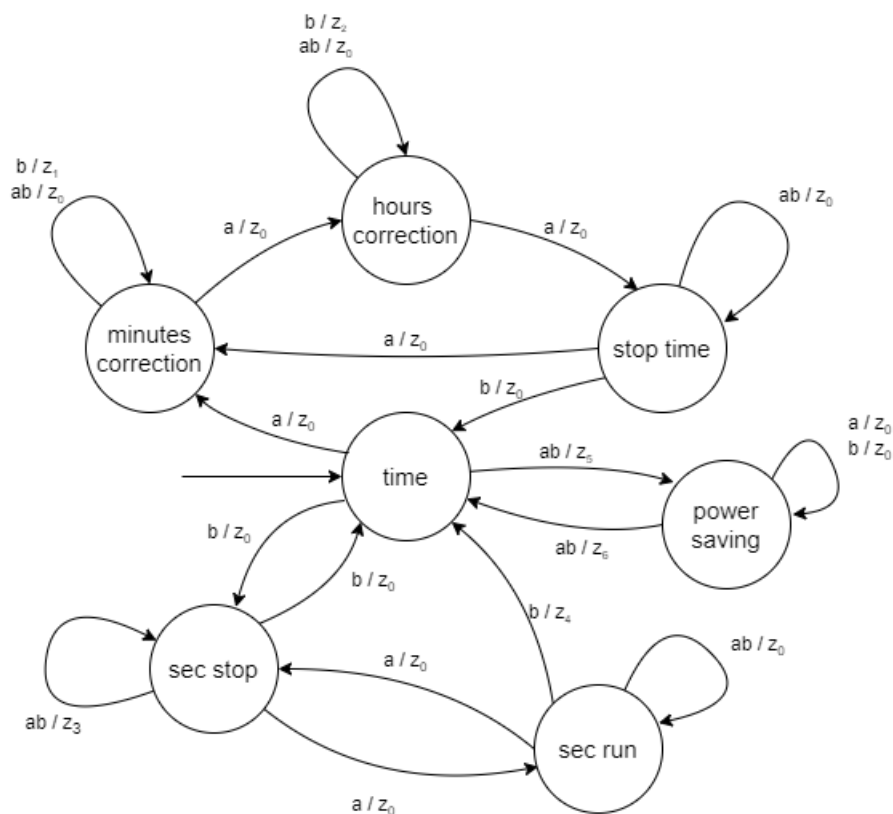


Рис. 1. Граф конечного автомата для часов

2.2.2 Состояния конечного автомата

Было выделено 7 состояний автомата:

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

s_0 : **time** – состояние отображения текущего времени. На индикаторах отображаются значения часов и минут. При нажатии кнопки «а» происходит переход в состояние корректировки минут, при нажатии «b» – переход в секундомер, при нажатии «ab» – происходит переход в состояние экономии энергии.

s_1 : **minutes correction** – состояние корректировки значения минут. На индикаторах отображается только значение минут. При нажатии кнопки «а» происходит переход в состояние корректировки часов, при нажатии «b» значение минут увеличивается на один, при нажатии «ab» ничего не происходит.

s_2 : **hours correction** – состояние корректировки значения часов. На индикаторах отображается только значение часов. При нажатии кнопки «а» происходит переход в состояние останова времени часов, при нажатии «b» значение часов увеличивается на один, при нажатии «ab» ничего не происходит.

s_3 : **stop time** – состояние останова часов. На индикаторах отображаются значения часов и минут, но время не идет. При нажатии кнопки «а» происходит переход в состояние коррекции минут, при нажатии «b» переходит в состояние отображения времени, то есть время на часах продолжает идти, при нажатии «ab» ничего не происходит.

s_4 : **sec stop** – состояние остановленного секундомера. На индикаторах – минуты и секунды. По нажатию «а» запускается секундомер, «b» – переход в отображение времени, «ab» – сброс времени секундомера.

s_5 : **sec run** – состояние работающего секундомера. На индикаторах – минуты и секунды. По нажатию «а» секундомер останавливается, «b» – переход в отображение времени (значение секундомера останавливается), «ab» – ничего не происходит.

s_6 : **power saving** – состояние экономии энергии. На индикаторах ничего не отображается. По нажатию «ab» происходит переход в отображения времени. «а» и «b» – ничего не происходит.

Состояния можно закодировать следующим образом:

S_i	Название	q_1	q_2	q_3
S_0	time	0	0	0
S_1	minutes correction	0	0	1
S_2	hours correction	0	1	0
S_3	stop time	0	1	1
S_4	sec stop	1	0	0
S_5	sec run	1	0	1
S_6	power saving	1	1	0

2.2.3 Входы конечного автомата

Входной алфавит конечного автомата состоит из 3 элементов: кнопки а, b нажатые по отдельности и нажатые вместе ab.

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

Входной алфавит можно закодировать следующим образом:

Вход	x_1	x_2
a	0	0
b	0	1
ab	1	0

2.2.4 Выходы конечного автомата

Было выведено множество выходных сигналов:

$$Z = \{z_0, z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6\}$$

Обозначение	Расшифровка
z_0	Нейтральный сигнал
z_1	Корректировка минут
z_2	Корректировка часов
z_3	Сброс секундомера
z_4	Остановка секундомера
z_5	Отключение индикатора
z_6	Включение индикатора

2.2.5 Функции переходов и выходов

В таблицах 1 и 2 отображены функции переходов и выходов конечного автомата.

δ	a	b	ab
s_0	s_1	s_4	s_6
s_1	s_2	s_1	s_1
s_2	s_3	s_2	s_2
s_3	s_1	s_0	s_3
s_4	s_5	s_0	s_4
s_5	s_4	s_0	s_5
s_6	s_6	s_6	s_0

Таблица 1. Функция переходов

λ	a	b	ab
s_0	z_0	z_0	z_5
s_1	z_0	z_1	z_0
s_2	z_0	z_2	z_0
s_3	z_0	z_0	z_0
s_4	z_0	z_0	z_3
s_5	z_0	z_1	z_0
s_6	z_0	z_0	z_6

Таблица 2. Функция выходов

2.3 Управляющие воздействия

Входом в управляющий автомат являются преобразованные внешние воздействия, выходы. Управляющие воздействия разделяют на импульсные и потенциальные микрокоманды.

- Импульсные управляющие воздействия – это кратковременные воздействия, которые подаются в момент нажатия кнопок.
- Потенциальные управляющие воздействия – это продолжительное воздействие, которое действует в период нахождения автомата в определенном состоянии и изменяется при переключении в другое состояние.

Импульсные микрокоманды данного конечного автомата:

- i_1 – Увеличение минут на один
- i_2 – Увеличение часов на один
- i_3 – Сброс секундомера

Потенциальные микрокоманды:

- L_1 – отображение минут.
- L_2 – отображение часов.
- L_3 – отображение секунд у секундомера.
- L_4 – отображение минут у секундомера.
- L_5 – отсчет времени у часов.
- L_6 – отсчет времени у секундомера.

2.4 Таблица истинности на преобразований FL

Потенциальные микрокоманды, используемые в состояниях конечного автомата, представлены в таблице 3.

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	0	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	1	1	0	0	0	0
s_4	1	0	0	0	0	1	1	1	0
s_5	1	0	1	0	0	1	1	1	1
s_6	1	1	0	0	0	0	0	1	0

Таблица 3. Потенциальные микрокоманды в каждом из состояний

s_i – состояние часов, $q_1 - q_3$ – переменные для кодирования состояния, $L_1 - L_6$ – потенциальные управляющие воздействия.

2.5 Таблица истинности на преобразований F

Импульсные микрокоманды, используемые при переходе между состояниями конечного автомата, представлены в таблице 4.

s_i – состояние часов, s_{i+1} – следующее состояние часов, $x_1 - x_2$ – входы с кнопок, $x_1 - x_2$ – переменные для кодирования кнопок, $q_1 - q_3$ и $Q_1 - Q_3$ – переменные для кодирования состояния, $i_1 - i_3$ – импульсные управляющие воздействия.

s_i	Вход	X		s_i			s_{i+1}			Выходы		
		x_1	x_2	q_1	q_2	q_3	Q_1	Q_2	Q_3	i_1	i_2	i_3
s_0	a	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	b	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	ab	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
s_1	a	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	b	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
	ab	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
s_2	a	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	b	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	ab	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
s_3	a	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
	b	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	ab	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0
s_4	a	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
	b	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	ab	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
s_5	a	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
	b	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	ab	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
s_6	a	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
	b	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
	ab	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4. Используемые импульсные микрокоманды при переходе состояний

2.6 Минимизация функций

Таблица 3 и таблица 4 задают частично определенные функции. Недоопределенность функций можно использовать для их минимизации. Это допустимо так как не используется код «111» для состояний. Переход в это состояние никогда не произойдет.

2.6.1 Минимизация Q

На рисунках 2-4 изображена минимизация для разрядов $Q_1 - Q_3$ кодировки состояния конечного автомата при помощи Карты Карно.



Рис. 2. Минимизация Q_1



Рис. 3. Минимизация Q_2

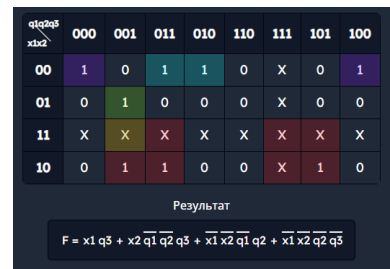


Рис. 4. Минимизация Q_3

2.6.2 Минимизация L

На рисунках 5-10 изображена минимизация потенциальных управляющих сигналов $L_1 - L_6$ состояний конечного автомата при помощи Карты Карно.

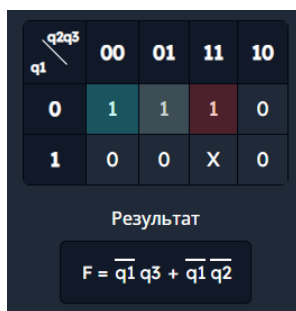


Рис. 5. Минимизация L_1

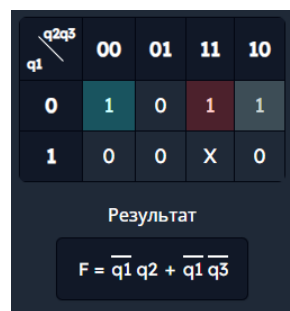


Рис. 6. Минимизация L_2

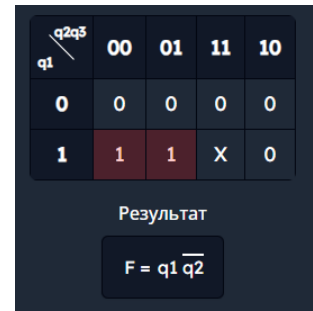


Рис. 7. Минимизация L_3

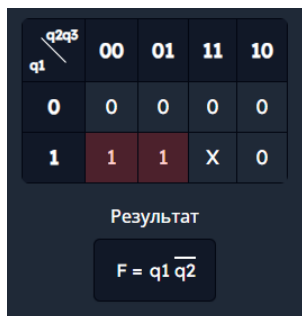


Рис. 8. Минимизация L_4

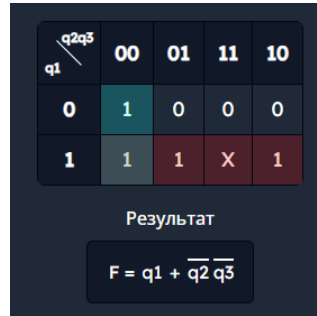


Рис. 9. Минимизация L_5

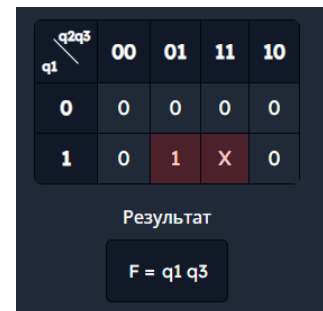


Рис. 10. Минимизация L_6

2.6.3 Минимизация i

На рисунках 11-13 изображена минимизация импульсных управляющих сигналов $i_1 - i_3$ при помощи Карты Карно.

$q_1 q_2 q_3$ $x_1 x_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	X	0	0
01	0	1	0	0	0	X	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	0	0	0	0	0	X	0	0

Результат

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

Рис. 11. Минимизация i_1

$q_1 q_2 q_3$ $x_1 x_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	X	0	0
01	0	0	0	1	0	X	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	0	0	0	0	0	X	0	0

Результат

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

Рис. 12. Минимизация i_2

$q_1 q_2 q_3$ $x_1 x_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	0	X	0	0
01	0	0	0	0	0	X	0	0
11	X	X	X	X	X	X	X	X
10	0	0	0	0	0	X	0	1

Результат

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

Рис. 13. Минимизация i_3

3 Особенности реализации

3.1 Анализ схемотехнических элементов

3.1.1 Индикаторный преобразователь

Для отображения чисел используются индикаторы, содержащие семь сегментов, которые, свечиваясь в определенной комбинации, могут дать изображение цифры (см. рис. 14). Для того чтобы сегмент “загорелся”, на него необходимо подать напряжение. Один разряд индикатора, таким образом, содержит 7 входов. Если на некоторые из этих входов подадим напряжение, а на остальные – нет, то на индикаторе высветится соответствующая комбинация сегментов. Например (рис. 15), для изображения цифры «2» необходимо подать напряжение на все сегменты, кроме f_1 и f_4 .

Функциональный преобразователь, который по двоичному коду десятичной цифры вырабатывает сигналы, управляющие индикаторами называется индикаторный преобразователь (ИП). Его условное изображение дано на рис. 16.

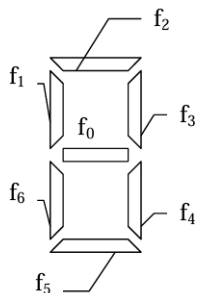


Рис. 14. Семисегментный индикатор

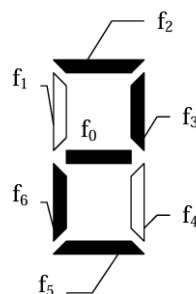


Рис. 15. Изображение цифры «2»

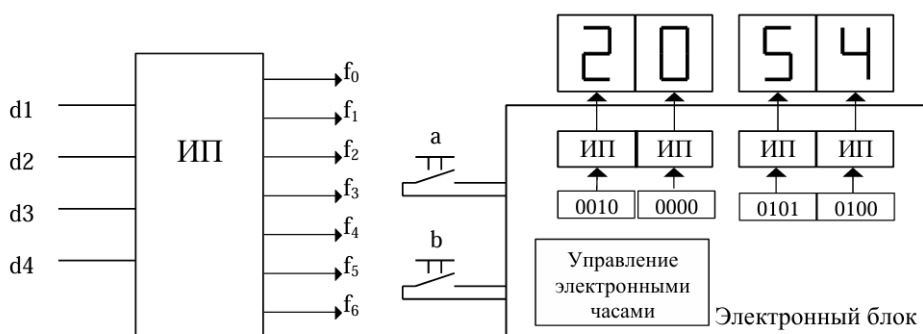


Рис. 16. Индикаторный преобразователь

Схема индикаторного преобразователя представлена на рисунке 17.

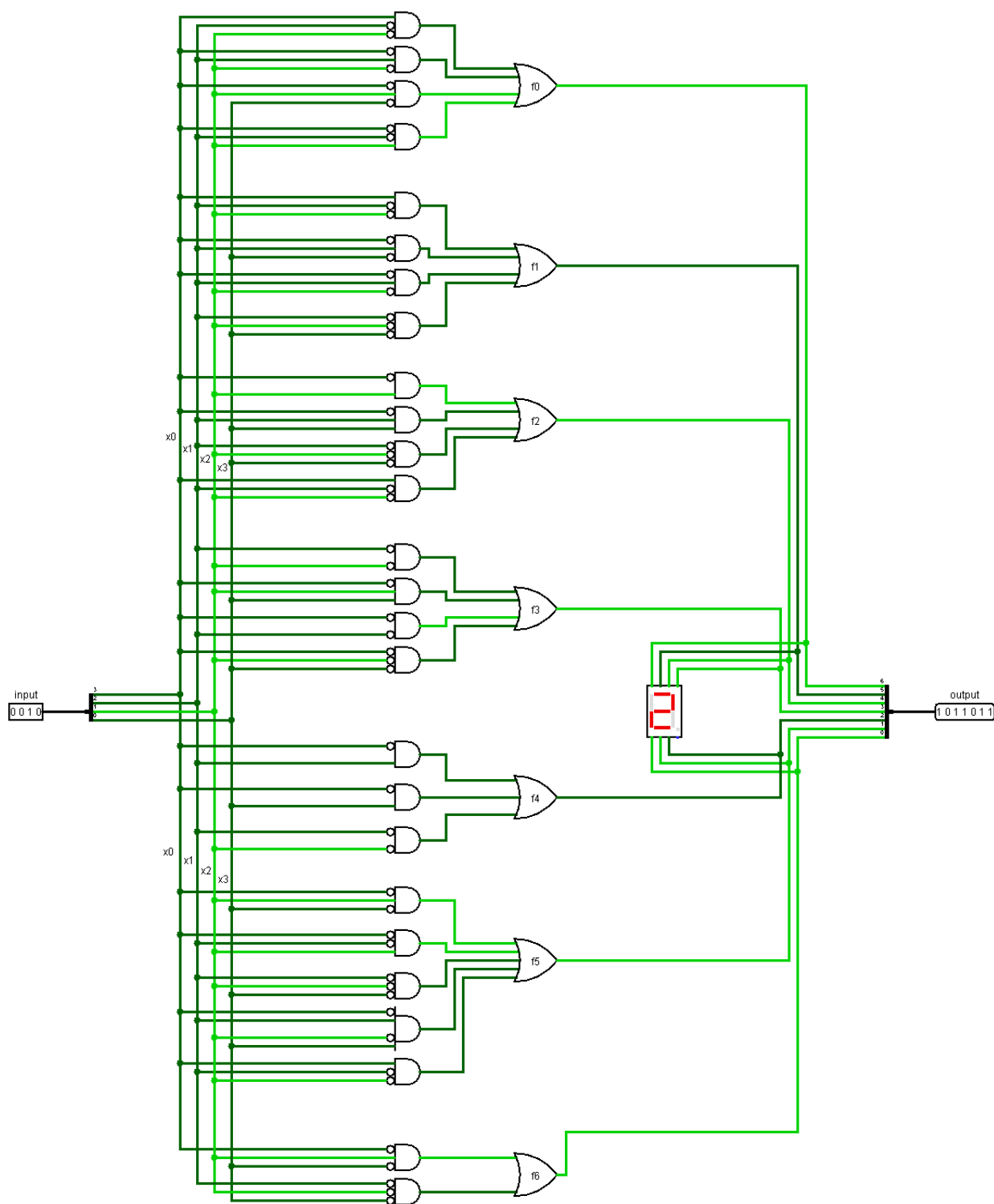


Рис. 17. Схема индикаторного преобразователя

3.1.2 Тактовый генератор

Тактовый генератор (или генератор тактовых импульсов) — это электронное устройство, которое создает периодические электрические импульсы (такты), используемые для синхронизации работы различных компонентов электронных устройств.

В электронных часах применяют малогабаритные стабильные генераторы, с выхода которых снимается последовательность прямоугольных импульсов. Частота кварцевых генераторов стабильна, она практически не изменяется во времени. Понятно, что количество импульсов, выработанных таким генератором, прямо пропорционально времени его работы.

3.1.3 Счетчик

Для реализации функции отсчета времени используются счетчики, управляемые генератором тактовых импульсов.

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 увеличивается на 1.

Важным параметром счетчика является коэффициент пересчета K . K - 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. Для удобства использования счетчика, кроме тактового входа существует вход «Уст.0» (сброс). При подаче на него импульса (логической единицы) на выходе устанавливается нулевой код.

В качестве примера рассмотрим систему счетчиков для отсчета секунд. В первый счетчик с $K=10$ подаем на его вход импульсы с частотой 1 Гц с помощью генератора, также выходной сигнал, передающийся себе на сброс, подаем на вход второго генератора с $K=6$. Теперь когда у первого счетчика набирается 10, значение сбрасывается и на втором счетчике прибавляется единица.

Пример системы счетчиков для отчета секунд изображен на рисунке 18.

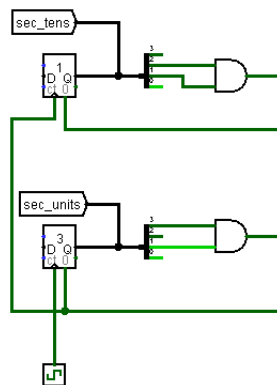


Рис. 18. Схема счетчиков для отсчета секунд

3.1.4 D-триггер

Триггер – 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.

D-триггер имеет два основных входа:

1. D (Data) — данные, которые будут записаны в триггер.
2. CLK (Clock) — тактовый сигнал, который управляет процессом записи.

Также у него есть два выхода:

1. Q — выход, который отражает текущее состояние триггера (хранит данные).
2. \bar{Q} — инвертированное состояние выхода Q.

Микросхема D-триггера изображена на рисунке 19.



Рис. 19. Микросхема D-триггера

3.1.5 Блок F

Блок F предназначен для вычисления следующего состояния на основе текущего состояния и входных данных (кнопок). Помимо следующего состояния вычисляются импульсные сигналы необходимы при переходе в следующее состояние.

Схема блока F представлена на рисунке 20.

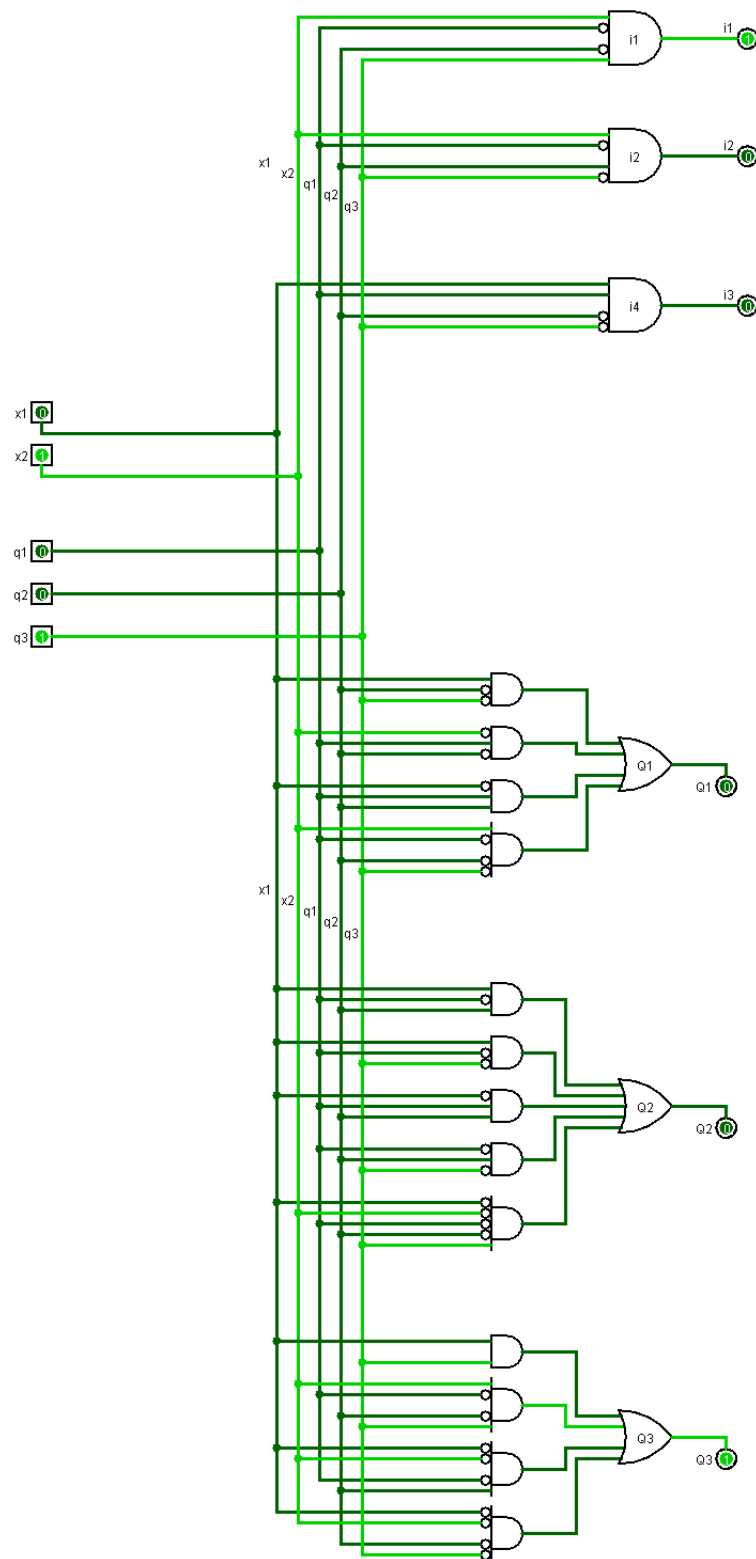


Рис. 20. Схема блока F

3.1.6 Блок памяти

Блок памяти предназначен для хранения текущего состояния автомата. Схема блока памяти изображена на рисунке 21.

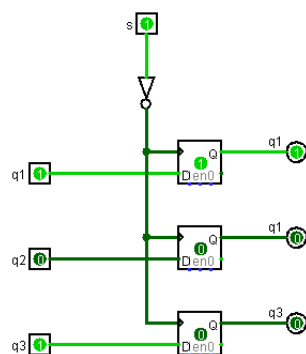


Рис. 21. Схема блока памяти

3.1.7 Блок FL

Блок FL отвечает за формирование потенциальных сигналов на основе текущего состояния автомата. Схема блока FL представлена на рисунке 22.

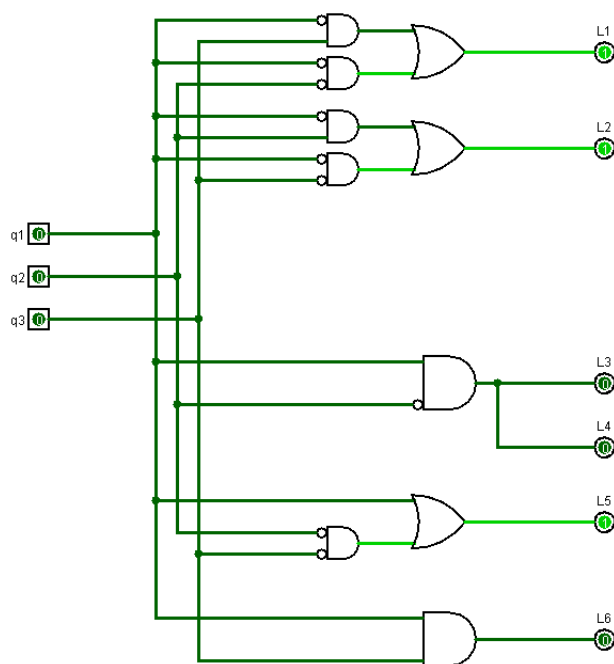


Рис. 22. Схема блока FL

3.1.8 Преобразователь внешних воздействий

Данный блок предназначен для конвертации нажатой кнопки в соответствующие сигналы x_0 и x_1 . Также он создает синхроимпульс, который необходим для работы в блоке памяти. Схема

преобразователя внешних воздействий изображена на рисунке 23.

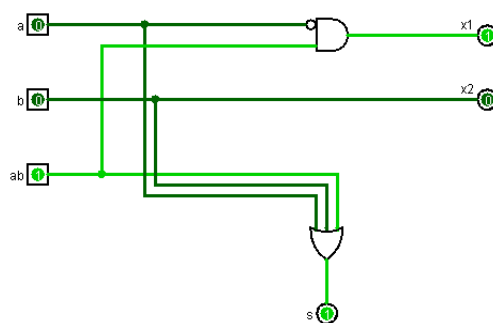


Рис. 23. Схема блока FL

3.1.9 Машина состояний

Данная схема представляет машину состояний или конечный автомат электронных часов. Она предназначена для переключения состояний в зависимости от входных сигналов. Она состоит из блоков F, FL и блока памяти.

Схема конечного автомата часов представлена на рисунке 24.

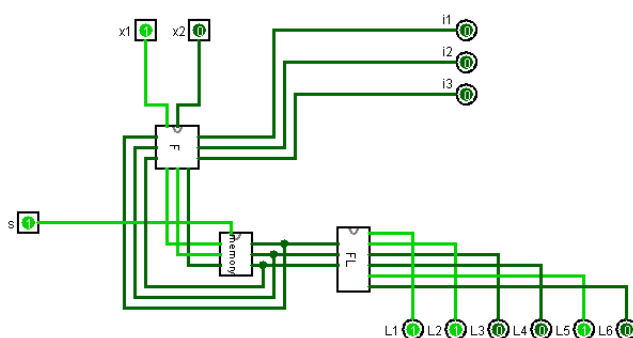


Рис. 24. Схема конечного автомата часов

3.1.10 Отсчет времени часов

Данная схема предназначена для отсчета времени часов. Она состоит из системы счетчиков. Схема отсчета времени у часов представлена на рисунке 25.

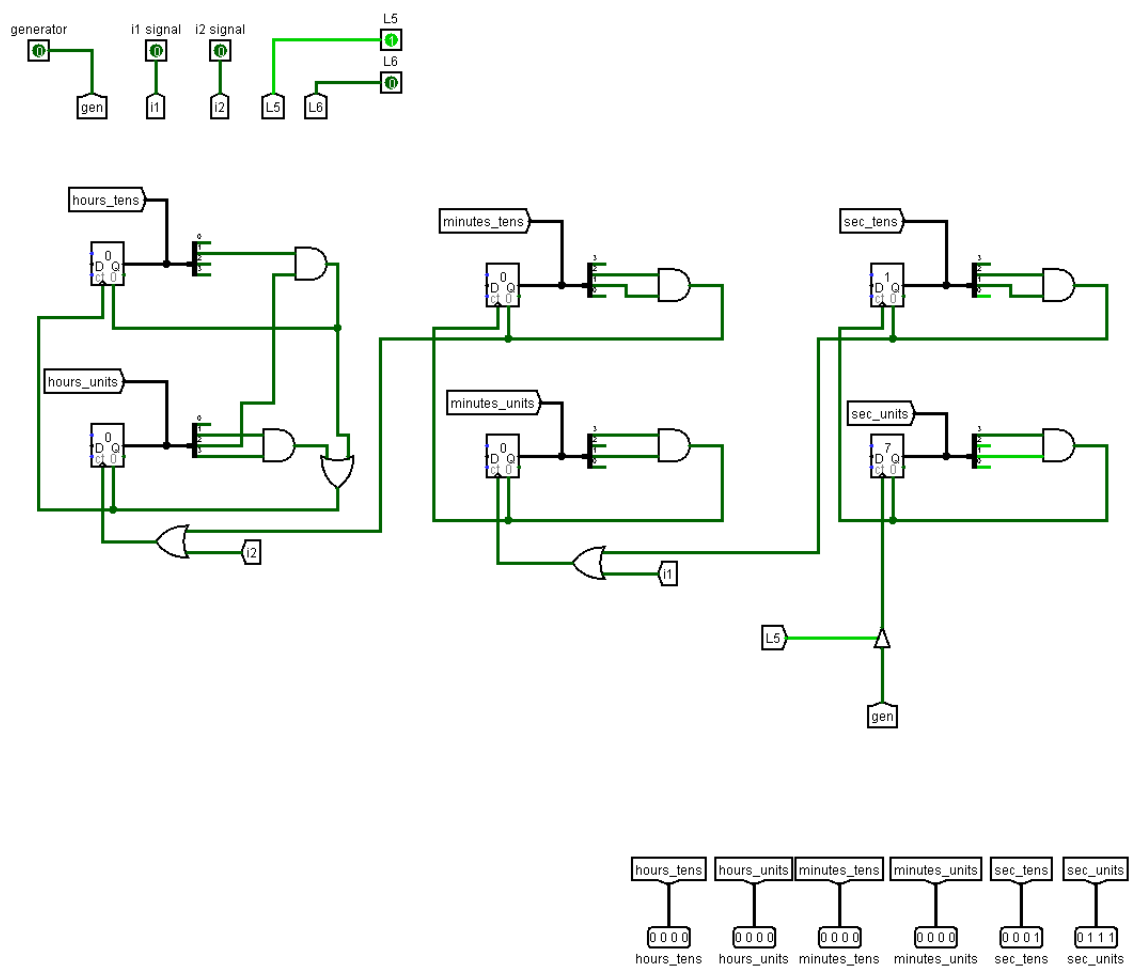


Рис. 25. Схема отсчета времени часов

3.1.11 Отсчет времени секундомера

Данная схема предназначена для отсчета времени секундомера. Она состоит из системы счетчиков. Схема отсчета времени у секундомера представлена на рисунке 25.

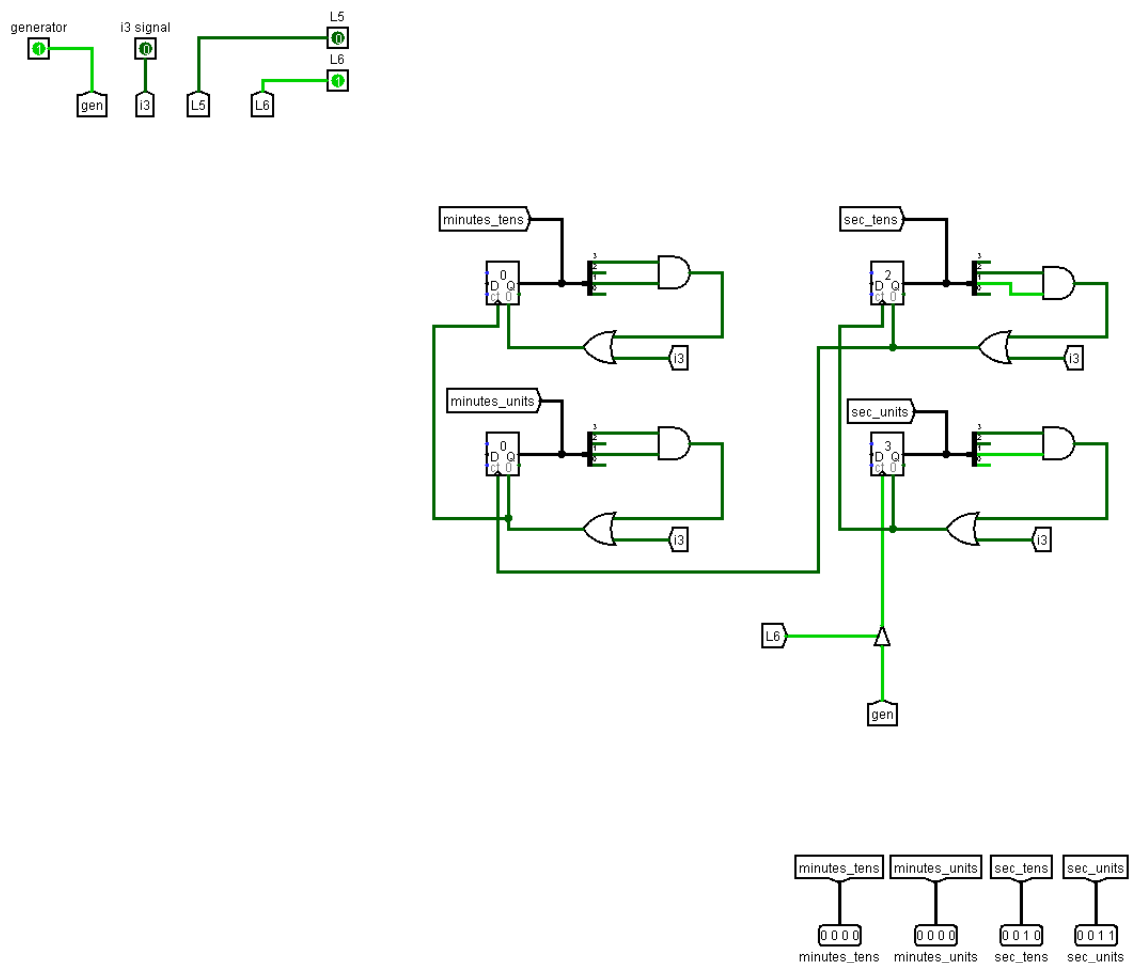


Рис. 26. Схема отсчета времени секундомера

3.1.12 Звуковая сигнализация

Так как в Logisim нет звукового выхода, имитация звуковой сигнализации происходит с помощью светодиода. В данной схеме происходит сохранения выходного сигнала каждую четверть часа в течении секунды с помощью D-триггера и счетчика. Схема звуковой сигнализации изображена на рисунке 26.

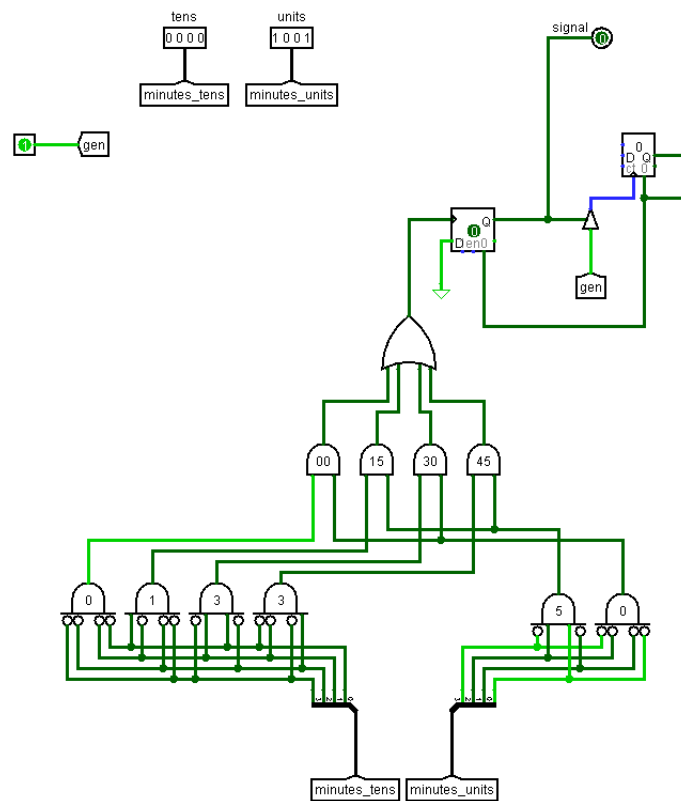


Рис. 27. Схема звуковой сигнализации

3.1.13 Интерфейс часов

Интерфейс часов состоит из 4 индикаторов, отображающих часы и минуты текущего времени, а также минуты и секунды секундомера. Для управления часами присутствуют кнопки «a», «b» и кнопка, имитирующая одновременное их нажатие, «ab».

Схема интерфейса электронных часов изображена на рисунке 27.

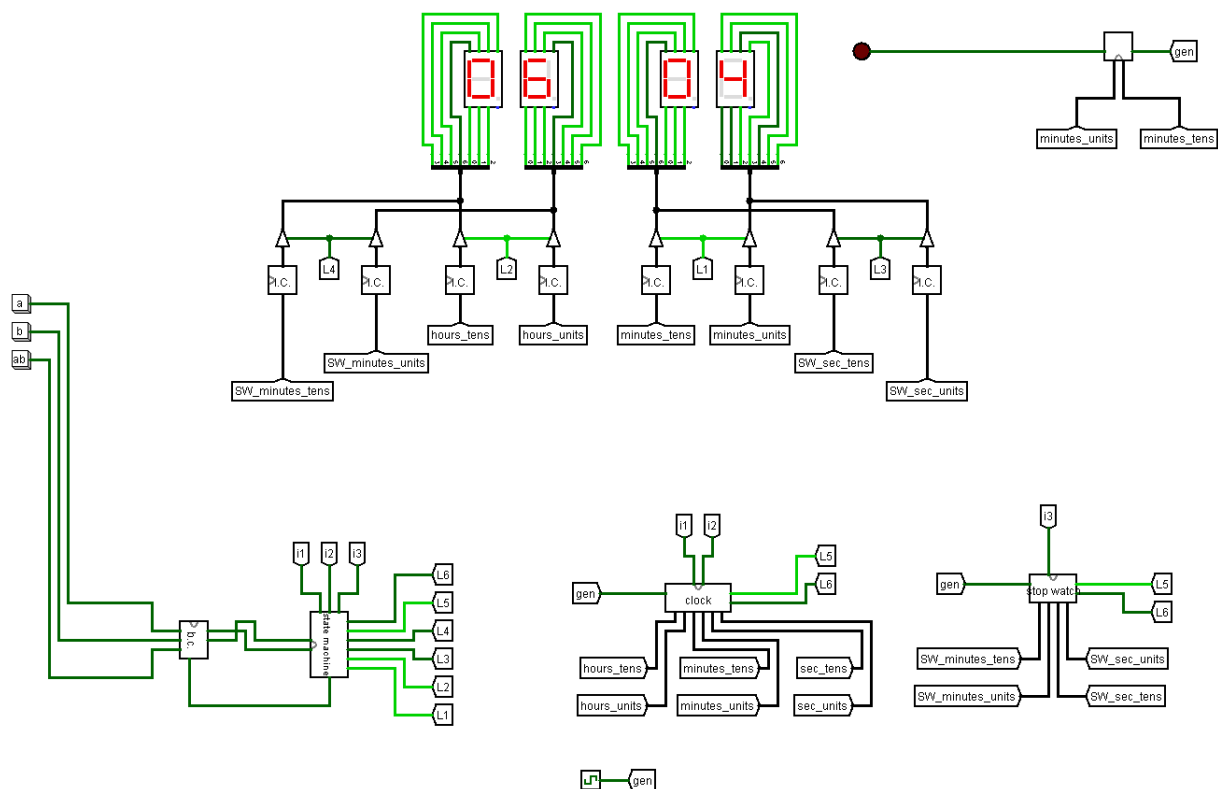


Рис. 28. Схема интерфейса электронных часов

3.2 Расчет площади схемы

Количество компонентов каждого типа на функциональной функциональной схеме электронных часов отображено на рисунке 27.

Компонент	Библиотека	Непосредственно	Уникальных	Рекурсивно
indicator converter	digital watch	8	8	8
F	digital watch	0	1	1
memory	digital watch	0	1	1
FL	digital watch	0	1	1
button converter	digital watch	1	1	1
state machine	digital watch	1	1	1
clock	digital watch	1	1	1
stop watch	digital watch	1	1	1
signal	digital watch	1	1	1
Разветвитель	Проводка	4	18	32
Контакт	Проводка	0	70	84
Тоннель	Проводка	44	89	89
Тактовый генератор	Проводка	1	1	1
Питание	Проводка	0	1	1
Элемент НЕ	Элементы	0	1	1
Элемент И	Элементы	0	70	252
Элемент ИЛИ	Элементы	0	22	71
Управляемый буфер	Элементы	8	11	11
D триггер	Память	0	4	4
Счётчик	Память	0	11	11
Кнопка	Ввод/вывод	3	3	3
Светодиод	Ввод/вывод	1	1	1
7-сегментный индикатор	Ввод/вывод	4	5	12
Метка	Базовые	0	19	82
ВСЕГО (без подсхем проекта)		65	326	655
ВСЕГО (с подсхемами)		78	342	671

Рис. 29. Статистика функциональной схемы часов

Непосредственно – количество компонентов, которые напрямую размещены на главной схеме. Если схема использует вложенные подсхемы, то количество их компонентов не подсчитывается.

Уникальных – общее количество уникальных компонентов одного типа, включая те что находятся внутри подсхем. Если подсхема используется несколько раз, то компоненты в ней считаются всего один раз.

Рекурсивно – полное количество компонентов, включая все из подсхем. Учитываются все экземпляры дублирующихся подсхем.

Рассчитаем число транзисторов для каждого компонента с учетом количества его вхождений в схему.

Инвертор: $4 * 1 = 4$

И: $6 * 252 = 1512$

ИЛИ: $4 * 71 = 284$

Управляемый буфер: $4 * 11 = 44$

D-триггер: $20 * 4 = 80$

Счетчик: $16 * 2 * 10 + 16 * 1 * 1 = 336$

7-сегментный индикатор: $7 * 17 = 119$

Другие компоненты не требуют транзисторов.

Итого получается 2379 транзисторов на данную функциональную схему. Исходя из расчета, что на $1 \text{ } mm^2$ приходится примерно 1000 транзисторов, функциональная схема реализованных часов будет занимать примерно $2,379 \text{ } mm^2$

Заключение

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

- Отображение и корректировка минут, часов.
- 24-часовой формат времени.
- Отключение индикаторов с целью экономии электроэнергии.
- Останов часов после состояния корректировки текущего времени.
- Секундомер с фиксацией накопленного времени и возможностью продолжения отсчета секундомера.
- Звуковая сигнализация каждые четверть часа в течение секунды.

Преимущества реализованной функциональной схемы часов:

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

Недостатки реализованной функциональной схемы часов:

1. Наличие лишнего сигнала L_4 , отвечающий за отображение минут у секундомера. В функционале часов у секундомера не бывает что минуты и секунды отображаются отдельно, поэтому было бы достаточно всего одного сигнала L_3 , который отвечал бы не только за отображение секунд, но и минут.
2. Недостаточно хорошо разработан граф конечного автомата: во время нажатия кнопки «ab», можно было бы сделать сброс накопленного времени с переходом в состояния остановленного секундомера.

Масштабирование: к реализованной функциональной схеме часов можно добавить отображение секунд, дня недели или день месяца. Также можно добавить будильник.

Функциональная схема электронных часов была реализована в Logisim 2.7.1.

Список литературы

- [1] Методические указания к курсовой работе. Сайт секции «Телематика». - Текст: электронный // tema.spbstu.ru : [сайт]. - URL: https://tema.spbstu.ru/userfiles/files/courses/2018-theory-algorithm/KuR_MU.pdf (дата обращения 01.11.2024).
- [2] Карпов Ю. Г. Теория автоматов. Питер, 2003 г., 206 с.
- [3] Эриксон Д. Алгоритмы. ДМК-Пресс, 2023 г., 526 с.