

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименования института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование кафедры)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника
(направленность (профиль) / специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему АВТОМАТ СВЕТОВЫХ ЭФФЕКТОВ

Студент	<u>А.С. Саидосанов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>А.В. Прядилов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультант	<u>О.А. Парфенова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)
« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2019

Аннотация

Объем 75 с., 27 рис., 25 табл., 33 источников
ДЕКОРАТИВНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ ГИРЛЯНДАМИ,
АВТОМАТ СВЕТОВЫХ ЭФФЕКТОВ,

Объектом исследования является автомат световых эффектов.

Цель работы: разработка мощного автомата световых эффектов для обеспечения иллюминации крупных объектов

Задачи работы:

1. обзор существующих автоматов световых эффектов
2. разработка структурной схемы и алгоритма функционирования автомата
3. анализ возможных схмотехнических решения и выбор наиболее подходящих
4. разработка принципиальной электрической схема автомата
5. проектировка печатной платы системы управления автомата

Работа включает в себя 4 главы.

Разработанный в данной работе проекте аппарат способен управлять шестью гирляндами по 11 кВт (220 В 50 А) каждая. По сравнению с существующими аналогами в аппарат также добавлена возможность ручного управления каждым отдельным каналом при помощи тумблеров.

Abstract

DECORATIVE LIGHTING, OFFICE LIGHTS, MACHINE LIGHTING EFFECTS,

The object of the study is the automatic light effects.

Purpose: development of a powerful light effects machine to provide illumination of large objects

Work tasks:

1. a review of existing machines of lighting effects
2. development of the block diagram and algorithm of the machine
3. analysis of possible circuit solutions and selection of the most suitable
4. development of the circuit diagram of the machine
5. design of the printed circuit Board of the control system of the machine

The work includes 4 chapters.

Developed in this project, the device is able to manage six garlands of 11 kW (220 V 50 A) each. In comparison with the existing analogs, the device also has the ability to manually control each individual channel with the help of toggle switches.

The scope of this work is the installation of induction heating.

In this paper, the development of thyristor induction heating Converter (PIN). It is designed to heat iron billets of cylindrical shape.

A review of the state of the issue, the calculation of the power part of the circuit, inductor, inverter, rectifier, control system, as well as the thermal calculation of power devices.

Developed control system and stabilization of the load voltage to the PIN which controls the thyristors of the inverter. This system performs the function of stabilizing the load voltage with a load voltage sensor.

Содержание

Введение.....	6
1 Обзор существующих решений.....	8
1.1 Классификация автоматов световых эффектов	8
1.2 Обзор выпускаемых автоматов световых эффектов	11
1.2.1 Автомат световых эффектов «Прометей»	11
1.2.2 Автомат световых эффектов «АКСИД»	12
1.2.3 Светодинамические автоматы «СДА».....	14
1.2.4 Семейство контроллеров для светодиодной рекламы UL-1.....	18
1.3 Анализ рынка существующих решений	20
2 Разработка структурной схемы устройства.....	23
3 Разработка принципиальной электрической схемы устройства	29
3.1 Выбор типа триггеров.....	29
3.1.1 Триггеры RS-типа	29
3.1.2 Триггеры D-типа	31
3.1.3 Триггеры T-типа.....	32
3.1.4 Триггеры JK-типа.....	33
3.2 Разработка системы управления.....	35
3.2.1 Синтез последовательностной части	35
3.2.2 Синтез комбинационной логической схемы	43
3.3 Выбор элементов схемы	49
3.4 Разработка генератора тактовых импульсов	51
3.4.1 Мультивибратор с кварцевой стабилизацией частоты	51
3.4.2 Схема деления частоты	52
3.5 Разработка силовой части	54
3.5.1 Требования, предъявляемые к силовой части.....	54
3.5.2 Обзор возможных схемотехнических решений.....	54

3.5.3 Проектирование силовой части	56
3.6 Разработка системы индикации.....	60
3.7 Разработка блока питания	62
4 Разработка конструкции	64
Заключение	71
Список используемой литературы	72

Введение

Современный рынок электроники предлагает широкий спектр устройств, предназначенных для создания различных световых эффектов. Основные сферы применения таких устройств:

- интерьерный дизайн помещений различного рода (торгово-развлекательных комплексов, баров, ресторанов и т.д.);
- оформление фасадов зданий, украшение парковых зон, различных учреждений культурно-массового обслуживания;
- наружная световая реклама (рекламные щиты, стенды и вывески).

Все эти устройства состоят из источников света и системы управления их коммутацией, служащей для создания определенного светового эффекта. Эта система осуществляет коммутацию источников света (световых гирлянд) в определенной последовательности в соответствии с заданным алгоритмом работы. Такие системы принято называть автоматами световых эффектов. Кроме реализации простой функции переключения источников света многие автоматы позволяют управлять яркостью свечения ламп.

Несмотря на множество выпускаемых автоматов световых эффектов (контроллеров для создания световых эффектов) и множество реализованных в них режимов, мощность, приходящаяся на 1 канал (у самых мощных моделей) составляет не более 2-5 кВт (см. гл. 1). Между тем, для создания иллюминации крупных торговых и культурно-массовых объектов (например, освещение площади и новогодней елки перед ДК СК г.Тольятти) существует необходимость в больших мощностях. Таким образом, целью работы является обеспечение иллюминации крупных объектов посредством разработки мощного автомата световых эффектов.

Для достижения этой цели в данной работе поставлены и решены следующие задачи:

- 1) выполнен обзор существующих автоматов световых эффектов:

2) разработана структурная схема и алгоритм функционирования автомата;

3) проанализированы возможные схемотехнические решения и выбраны наиболее подходящие;

4) разработана принципиальная электрическая схема автомата;

5) спроектирована печатная плата системы управления автомата;

6) рассчитаны затраты на разработку проекта;

7) проанализированы экологичность и безопасность проекта.

1 Обзор существующих решений

1.1 Классификация автоматов световых эффектов

По типу сигнала управления автоматы световых эффектов [1] можно разделить на автоматы, управляемые электрическим сигналом в соответствии с логикой своего построения и автоматы, управляемые звуковым сигналом («светомузыка»).

К первому виду относятся автоматы, управляющие светоизлучающими приборами в соответствии с заданным алгоритмом переключения. В зависимости от используемого схемотехнического решения реализация переключательной функции в них может осуществляться либо аппаратным, либо программным способом. Основой построения аппаратных автоматов являются логические интегральные микросхемы (ИМС) и простейшие автоматы с памятью – триггеры, тактируемые с помощью тактового генератора. Эти аппараты характеризуются сложностью схемотехнических решений и жестко заданным алгоритмом функционирования, причем чем большее количество световых эффектов можно создать с помощью автомата, тем большим количеством интегральных микросхем это достигается. Для построения автоматов с программно заданной переключательной функцией используются программируемые постоянные запоминающие устройства (ППЗУ), а также контроллеры различных типов. Такие устройства достаточно просты с точки зрения схемотехники, имеют возможность перепрограммирования. Однако для изготовления и использования таких устройств требуется дополнительное оборудование – программатор, либо персональный компьютер. И программные, и аппаратные автоматы могут быть как с полностью ручным управлением, так и полностью автоматическими. В последнее время широкое распространение получили автоматы с комбинированным управлением.

«Светомузыкальные» устройства – это автоматы световых эффектов, целиком и полностью управляемые звуковым сигналом. В большинстве своем эти устройства построены на принципе разложения звукового сигнала на частотные составляющие. При наличии выделяемой составляющей загорается тот или иной светоизлучающий прибор. Некоторые из них имеют дополнительные выходы для каждого канала и помимо регистрации наличия частотной составляющей отслеживают также ее уровень. Различают аналоговые (построенные с использованием только аналоговых элементов) и цифровые устройства (на выходе последних ставят аналогово-цифровые преобразователи, и дальнейшую обработку сигналов производят цифровые микросхемы, либо контроллеры).

С точки зрения типа используемой нагрузки автоматы световых эффектов можно разделить на низковольтные и высоковольтные. К низковольтным относятся автоматы, предназначенные для коммутации светоизлучающих приборов на напряжение до 42 В. Они используются главным образом для работы со светодиодными лампами, так как использование их для работы с обычными лампами накаливания требует применения достаточно большого сетевого трансформатора. Высоковольтные автоматы подают в нагрузку сетевое напряжение (220 В). Количество и мощность ламп в каждом канале таких устройств зависит от типа используемого выходного каскада. Классификация автоматов световых эффектов приведена на рисунке 1.1.

Классификация автоматов световых эффектов

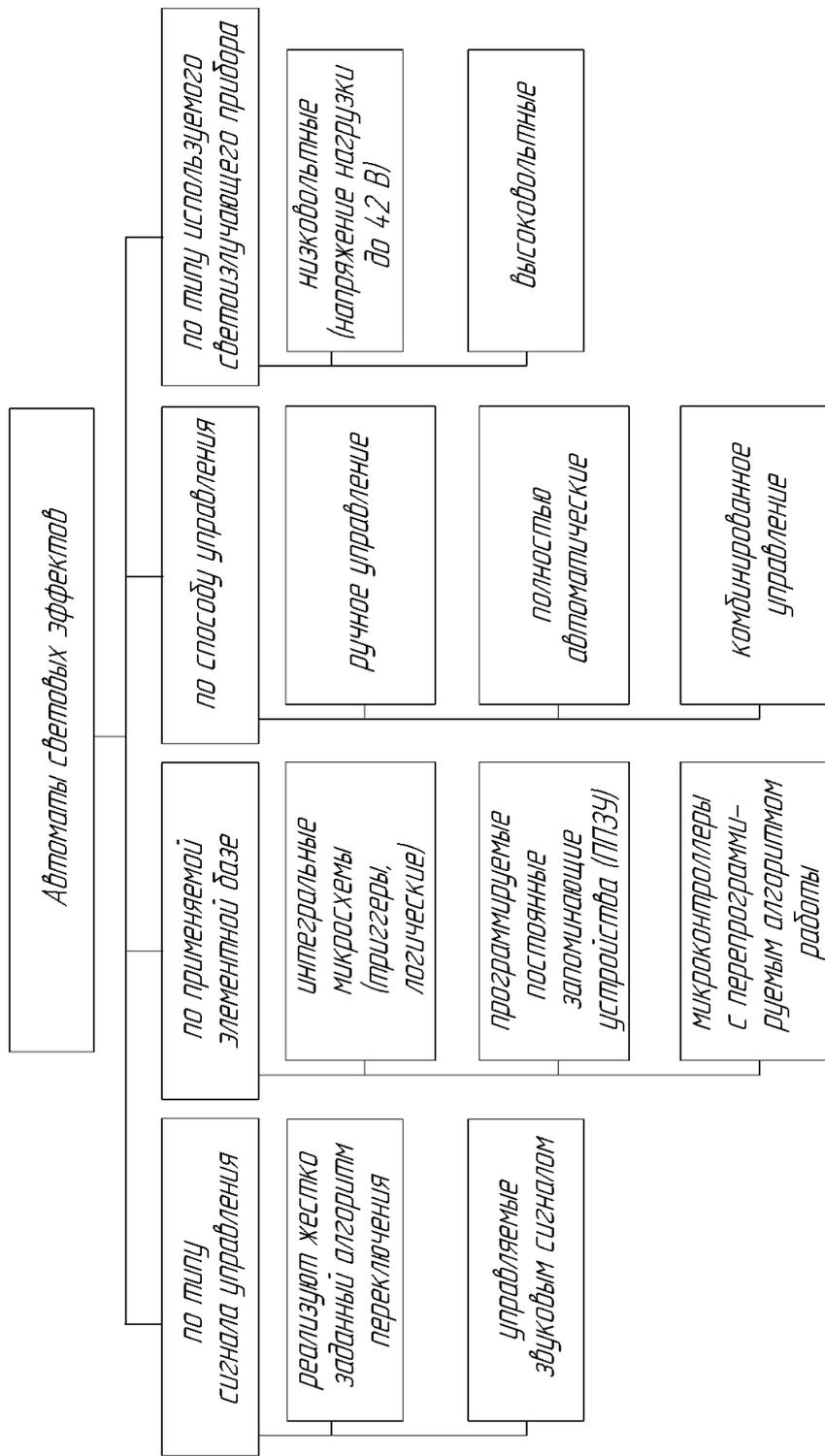


Рисунок 1.1. – Классификация автоматов световых эффектов.

1.2 Обзор выпускаемых автоматов световых эффектов

1.2.1 Автомат световых эффектов «Прометей»

Предлагаемый научно-производственной компанией «Интрон» автомат световых эффектов «Прометей» является современным электронным устройством общего назначения и предназначен для переключения световых устройств различной мощности на массовых мероприятиях, в различного рода культурно-массовых учреждениях, для подсветки в ночное время фасадов зданий, аттракционов, парковых зон. Кроме того, может применяться в наружной световой рекламе (рекламные щиты, вывески, указатели, стенды).

Позволяет обслуживать гирлянды, составленные из обычных ламп накаливания, а также из светового шнура «Дюралайт».

С целью снижения помех в электросети, от которой производится питание, в автомате используются оптосимисторы, осуществляющие переключение в момент прохождения сетевого напряжения через нуль (оптосимисторы с контролем нуля). Для равномерного распределения нагрузки при большой мощности предусмотрена возможность подключения к трехфазной сети.

Общие технические характеристики автоматов световых эффектов «Прометей» приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные технические характеристики автоматов световых эффектов «Прометей»

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	220/380
Вид коммутируемого тока	переменный
Время непрерывной работы	не ограничено
Гарантийный срок эксплуатации	12 месяцев
Диапазон допустимых значений температуры окружающей среды	-20...+50 °С
Наличие брызгозащищенной герметизации	отсутствует

Устройство выпускается в четырех исполнениях в зависимости от количества каналов и мощности нагрузки, подключаемой на каждый канал. Таблица выпускаемых моделей автомата приведена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Основные технические характеристики автоматов световых эффектов «Прометей»

Модель	Количество каналов	Мощность на каждый канал (Вт)	Габаритные размеры (мм)
«Прометей П4-400»	4	400	195×100×40
«Прометей П4-2200»	4	2200	300×200×120
«Прометей П8-2200»	8	2200	480×320×170
«Прометей П8-5000»	8	5000	480×320×170

1.2.2 Автомат световых эффектов «АКСИД»

Производитель ООО «Эсма-Каре» [3] предлагает автомат световых эффектов «АКСИД», который представляет собой четырехканальный контроллер для программного управления режимами работы светодиодных источников света с напряжением питания от 5 до 24 В постоянного тока и используется для создания светодинамических эффектов в световой рекламе и интерьерной подсветке. Выпускается в двух схемотехнических исполнениях – для коммутации нагрузки (светодиодных ламп) по схеме с общим анодом (управляет включением нагрузки по минусовым выводам), либо по схеме с общим катодом (управляет включением нагрузки по плюсовым выводам). Работает совместно с внешними блоками питания с выходными напряжениями от 5 до 24 В постоянного тока. Возможно использование нескольких блоков питания с разными выходными напряжениями.

Прибор обеспечивает программную коммутацию светодиодных нагрузок по выбранной программе. Выбор программ производится с помощью кнопок на верхней крышке прибора следующим образом: при нажатой и удерживаемой нижней кнопке, каждое нажатие верхней кнопки приводит к выбору

следующей по порядку программы. Аналогично, при нажатой и удерживаемой верхней кнопке, каждое нажатие нижней приводит к выбору программы с меньшим номером. При достижении максимального или минимального номера программы, следующее нажатие кнопки приводит соответственно к выбору программы с минимальным или максимальным номером. Работа выбранной программы отображается контрольными светодиодами. Скорость коммутации каналов выбирается дискретно, с помощью тех же кнопок. Каждое нажатие верхней кнопки увеличивает частоту коммутации на 25%, соответственно, каждое нажатие нижней кнопки, уменьшает частоту на 25 %. При достижении максимальной или минимальной частоты, последующие нажатия кнопок не приводят к их изменению. Количество каналов, набор программ, диапазон регулировок скорости переключений может быть установлен по заказу потребителя.

Основные технические характеристики автоматов световых эффектов «АКСИД» (рисунок 1.2) приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Основные технические характеристики автоматов световых эффектов «АКСИД»

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	5-24
Вид коммутируемого тока	постоянный
Собственная потребляемая мощность (не более), Вт	0,5
Количество каналов управления	1-6
Коммутируемое напряжение, В	5-24
Среднее значение коммутируемого тока (по каждому каналу, не более), А	4
Средний суммарный ток по всем шести каналам, не более, А	12
Количество выбираемых световых эффектов (программ)	24
Масса прибора, не более, кг	0,2
Габаритные размеры, мм	80×65×30
Диапазон рабочих температур,	-30...+40 °С
Гарантийный срок эксплуатации	18 месяцев



Рисунок 1.2 – Внешний вид автомата световых эффектов «АКСИД».

1.2.3 Светодинамические автоматы «СДА»

ООО «Лед-лайт» выпускает светодинамические автоматы «СДА-001», «СДА-002» и «СДА-003» [4].

Семейство светодинамических автоматов «СДА-001» предназначено для управления самыми разными источниками света, применяемыми в рекламной деятельности и интерьере освещении: неоновых ламп, ламп накаливания, световых шнуров «Дюралайт» и других светоизлучающих приборов, питаемых от напряжения 12 В. Для удобства работы со сложными рекламными конструкциями, конструкция этого семейства автоматов выполнена модульной, что позволяет путем агрегирования нескольких 8-канальных коммутационных блоков создавать коммутационную схему от 1 до 64 каналов коммутации, работающих от одного блока управления. Стандартный вариант автомата имеет 15 эффектов, переключающих каналы в соответствии с заданной программой. Установка выбранной программы производится с помощью переключателей. Для индикации работы каналов применена светодиодная подсветка. Для защиты каждого канала от превышения тока потребления и короткого замыкания применены предохранители. С помощью отдельного переключателя

можно регулировать скорость переключения каналов. Семейство автоматов «СДА-001» выпускается в трех основных вариантах: для подключения сетевой нагрузки (220 В переменного тока), для подключения электронных трансформаторов, управляемых током, для неоновых ламп (ток управления 10-15 мА), а также для подключения источников света, питающихся от напряжения 12 В (светодиоды). Основные технические характеристики автоматов «СДА-001» приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Основные технические характеристики семейства светодинамических автоматов «СДА-001»

Параметр	Вариант исполнения		
	«СДА-001»-220 В	«СДА-001»-10 мА	«СДА-001»-12 В
Напряжение питания, В	220	220	12
Вид коммутируемого тока	переменный	переменный	постоянный
Собственная потребляемая мощность (не более), Вт	5		
Максимальная мощность подключаемой нагрузки, Вт	1000, каждый седьмой канал 400	-	36, каждый седьмой канал только 12
Ток в цепи управления электронным трансформатором, мА	-	10-15	-
Метод управления включением каналов	коммутация ~220 В при переходе напряжения через «0»	подача на выход канала управляющего тока	коммутация цепи 12 В
Количество каналов управления	до 64		
Количество программ	до 15		
Количество шагов в программе	до 256		
Диапазон рабочих температур,	-30...+50 °С		
Гарантийный срок эксплуатации	12 месяцев		

Специально для создания эффектов на светодиодных лампах ООО «Лед-лайт» предлагает светодинамические автоматы типов «СДА-002» и «СДА-003». Они позволяют плавно или скачкообразно управлять яркостью светодиодных ламп, регулировать скорость переключения. Основные характеристики этих автоматов приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Основные технические характеристики светодинамических автоматов «СДА-002» и «СДА-003»

Параметр	Вариант исполнения	
	«СДА-002»	«СДА-003»
Напряжение питания, В	12	
Вид коммутируемого тока	постоянный	
Собственная потребляемая мощность (не более), Вт	2,5	
Максимальная мощность подключаемой нагрузки на один канал, Вт	36	6
Максимальная суммарная мощность подключенных нагрузок, Вт	192	84
Метод управления включением каналов	широтно-импульсная модуляция	
Количество каналов управления	до 24	до 14
Количество программ	до 250	
Диапазон рабочих температур,	-30...+55 °С	
Гарантийный срок эксплуатации	12 месяцев	

Изображения автоматов «СДА-001», «СДА-002» и «СДА-003» приведены на рисунках 1.3-1.5.



Рисунок 1.3 – Внешний вид автоматов для светодинамической рекламы семейства «СДА-001».



Рисунок 1.4 – Внешний вид светодинамического автомата «СДА-002».



Рисунок 1.5 – Внешний вид светодинамического автомата «СДА-003».

1.2.4 Семейство контроллеров для светодиодной рекламы UL-1

ООО «Элсикор» производит семейство контроллеров для светодиодной рекламы UL-1 [5]. Контроллер UL-1 для светодиодной (или просто световой) рекламы предназначен для управления группами светодиодов или ламп. Контроллер представляет собой автомат световых эффектов, управляющий яркостью групп светодиодов или ламп. Количество групп (каналов) светодиодов может достигать 48. Каждый канал управляется независимо от других. На каждый канал в каждый момент времени может быть установлена произвольная яркость. Число градаций яркости – до 15. В контроллер может загружаться до 9 разных программ световых эффектов. Переключение программ производится либо автоматически (в заданном порядке или случайно), либо кнопками или пультом. К контроллеру подключается фотодатчик для автоматического включения рекламы с наступлением темноты. Также возможна автоматическая регулировка яркости в зависимости от внешней освещенности. Для создания и просмотра световых эффектов на экране компьютера используется специальная программа. Созданные на компьютере эффекты загружаются в контроллер через COM-порт, в дальнейшем контроллер устанавливается вместе с рекламной вывеской и работает автономно. Для управления яркостью светодиодов контроллер использует широтно-импульсную модуляцию, а для управления яркостью ламп накаливания при питании от переменного напряжения контроллер использует фазовый метод управления (на плате контроллера имеется детектор перехода через ноль). Для коммутации нагрузок используются модули коммутации. Выбор модуля коммутации зависит от типа и мощности нагрузки. Модули коммутации соединяются каскадно для получения нужного количества выходных каналов. Имеются как низковольтные модули коммутации для постоянного тока, так и симисторные модули коммутации для управления нагрузками на 220 В.

Основные технические характеристики контроллера UL-1 (рисунок 1.6) приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Основные технические характеристики контроллера светодиодной рекламы UL-1

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	5
Число независимых каналов управления	до 48
Количество программ переключения	9
Максимальное количество записей состояний каналов	2048
Количество градаций яркости	15

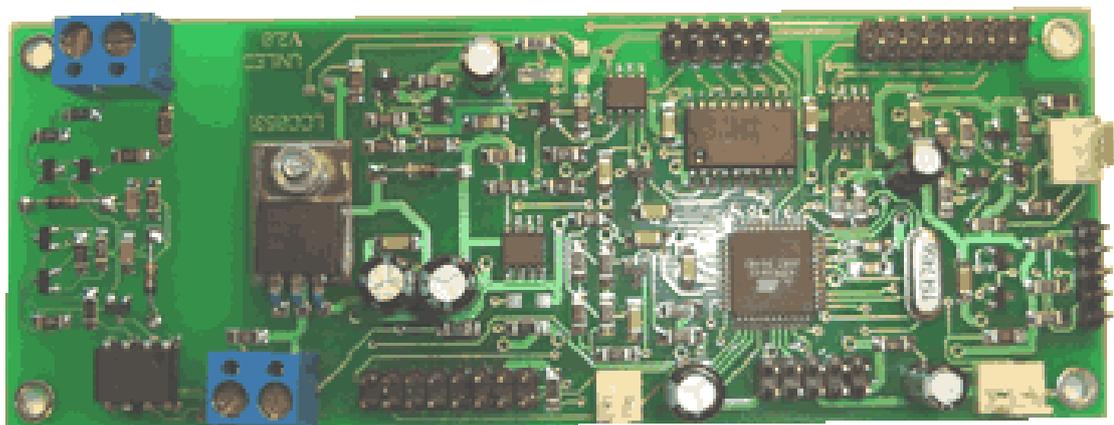


Рисунок 1.6 – Контроллер UL-1 для светодиодной рекламы.

1.3 Анализ рынка существующих решений

В результате исследования конъюнктуры рынка автоматов световых эффектов можно сделать вывод, что наиболее простым и недорогим устройством является автомат световых эффектов «Прометей». Это устройство является относительно недорогим, позволяет создавать простые эффекты. Недостатком устройства является то, что его можно использовать только для коммутации ламп накаливания или других ламп, рассчитанных на питание от сетевого напряжения (220/380 В). К достоинствам этого устройства можно отнести то, что оно позволяет коммутировать достаточно большую мощность на каждый канал управления (до 5 кВт).

Автомат световых эффектов «АКСИД» рассчитан на управление исключительно светодиодными источниками света (напряжение питания до 24 В), и позволяет коммутировать только постоянный ток. К достоинствам прибора можно отнести небольшие габаритные размеры и массу, а также наличие 24 встроенных программ переключения нагрузок.

Семейство светодинамических автоматов «СДА-001» позволяет коммутировать различные светоизлучающие приборы, как питающиеся от сетевого напряжения, так и от 24 В постоянного тока. Кроме того, они могут использоваться для коммутации неоновых ламп. Применение модульной конструкции позволило наращивать количество каналов управления до 64. При этом стандартный автомат имеет 15 различных программ переключения каналов. Специально для светодиодных источников света используются автоматы «СДА-002» и «СДА-003». Они коммутируют нагрузку только постоянного тока с напряжением до 12 В и позволяют реализовать до 250 программ переключения каналов.

Наиболее универсальным вариантом автомата световых эффектов следует назвать автомат световых эффектов на базе контроллера UL-1. Это устройство позволяет коммутировать нагрузки различного типа благодаря

использованию отдельных модулей коммутации. В отличие от других представленных автоматов световых эффектов, в контроллере UL-1 благодаря возможности подключения к персональному компьютеру через СОМ-порт, световые эффекты можно создавать с помощью специальной программы. В зависимости от используемой нагрузки контроллер позволяет различными способами регулировать яркость свечения ламп. Управление контроллером осуществляется не только с помощью кнопок, но и с помощью пульта. Кроме того, использование фотодатчика позволяет автоматически включать и выключать лампы в зависимости от внешней освещенности.

Световые автоматы с плавным регулированием освещенности осуществляют регулировку за счет фазового управления. Этот метод приемлем для ламп накаливания, но не подходит для компактных люминесцентных ламп со встроенными пускорегулирующими аппаратами (ПРА). Такие лампы являются энергосберегающими и, несмотря на свою высокую стоимость, находят все большее применение в нашей стране. Основываясь на этой тенденции, а так же в целях упрощения и удешевления устройства, приняли решение не использовать фазовое регулирование в разрабатываемом автомате.

На основании проведенного анализа рынка автоматов световых эффектов составили сравнительную таблицу 1.7.

Таблица 1.7 – Сравнительная таблица параметров автоматов световых эффектов.

Параметр	Наименование автомата световых эффектов						UL-1
	«Прометей»	«АКСИД»	«СДА-001»	«СДА-002»	«СДА-003»	UL-1	
Параметры нагрузки (ламп) цепи	лампы накаливания (переменный ток, 220 В)	светодиодные лампы (постоянный ток, 5-24 В)	Лампы накаливания, светодиодные лампы, неоновые лампы	светодиодные лампы (постоянный ток, 12 В)	светодиодные лампы (постоянный ток, 12 В)	Любая нагрузка в зависимости от выбранного модуля коммутации	
Метод управления включением каналов	фазовый	программный	фазовый, программный (в зависимости от типа ламп)	широно-импульсная модуляция	широно-импульсная модуляция	фазовый, широтно-импульсная модуляция (в зависимости от типа ламп)	
Количество каналов управления	4-8	1-6	до 64	до 24	до 14	до 48	
Количество программ	1	24	до 15	до 250	до 250	9	
Возможность перепрограммирования	нет	нет	нет	нет	нет	есть	
Возможность регулирования яркости свечения	нет	нет	нет	нет	нет	есть (число градаций яркости – до 15)	
Собственная потребляемая мощность	не более 5 Вт	не более 0,5 Вт	не более 5 Вт	не более 2,5 Вт	не более 2,5 Вт	менее 0,5 Вт	
Максимальная мощность подключаемой нагрузки на 1 канал	400-5000 Вт	6 Вт	36-1000 Вт (в зависимости от типа ламп)	36 Вт	6 Вт	до 2.2. кВт (в зависимости от модуля коммутации)	

2 Разработка структурной схемы устройства

Согласно заданию, нам необходимо разработать схему устройства, управляющего полупроводниковыми ключами для коммутации светоизлучающих приборов. Устройство должно переключать шесть каналов сетевой нагрузки ($U_H = 220 \text{ В}$, $I_H = 50 \text{ А}$) в соответствии с заданным алгоритмом. Алгоритм переключения каналов приведен в таблице 2.1. Таким образом, необходимо разработать устройство, реализующее алгоритм переключения каналов, выбрать тип электронного ключа и рассчитать его параметры в зависимости от параметров нагрузки.

Таблица 2.1 – Таблица выходных сигналов

№	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
1	1	0	1	0	0	0
2	0	1	0	1	0	0
3	0	0	1	0	1	0
4	0	0	0	1	0	1
5	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	1	0	1
9	0	0	1	0	1	0
10	0	1	0	1	0	0
11	1	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0

В качестве устройства, осуществляющего заданную переключательную функцию, выберем цифровой автомат. Цифровой автомат – это устройство, оперирующее с логическими сигналами и имеющее некоторое множество внутренних состояний при множестве входных и выходных сигналов [6]. При этом каждому набору входных сигналов соответствует определенный набор выходных сигналов и внутренних состояний.

В цифровых автоматах принят алфавитный способ задания информации. Символы, из которых состоит алфавит, называются буквами. Конечные последовательности букв называются словами. Число букв в слове называется длиной слова.

Любой дискретный преобразователь можно представить в виде устройства, на вход которого поступают слова из букв входного алфавита, а на выходе – выходного алфавита.

Процесс преобразования информации в таком устройстве сводится к установлению соответствия между входными и выходными словами. Такое определенным образом заданное соответствие называют алфавитным оператором. Алфавитные операторы, задаваемые на основе конечной системы правил, принято называть алгоритмами.

Отличительная особенность функционирования цифрового автомата определяется его свойствами:

- автомат имеет конечное число внутренних состояний;
- переход автомата из одного состояния в другое происходит скачкообразно.

Скачкообразность перехода позволяет рассматривать автомат как мгновенный. Для учета присущей реальным устройствам инерционности вводятся ограничения в условия работы цифровых автоматов: после изменения состояния автомата, переход его в следующее состояние возможен не ранее, чем через фиксированный для данного автомата промежуток времени, называемый интервалом дискретности или тактом. Это обстоятельство позволяет рассматривать функционирование автомата в так называемом автоматном времени, принимающем целые значения: 0, 1, 2, 3... Изменение состояний автомата вызывается входными сигналами, а результат работы автомата фиксируется формированием выходных сигналов.

При описании алгоритма функционирования автомата задаются:

- множеством букв входного алфавита автомата: $U = \{u\} = \{u_0, u_1, u_2, \dots\}$;
- множеством букв выходного алфавита автомата: $Y = \{y\} = \{y_0, y_1, y_2, \dots\}$;
- множеством букв алфавита внутренних состояний: $W = \{w\} = \{w_0, w_1, w_2, \dots\}$.

Одно из состояний w_0 выделяют в качестве начального состояния.

На перечисленных множествах необходимо задать функцию переходов и функцию выходов.

Функция переходов определяет состояние автомата $w(t+1)$ в момент времени $(t+1)$, в зависимости от его состояния $w(t)$ и входного сигнала $u(t+1)$. В таком случае функцию переходов записывают $\Psi(w(t), u(t))=y(t+1)$.

Функция выходов определяет выходной сигнал $y(t)$. Она может быть задана несколькими способами. Если выходной сигнал в момент t определяется только состоянием автомата в этот момент, то есть $Y(t)=\varphi(w(t))$, то такой автомат называется автоматом Мура. Если же выходной сигнал является функцией не только внутреннего состояния автомата, но и входного сигнала, то есть $Y(t)=\varphi[w(t); u(t)]$, то такой автомат называется автоматом Мили.

Описывать работу цифрового автомата с помощью функций перехода и выхода недостаточно удобно, поэтому пользуются табличным способом, построением графов и составлением граф-схем алгоритмов.

В нашем случае входные сигналы отсутствуют, то есть устройство, которое будет реализовывать переключательную функцию автомата световых эффектов, представляет собой автомат Мура.

Различают цифровые автоматы синхронные и асинхронные. В синхронных автоматах содержатся элементы задержки. Они выполняют функцию запоминания сигналов внутренних переменных на один такт и управляются внешними тактовыми импульсами. Таким образом, при

отсутствии внешнего тактового сигнала изменений во внутреннем состоянии автомата не происходит.

В асинхронных автоматах задержка сигналов внутренних переменных обусловлена инерционностью логических элементов и скоростью распространения электрических сигналов.

Различие сигналов внутренних переменных на входе и выходе комбинационных частей имеет место только при динамической части такта. В статической части значения совпадают, при этом имеет место устойчивое состояние автомата. В комбинационной части может происходить явление «гонки» логики. При применении синхронной схемы временные ошибки не оказывают влияния на работу устройства, поскольку тактовые импульсы, разрешающие передачу импульса с выхода на вход, передаются только по истечении динамической части такта.

Асинхронные устройства включают в себя только комбинационные устройства, а синхронные предполагают наличие простейших элементов памяти. При этом число различных состояний автомата зависит от объема памяти. Объем памяти автомата определяется количеством входящих в него элементов памяти. Элементами памяти могут быть как элементарные триггеры различных типов, так и стандартные микросхемы памяти (постоянные запоминающие устройства различных видов).

Для формирования множества внутренних состояний автомата необходимо разработать последовательностную часть автомата, которая строится на наборе элементов памяти – триггеров. В нашем случае последовательностная часть автомата должна обеспечить заданное число кодированных внутренних состояний автомата. По количеству строк в таблице выходов автомата число внутренних состояний автомата равно 12.

Для формирования выходных сигналов в соответствии с таблицей выходных сигналов необходимо разработать комбинационную логическую схему. Построение комбинационной логической схемы осуществляется при

помощи логических интегральных микросхем в соответствии с заданной таблицей выходных сигналов автомата (таблица 2.1).

Для обеспечения изоляции цифровых логических цепей автомата от силовых цепей коммутации нагрузки следует обеспечить гальваническую развязку. Через гальваническую развязку управляющие сигналы будут поступать на силовые ключи, которые будут осуществлять коммутацию в соответствии с переключательной функцией автомата. Сигналы с силовых ключей поступают непосредственно в нагрузку – к лампам накаливания.

Для построения синхронного автомата будем использовать тактируемые триггеры. Зададимся интервалом дискретности автомата (временем одного такта) 1 с. Для реализации этого времени переключения каналов требуется тактировать триггеры с помощью генератора прямоугольных импульсов с частотой:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1} = 1\text{Гц}, \quad (2.1)$$

Структурная схема устройства приведена на рисунке 2.1.

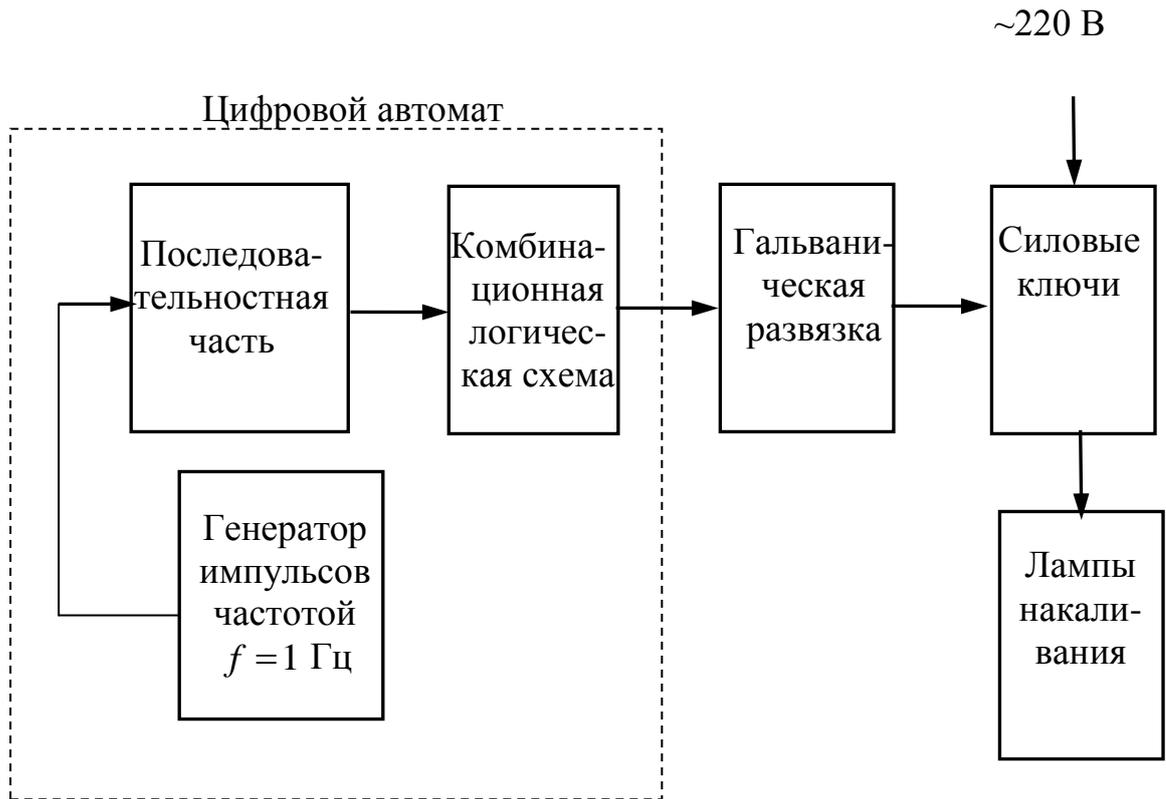


Рисунок 2.1 – Структурная схема автомата световых эффектов.

3 Разработка принципиальной электрической схемы устройства

3.1 Выбор типа триггеров

Элементарные автоматы с памятью (триггеры) – это автоматы, имеющие следующие свойства [7,8]:

- число входных переменных не более трех. В это число не входит тактовый вход, на который подаются синхронизирующие импульсы;
- число внутренних состояний равно двум, чему соответствует одна внутренняя переменная, которую принято обозначать «Q»;
- число выходных переменных равно одному, причем ее значение совпадает со значением внутренней переменной Q;
- функции переходов, называемые характеристическими уравнениями, являются полными

$$Q^{t+1} = Q(x_t, Q^t). \quad (3.1)$$

3.1.1 Триггеры RS-типа

Триггер RS-типа представляет собой элементарный последовательностный автомат с двумя входами R и S, функционирующий в соответствии с таблицей 3.1.

Таблица 3.1 – Таблица функционирования RS – триггера

Такт t		Q ^t	Q ^{t+1}
R ^t	S ^t		
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	0
1	1	0	*
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	1	*

В триггерах RS – типа одновременная подача единичных значений входных переменных R и S недопустима, так как происходит логическая гонка и невозможно предсказать, в каком состоянии окажется триггер. В строчках таблицы функционирования, соответствующих $R^t = S^t = 1$ содержится знак неопределенности состояния Q^{t+1} (*).

Доопределяя значения Q^{t+1} , соответствующие запрещенным комбинациям единицами и упрощая совершенную дизъюнктивную нормальную форму, можно представить характеристическое уравнение триггера в следующей минимальной форме:

$$Q^{t+1} = S^t + \overline{R^t} \cdot Q^t, \quad (3.2)$$

или с учетом закона инверсии де Моргана:

$$Q^{t+1} = \overline{\overline{S^t} \cdot (R^t \cdot Q^t)}. \quad (3.3)$$

Такой триггер может быть построен на базе простых логических элементов «И-НЕ» или «ИЛИ-НЕ». Такой триггер будет асинхронным. В отличие от асинхронного, тактируемый RS – триггер на каждом входе имеет дополнительные схемы совпадения и описывается выражением:

$$Q^{t+1} = S^t \cdot C^t + Q^t \cdot \overline{(R^t \cdot C^t)}. \quad (3.4)$$

В большинстве случаев на практике требуется определить комбинацию входных сигналов при заданном переходе триггера из одного состояния в другое. Эту задачу решают с помощью построения характеристической таблицы переходов триггера (таблица 3.2). Для ее построения рассматривают таблицу функционирования для всех возможных переходов $Q^t \rightarrow Q^{t+1}$: $0 \rightarrow 0$, $0 \rightarrow 1$, $1 \rightarrow 0$, $1 \rightarrow 1$.

Таблица 3.2 – Характеристическая таблица триггера RS-типа

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$		R^t	S^t
0	0	*	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	*

3.1.2 Триггеры D-типа

Триггеры D-типа относятся к одноходовым триггерам. Согласно таблице функционирования (таблица 3.3) его характеристическое уравнение определяется соотношением:

$$Q^{t+1} = D^t \cdot \overline{Q^t} + D^t \cdot Q^t = D^t. \quad (3.5)$$

Таблица 3.3 – Таблица функционирования D – триггера

Такт t		Q ^{t+1}
D ^t	Q ^t	
0	0	0
1	0	1
0	1	0
1	1	1

То есть в следующий момент времени триггер устанавливается в состояние, соответствующее значению переменной на D-входе в момент времени t. Таким образом, D-триггер выполняет функцию задержки входного сигнала. Характеристическая таблица для D-триггера приведена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Характеристическая таблица D – триггера

Q ^t → Q ^{t+1}		D ^t
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Тактируемый D-триггер функционирует в соответствии с таблицей 3.5.

Таблица 3.5 –Таблица функционирования тактируемого D-триггера

Такт t		Q ^t	Q ^{t+1}
C ^t	D ^t		
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1

Продолжение таблицы 3.5

1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

Характеристическое уравнение тактируемого D-триггера записывается в виде:

$$Q^{t+1} = \overline{C}^t \cdot Q^t + C^t \cdot D^t . \quad (3.6)$$

Следовательно, при наличии тактирующего сигнала ($C^t=1$) триггер переходит в состояние $Q^{t+1} = D^t$, а при отсутствии тактирующего сигнала ($C=0$) триггер сохраняет предыдущее состояние.

3.1.3 Триггеры T-типа

Такой триггер относится к одноходовым устройствам с двумя устойчивыми состояниями. Он изменяет свое состояние на противоположное всякий раз, когда на его вход T поступает управляющий сигнал.

T-триггер функционирует в соответствии с таблицей функционирования (таблица 3.6), а его характеристическая таблица – таблица 3.7.

Таблица 3.6 – Таблица функционирования T-триггера.

Такт t		Q^{t+1}
T^t	Q^t	
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Таблица 3.7 – Характеристическая таблица T-триггера.

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	T^t
0 0	0
0 1	1
1 0	1
1 1	0

Характеристическое уравнение Т-триггера имеет вид:

$$Q^{t+1} = Q^t \cdot \overline{T^t} + \overline{Q^t} \cdot T^t . \quad (3.7)$$

3.1.4 Триггеры JK-типа

Триггеры JK-типа относятся к двухвходовым устройствам, функционирующим в соответствии с таблицей 3.8. Характеристическая таблица JK – триггера приведена в таблице 3.9.

Триггер JK-типа функционирует, как триггер RS-типа. При этом вход J эквивалентен входу S, а вход K – входу R. Отличие заключается только в том, что при подаче на оба его входа J и K высокого уровня (конъюнкции J·K=1), триггер инвертирует предыдущее состояние $Q^{t+1} = \overline{Q^t}$.

Таблица 3.8 – Таблица функционирования JK – триггера

Такт t		Q ^t	Q ^{t+1}
J ^t	K ^t		
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	0
1	1	0	1
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	1	0

Таблица 3.9 – Характеристическая таблица триггера JK-типа

Q ^t → Q ^{t+1}		R ^t	S ^t
0	0	0	*
0	1	1	*
1	0	*	1
1	1	*	0

Функционирование триггера JK- типа описывается следующим уравнением:

$$Q^{t+1} = J^t \cdot \overline{Q^t} + \overline{K^t} \cdot Q^t . \quad (3.8)$$

JK – триггер получил наибольшее распространение в схемотехнике. Он является универсальным, поскольку коммутацией внешних выводов JK-триггер можно превратить в триггер, выполняющий функции триггеров R-S, D и T типов.

На основании приведенного анализа функционирования триггеров различных типов выбрали в качестве элементов памяти последовательностной части автомата JK – триггеры, как наиболее универсальные.

3.2 Разработка системы управления

3.2.1 Синтез последовательностной части

Синтез синхронных последовательностных устройств выполняется, исходя из заданной таблично или алгебраически системы функций выходов и переходов при определенной элементной базе.

Число K внутренних состояний автомата должно равняться числу различных выходных сигналов Z . Согласно таблице 2.1 число различных комбинаций выходных сигналов равно $Z=12$. Количество элементарных триггеров в составе автомата определяется как ближайшее целое число от логарифма числа внутренних состояний автомата по основанию «2». Определили число элементарных автоматов (триггеров) в составе цифрового автомата:

$$\begin{aligned} N &\geq \log_2 K, \\ N &\geq \log_2 12, \\ N &\geq 4. \end{aligned} \tag{3.9}$$

Кодирование внутренних состояний автомата осуществляется с помощью кода Грея. В коде Грея при переходе к каждому последующему состоянию изменяется только один разряд кодовой комбинации, что устраняет возникновение неоднозначности и появление логических гонок, а также позволяет создавать циклические кодовые последовательности.

В таблице 3.10 приведена таблица переходов последовательностной части автомата с кодированными кодом Грея внутренними состояниями.

Таблица 3.10 – Таблица переходов цифрового автомата

Состояние в момент t	Q_0^t	Q_1^t	Q_2^t	Q_3^t	Состояние в момент t+1	Q_0^{t+1}	Q_1^{t+1}	Q_2^{t+1}	Q_3^{t+1}
A1	0	0	0	0	A2	0	0	0	1
A2	0	0	0	1	A3	0	0	1	1
A3	0	0	1	1	A4	0	0	1	0
A4	0	0	1	0	A5	0	1	1	0
A5	0	1	1	0	A6	0	1	1	1
A6	0	1	1	1	A7	0	1	0	1
A7	0	1	0	1	A8	0	1	0	0
A8	0	1	0	0	A9	1	1	0	0
A9	1	1	0	0	A10	1	1	0	1
A10	1	1	0	1	A11	1	1	1	1
A11	1	1	1	1	A12	1	1	1	0
A12	1	1	1	0	A1	0	0	0	0

Для осуществления синтеза последовательной части автомата необходимо минимизировать переключательную функцию автомата. Наиболее удобно эта задача решается с помощью карт Карно [8]. При традиционном аналитическом упрощении функции зачастую возникают трудности с группировкой слагаемых логической суммы и вынесением за скобки множителей в логических произведениях. Карты Карно решают эту проблему путем автоматической группировки слагаемых в дизъюнктивные группы, каждое слагаемое при этом является конъюнкцией всех аргументов функции. Вынесение за скобки и «склейка» по определенным аргументам также выполняются автоматически.

Карты Карно представляют собой таблицу, содержащую значения логической функции для всех наборов аргументов, входящих в логическую функцию. В таблицу помещаются все значения функции, даже неопределенные. Таблица содержит 2^n клеток, где n – количество аргументов в функции. В заголовки строк и столбцов заносятся сочетания аргументов, входящих в состав функции, так, чтобы клетка, лежащая на пересечении выбранного столбца и

выбранной строки представляла собой сочетание всех входящих в состав функции аргументов. При этом при переходе от строки к строке и от столбца к столбцу должно изменяться значение только одного аргумента.

В каждую клетку таблицы заносят значение функции, соответствующее данному набору. В итоге, таблица должна представлять собой упорядоченное множество всех значений рассматриваемой функции.

На основе таблицы 3.10 для каждого триггера составили карты Карно, отражающие переход данного триггера из предыдущего состояния Q_i^t в последующее Q_i^{t+1} . Для этого в клетки карты, соответствующие номерам предыдущих значений автомата, вписываются двухразрядные двоичные числа, выражающие переход триггера Q_i^t в состояние Q_i^{t+1} . Полученные таблицы называются прикладными. Так как в нашем случае число триггеров равно 4, то разметка таблицы будет содержать 16 клеток. Прочеркнутая клетка соответствует исключенному состоянию автомата. В нашем случае число исключенных состояний автомата равно 4. На основании полученных прикладных таблиц и характеристической таблицы JK – триггера составили карты Карно соответственно для каждого входа триггера. Для этого двухразрядные двоичные числа в прикладных таблицах заменили соответствующими обобщенными значениями из клеток характеристической таблицы (таблицы 3.9).

Полученные карты приведены на рисунках 3.1 – 3.3. На основании этих карт можно записать минимизированные логические функции для входов триггеров цифрового автомата. Минимизация функции с помощью карт Карно производится в 3 этапа:

- 1) В заполненной карте Карно выделяются прямоугольные области в виде квадратов или прямоугольников, содержащие ячейки с единицами. Количество ячеек в областях должно быть равным 2^n , где n – целое число. Выделять следует также ячейки, расположенные на противоположных краях карты Карно и составляющие требуемый прямоугольный блок при «сворачивании» таблицы

в цилиндр по горизонтали или вертикали. Учитывая, что в прочеркнутых клетках, как и со звездочкой, функция не определена, при проведении контуров в картах Карно можно включать указанные клетки в контуры по мере необходимости.

2) Аргументы, входящие в выделенный блок с инверсией и без инверсии, сокращаются. Оставшиеся аргументы составляют конъюнктивную группу.

3) После того, как произведено сокращение аргументов во всех выделенных прямоугольных областях, записывается дизъюнкция полученных конъюнктивных групп, представляющая собой минимизированную логическую функцию.

$$Q_0^t \rightarrow Q_0^{t+}$$

		Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
		00	-	-	00
Q_3^t		00	11	11	00
		00	10	11	01
$\overline{Q_3^t}$		00	-	-	00
		$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

а) Первый триггер

$$Q_1^t \rightarrow Q_1^{t+1}$$

		Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
		00	-	-	00
Q_3^t		11	11	11	11
		11	10	11	11
$\overline{Q_3^t}$		01	-	-	00
		$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

б) Второй триггер

$$Q_2^t \rightarrow Q_2^{t+}$$

		Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
		11	-	-	01
Q_3^t		10	11	01	00
		11	10	00	00
$\overline{Q_3^t}$		11	-	-	00
		$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

в) Третий триггер

$$Q_3^t \rightarrow Q_3^{t+}$$

		Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
		10	-	-	11
Q_3^t		11	10	11	10
		01	00	01	00
$\overline{Q_3^t}$		00	-	-	01
		$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

г) Четвертый триггер

Рисунок 3.1 - Карты Карно для триггеров цифрового автомата.

J_0

	Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
	0	-	-	0
Q_3^t	0	*	*	0
	0	*	1	
$\overline{Q_3^t}$	0	-	-	0
	$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

а) Первый триггер

J_1

	Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
	0	-	-	0
Q_3^t	*	*	*	*
	*	*	*	*
$\overline{Q_3^t}$	1	-	-	0
	$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

б) Второй триггер

J_2

	Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
	*	-	-	1
Q_3^t	*	*	1	0
	*	*	0	0
$\overline{Q_3^t}$	*	-	-	0
	$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

в) Третий триггер

J_3

	Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
	*	-	-	*
Q_3^t	*	*	*	*
	1	0	1	0
$\overline{Q_3^t}$	0	-	-	1
	$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

г) Четвертый триггер

Рисунок 3.2 - Карты Карно для J - входов триггеров цифрового автомата.

K_0

	Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
Q_3^t	*	-	-	*
Q_1^t	*	0	0	*
Q_3^t	*	1	0	*
	$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

а) Первый триггер

K_1

	Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
Q_3^t	*	-	-	*
Q_1^t	0	0	0	0
Q_3^t	0	1	0	0
	$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

б) Второй триггер

K_2

	Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
Q_3^t	0	-	-	*
Q_1^t	1	0	*	*
Q_3^t	0	1	*	*
	$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

в) Третий триггер

K_3

	Q_2^t	$\overline{Q_2^t}$		
Q_3^t	1	-	-	0
Q_1^t	0	1	0	1
Q_3^t	*	*	*	*
	$\overline{Q_0^t}$	Q_0^t	$\overline{Q_0^t}$	

г) Четвертый триггер

Рисунок 3.3 - Карты Карно для К - входов триггеров цифрового автомата.

Полученные уравнения для входов J триггеров:

$$\begin{aligned}
 J_0 &= \overline{Q_1^t} \overline{Q_2^t} \overline{Q_3^t}, \\
 J_1 &= \overline{Q_2^t} \overline{Q_3^t}, \\
 J_2 &= \overline{Q_1^t} \overline{Q_3^t} + \overline{Q_0^t} \overline{Q_3^t}, \\
 J_3 &= \overline{Q_0^t} \overline{Q_1^t} \overline{Q_2^t} + \overline{Q_0^t} \overline{Q_1^t} \overline{Q_2^t} + \overline{Q_0^t} \overline{Q_1^t} \overline{Q_2^t}.
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

Соответственно уравнения для входов К триггеров:

$$\begin{aligned}
 K_0 &= \overline{Q_2^t} \overline{Q_3^t}, \\
 K_1 &= \overline{Q_0^t} \overline{Q_2^t} \overline{Q_3^t}, \\
 K_2 &= \overline{Q_0^t} \overline{Q_3^t} + \overline{Q_0^t} \overline{Q_1^t} \overline{Q_3^t}, \\
 K_3 &= \overline{Q_1^t} \overline{Q_2^t} \overline{Q_3^t} + \overline{Q_0^t} \overline{Q_1^t} \overline{Q_2^t} + \overline{Q_0^t} \overline{Q_1^t} \overline{Q_2^t}.
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

На основании полученных уравнений для входов J и К триггеров построили последовательностную часть автомата. Последовательностная часть автомата приведена на рисунке 3.4.

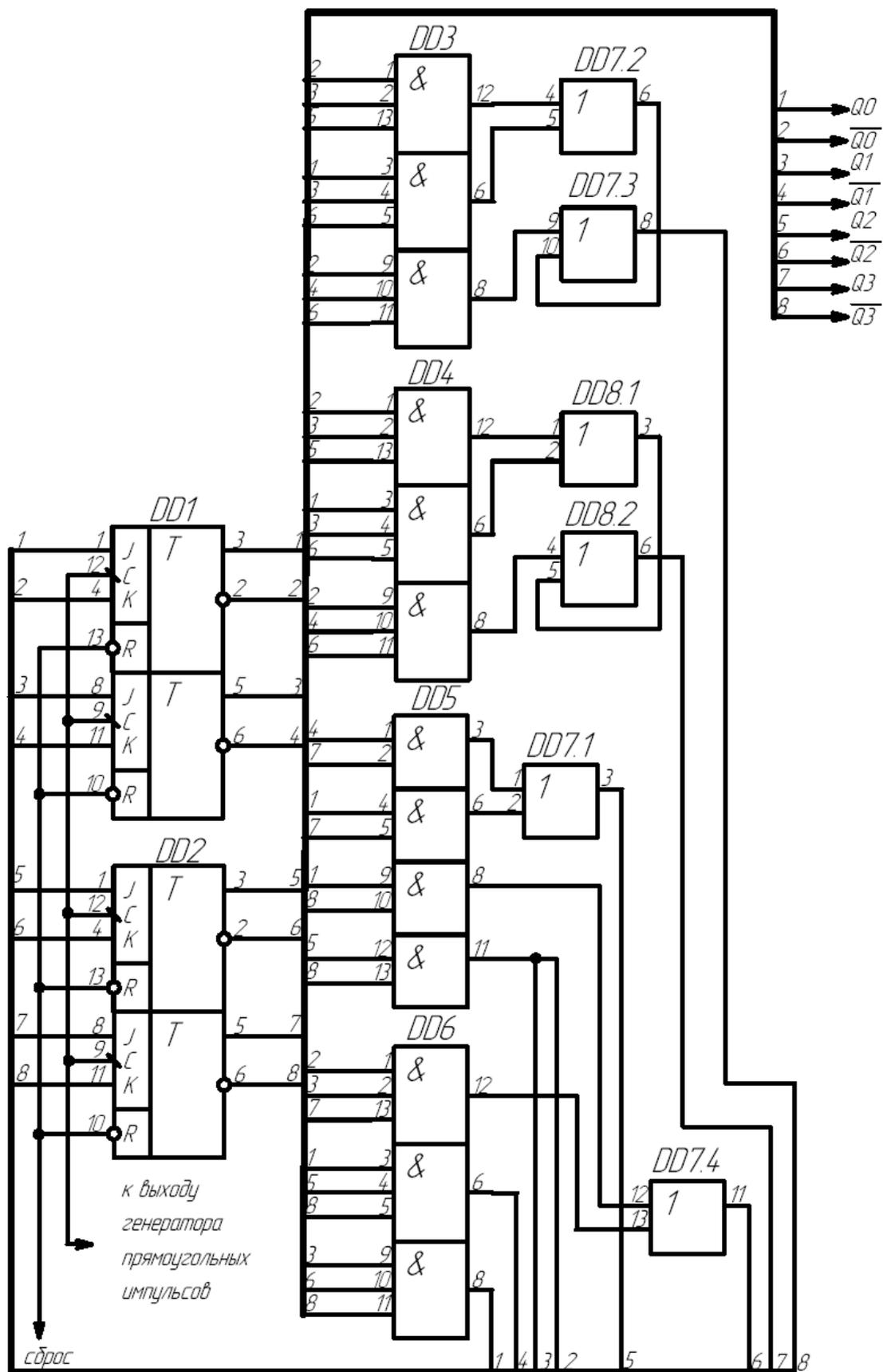


Рисунок 3.4 – Последовательная часть автомата световых эффектов.

3.2.2 Синтез комбинационной логической схемы

Комбинационная логическая схема автомата определяет множества выходных сигналов автомата и формирует сигналы для управления силовыми ключами. Входами комбинационной логической схемы будут выходные сигналы с триггеров последовательностной части, а выходами – выходные сигналы автомата.

В таблице 3.11 приведена таблица выходов цифрового автомата. Граф-схема комбинационной части автомата приведена на рисунке 3.5. Блок-схема работы цифрового автомата приведена на рисунке 3.6.

Таблица 3.11 – Таблица переходов и выходов цифрового автомата

Наименование состояния входов	Входы				Выходы						Наименован ие состояния выходов
	Q_0^t	Q_1^t	Q_2^t	Q_3^t	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	
A1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	B1
A2	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	B2
A3	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	B3
A4	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	B4
A5	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	B5
A6	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	B6
A7	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	B7
A8	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	B8
A9	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	B9
A10	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	B10
A11	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	B11
A12	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	B12

На основании таблицы 3.11 составили карты Карно для выходов цифрового автомата (рисунок 3.7).

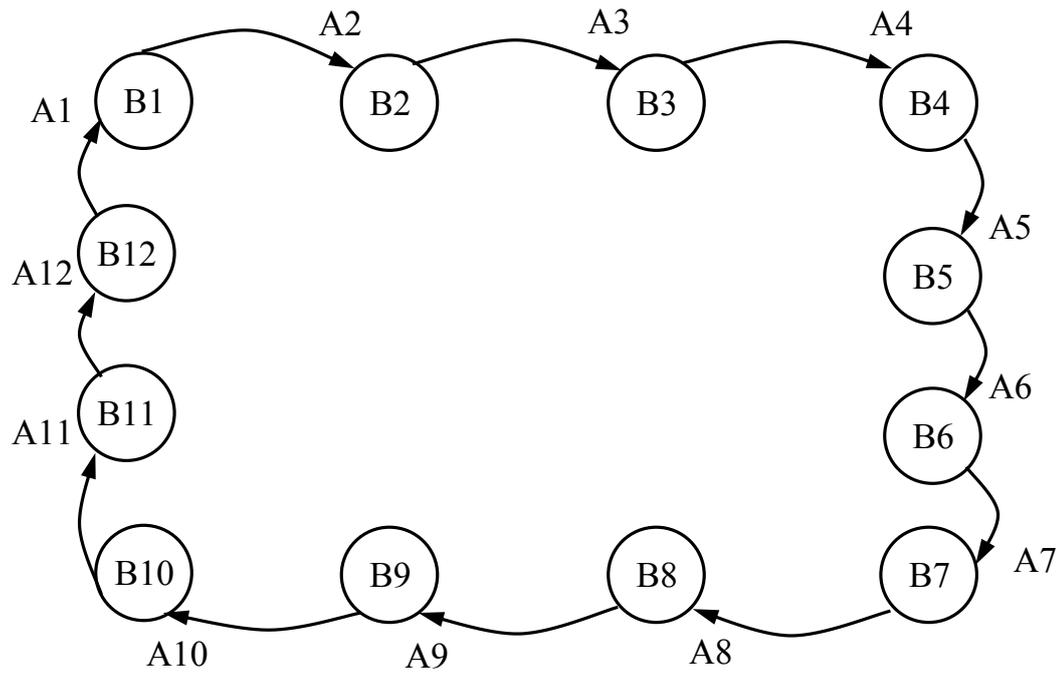


Рисунок 3.5 – Граф-схема комбинационной части автомата.

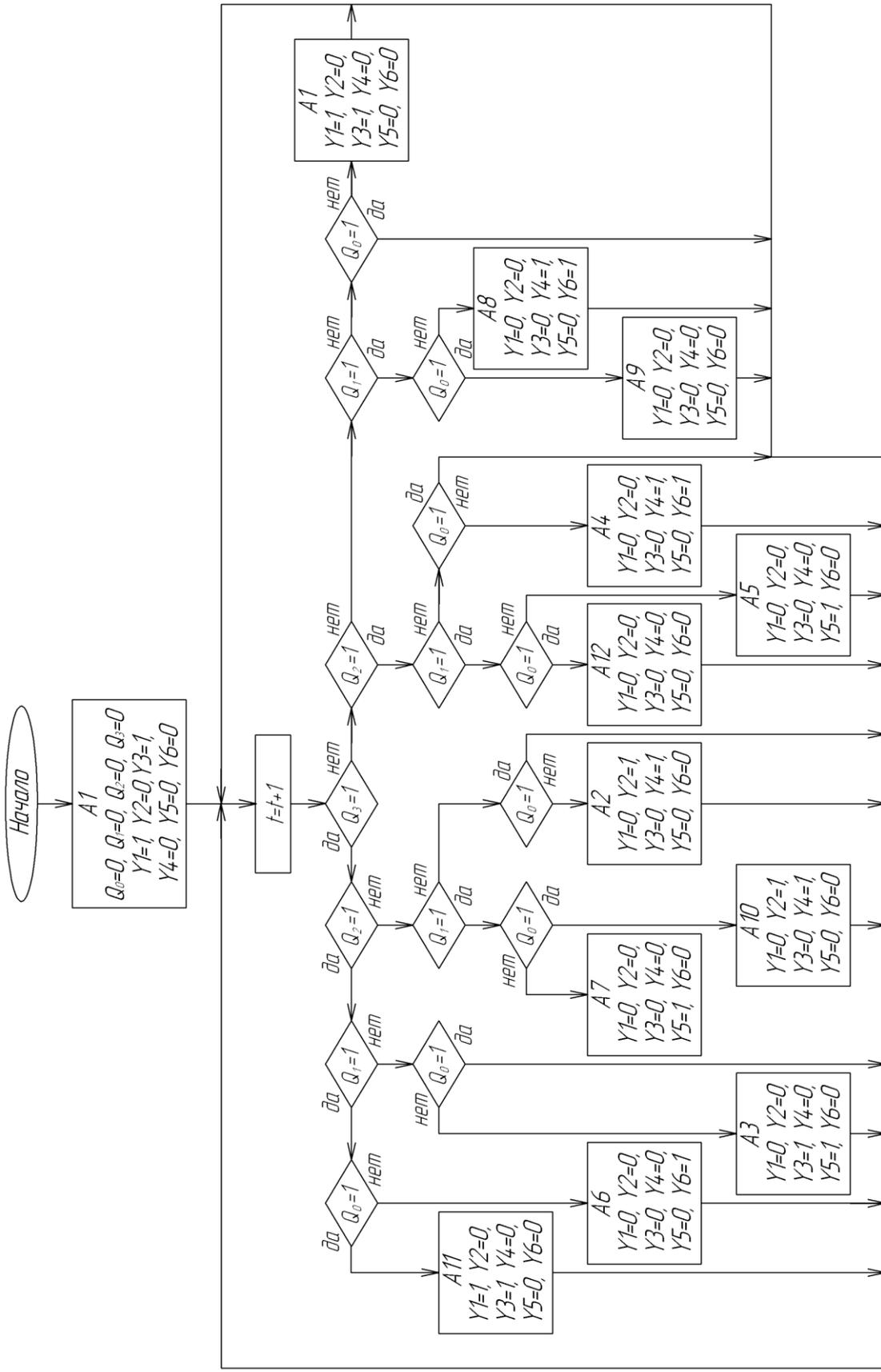


Рисунок 3.6 – Блок-схема функционирования цифрового автомата.

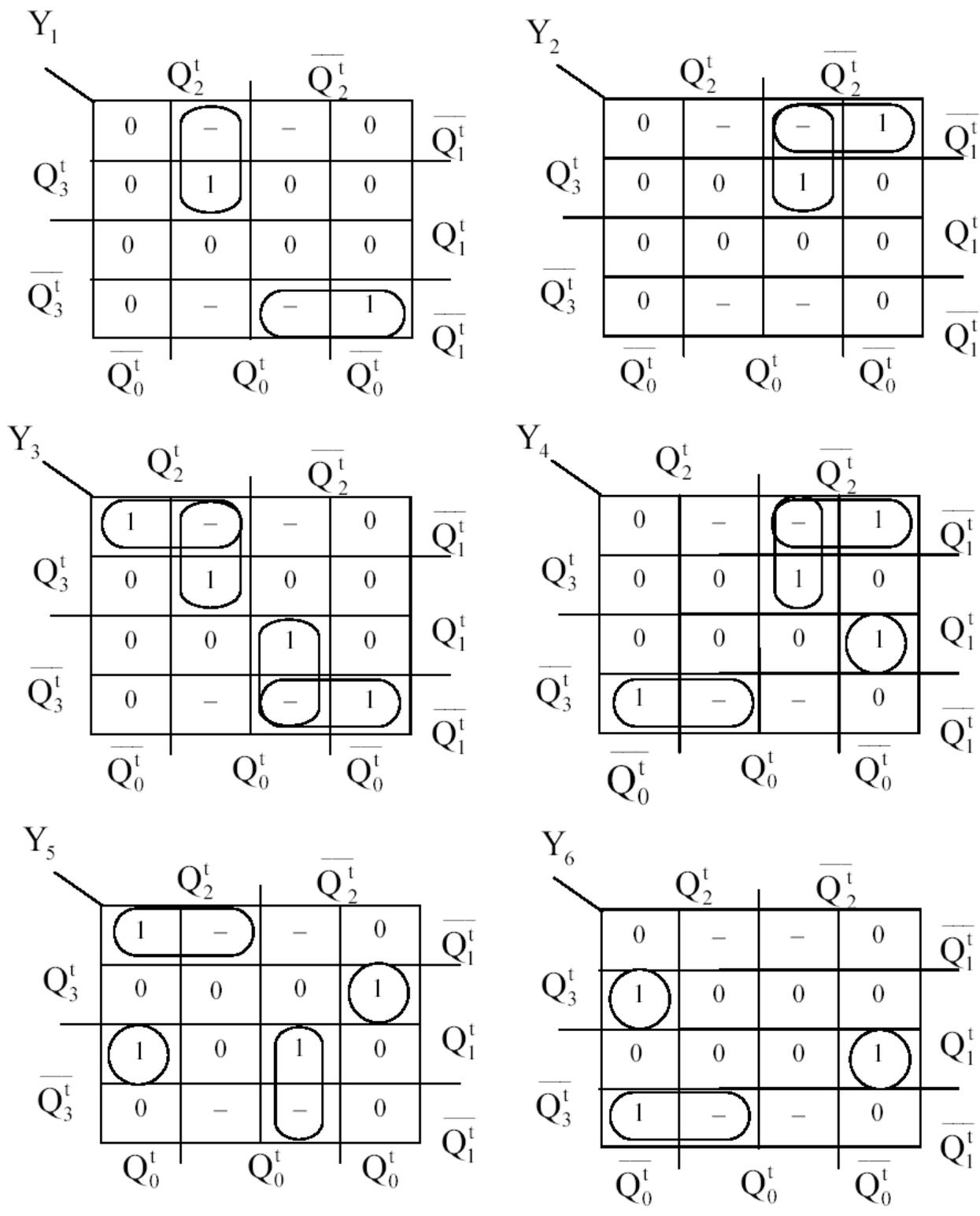


Рисунок 3.7 - Карты Карно для выходов цифрового автомата.

На основе карт Карно можно записать уравнения выходных сигналов:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= Q_1' Q_2' Q_3' + Q_0' Q_2' Q_3' + \overline{Q_1' Q_2' Q_3'}, \\
 Y_2 &= Q_0' Q_2' Q_3' + \overline{Q_1' Q_2' Q_3'}, \\
 Y_3 &= Q_0' Q_2' Q_3' + \overline{Q_1' Q_2' Q_3'} + \overline{Q_1' Q_2' Q_3'} + \overline{Q_0' Q_2' Q_3'}, \\
 Y_4 &= \overline{Q_1' Q_2' Q_3'} + Q_0' Q_2' Q_3' + \overline{Q_1' Q_2' Q_3'} + \overline{Q_0' Q_1' Q_2' Q_3'}, \\
 Y_5 &= \overline{Q_1' Q_2' Q_3'} + Q_0' Q_2' Q_3' + Q_0' Q_1' Q_2' Q_3' + Q_0' Q_1' Q_2' Q_3', \\
 Y_6 &= \overline{Q_1' Q_2' Q_3'} + \overline{Q_0' Q_1' Q_2' Q_3'} + \overline{Q_0' Q_1' Q_2' Q_3'}.
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= Q_1' Q_2' Q_3' + X1 + X2, \\
 Y_2 &= Q_0' Q_2' Q_3' + \overline{Q_1' Q_2' Q_3'}, \\
 Y_3 &= X1 + X2 + X3 + X4, \\
 Y_4 &= X5 + Y2 + X6, \\
 Y_5 &= X3 + X4 + Q_0' Q_1' Q_2' Q_3' + Q_0' Q_1' Q_2' Q_3', \\
 Y_6 &= X5 + X6 + \overline{Q_0' Q_1' Q_2' Q_3'} \\
 X1 &= Q_0' Q_2' Q_3' \\
 X2 &= \overline{Q_1' Q_2' Q_3'} \\
 X3 &= \overline{Q_1' Q_2' Q_3'} \\
 X4 &= Q_0' Q_2' Q_3' \\
 X5 &= \overline{Q_1' Q_2' Q_3'} \\
 X6 &= \overline{Q_0' Q_1' Q_2' Q_3'}.
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

В соответствии с полученными уравнениями составили комбинационную логическую схему (рисунок 3.8).

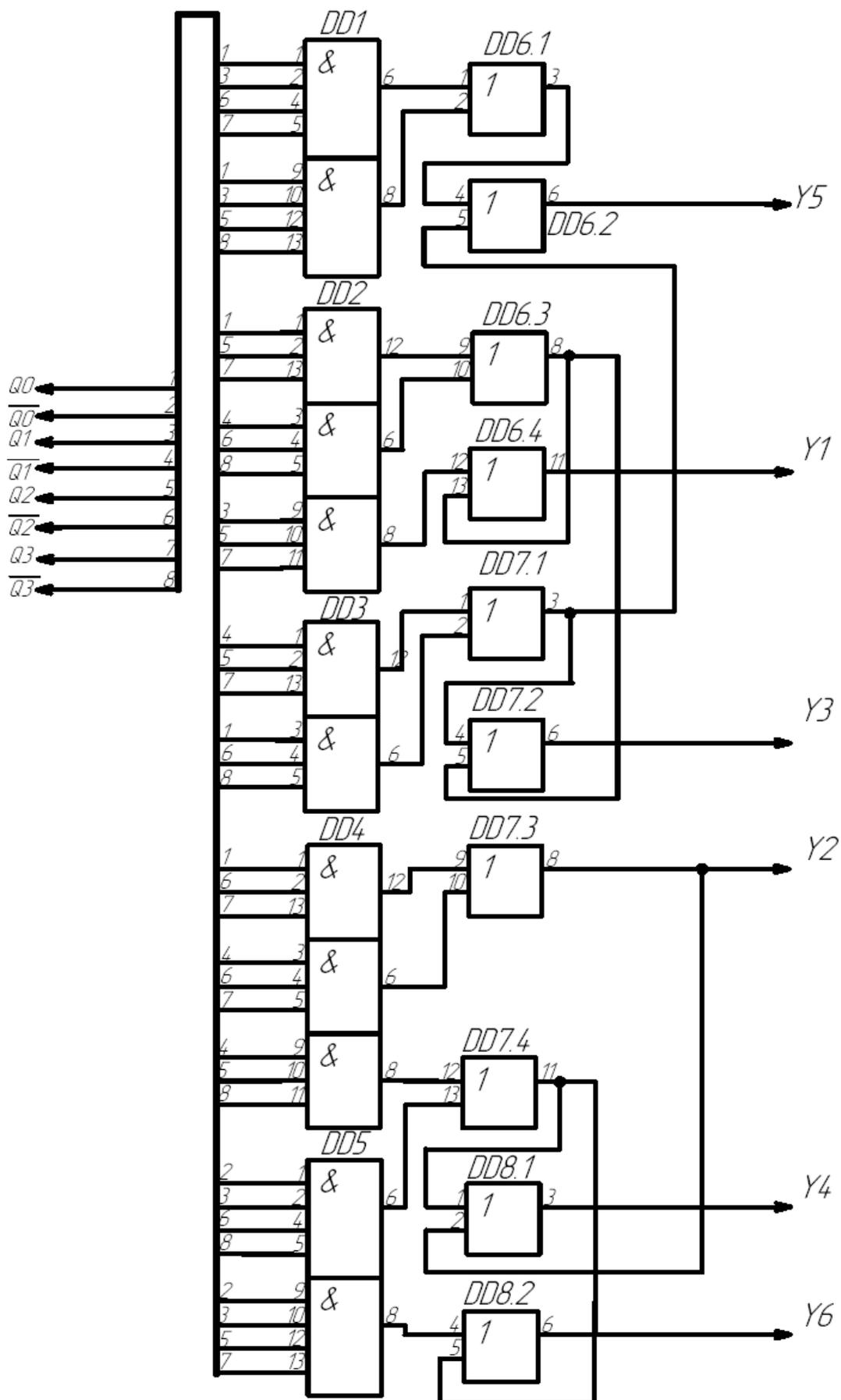


Рисунок 3.8 – Комбинационная логическая схема.

3.3 Выбор элементов схемы

Для построения логической части цифрового автомата, включающей в себя последовательностную и комбинационную части, необходимо использовать различные логические элементы. Для построения последовательностной части цифрового автомата (рисунок 3.4) были использованы:

- 4 JK-триггера;
- 9 элементов «3И»;
- 4 элемента «2И»;
- 6 элементов «2ИЛИ».

Для построения комбинационной части цифрового автомата (рисунок 3.8) были использованы:

- 4 элемента «4И»;
- 8 элементов «3И»;
- 10 элементов «2ИЛИ».

В качестве элементной базы для построения цифрового автомата выбрали отечественную серию микросхем КР1533, как наиболее распространенную. К достоинствам серии можно отнести высокое быстродействие [9]. Перечень выбранных микросхем и характеристики выбранной серии приведены в таблицах 3.12 и 3.13 соответственно.

Таблица 3.12 – Перечень выбранных микросхем

Тип микросхемы	Функциональное назначение
КР1533ТВ6	2 JK-триггера со сбросом
КР1533ЛИ3	3 элемента «3И»
КР1533ЛИ6	2 элемента «4И»
КР1533ЛИ1	4 элемента «2И»
КР1533ЛЛ1	4 элемента «2ИЛИ»

Таблица 3.13 – Основные характеристики микросхем серии КР1533

Параметр	Значение	
	не менее	не более
Напряжение питания, В	4,5	5,5
Входное напряжение, В		
высокого уровня	2,0	5,5
низкого уровня	0	0,8
Выходной ток, мА		
низкого уровня	-	8
высокого уровня	-	0,4
Время фронта нарастания и спада сигнала, мкс	-	1,0
Входной ток, мА	-	0,1
Выходное напряжение, В		
высокого уровня	2,4	-
низкого уровня	-	0,4
Диапазон рабочих температур, °С	-10	70

Микросхема КР1533ТВ6 представляет собой 2 независимых тактируемых JK-триггера со сбросом. Считывание информации со входов J и K происходит во время положительного перепада на входе С, а на выходы она передается во время отрицательного перепада. Для установки триггеров в начальное состояние при включении питания необходимо подать на R-вход микросхемы (вход сброса) уровень логической «1». Реализуем эту функцию на RC-цепочке. Зададимся постоянной времени $\tau = RC = 0,1$ с, достаточной для установки триггеров в начальное состояние. Это время должно быть меньше времени одного такта генератора тактовых импульсов 1 с.

Примем номинальное сопротивление резистора R равным 100 кОм. Тогда номинальная емкость конденсатора С 1 мкФ.

Мощность резистора определится:

$$P_R = I^2 R = (0,1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 100 \cdot 10^3 = 0,01 \text{ Вт.} \quad (3.14)$$

По справочнику [10] выбрали резистор:

R: МЛТ-0,125-100 кОм±5%.

По справочнику [11] выбрали конденсатор:

С: К10-17Б 1мкФ У5V.

3.4 Разработка генератора тактовых импульсов

3.4.1 Мультивибратор с кварцевой стабилизацией частоты

В качестве генератора тактовых импульсов используем схему на логических элементах и кварцевом резонаторе (рисунок 3.9) [7]. При этом частота выходных импульсов будет определяться частотой параллельного резонанса кварцевого резонатора, то есть его номинальной частотой.

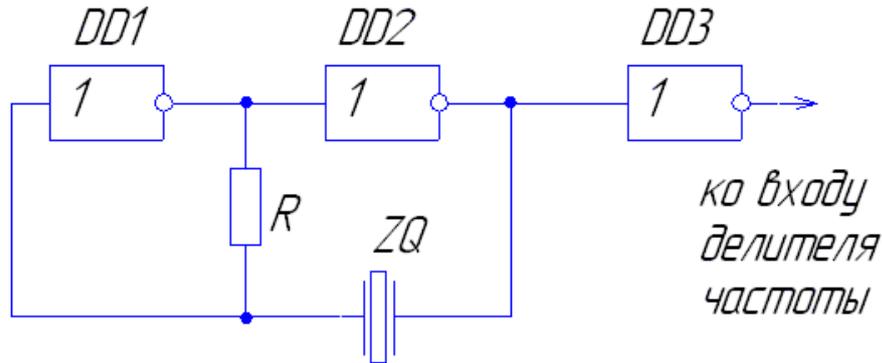


Рисунок 3.9 - Мультивибратор с кварцевой стабилизацией частоты.

Для тактирования триггеров цифрового автомата необходимо использовать генератор тактовых импульсов с частотой $f = 1\text{Гц}$. Кварцевые резонаторы выпускаются на номинальные частоты от 10 кГц и выше, что значительно превышает заданную частоту. Поэтому выберем кварцевый резонатор на большую частоту, а затем сигнал с выхода подадим на делитель. Выбрали кварцевый резонатор РК206-N с номинальной частотой 32768 Гц [2]. Основные параметры резонатора приведены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Основные параметры кварцевого резонатора РК206-N

Параметр	Значение
Частота, Гц	32768
Добротность, минимальная	50 000
Нагрузочная емкость, пФ	10
Динамическое сопротивление, кОм	20

Минимально допустимое сопротивление резистора R найдем, исходя из условия максимального допустимого тока для инверторов серии КР1533 по формуле:

$$R = \frac{U_{ex.1}}{I_{вых.мах}^1} = \frac{2,4}{0,4 \cdot 10^{-3}} = 6 \text{ кОм.} \quad (3.15)$$

Мощность резистора определится:

$$P_R = U_{ex.1} \cdot I_{вых.мах}^1 = 2,4 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} = 0,96 \cdot 10^{-3} \text{ Вт.} \quad (3.16)$$

По справочнику [10] выбрали резистор МЛТ-0,125-10 кОм±5%.

3.4.2 Схема деления частоты

Так как частота тактового генератора $f_g = 32768 \text{ Гц}$, а требуемая частота генератора тактовых импульсов $f = 1 \text{ Гц}$, необходимо применить делитель частоты с коэффициентом деления:

$$d = \frac{32768}{1} = 2^{15}, \quad (3.17)$$

Для реализации такого коэффициента деления можно применить каскадное включение четырех 4-разрядных двоичных счетчиков (рисунок 3.10). Каждый счетчик позволяет осуществить деление частоты в 2, 4, 8 и 16 раз, то есть в $2^1, 2^2, 2^3, 2^4$ раз. Сигнал генератора с частотой 32768 Гц поступает на вход первого счетчика, с выхода Q4 первого счетчика сигнал с частотой $\frac{32768}{2^4} = 2048 = 2^{11}$ Гц поступает на вход второго счетчика. С выхода Q4 второго счетчика сигнал с частотой $\frac{2048}{2^4} = 128 = 2^7$ поступает на вход третьего счетчика, а с выхода Q4 третьего счетчика сигнал с частотой $\frac{128}{2^4} = 8 = 2^3$ Гц идет на вход четвертого счетчика. Сигнал с выхода Q3 четвертого счетчика будет иметь требуемую частоту генератора тактовых импульсов $\frac{8}{2^3} = 1 = 2^0$ Гц.

В качестве двоичного счетчика выбрали микросхему КР1533ИЕ5 [9].

к выходу
мультивибратора

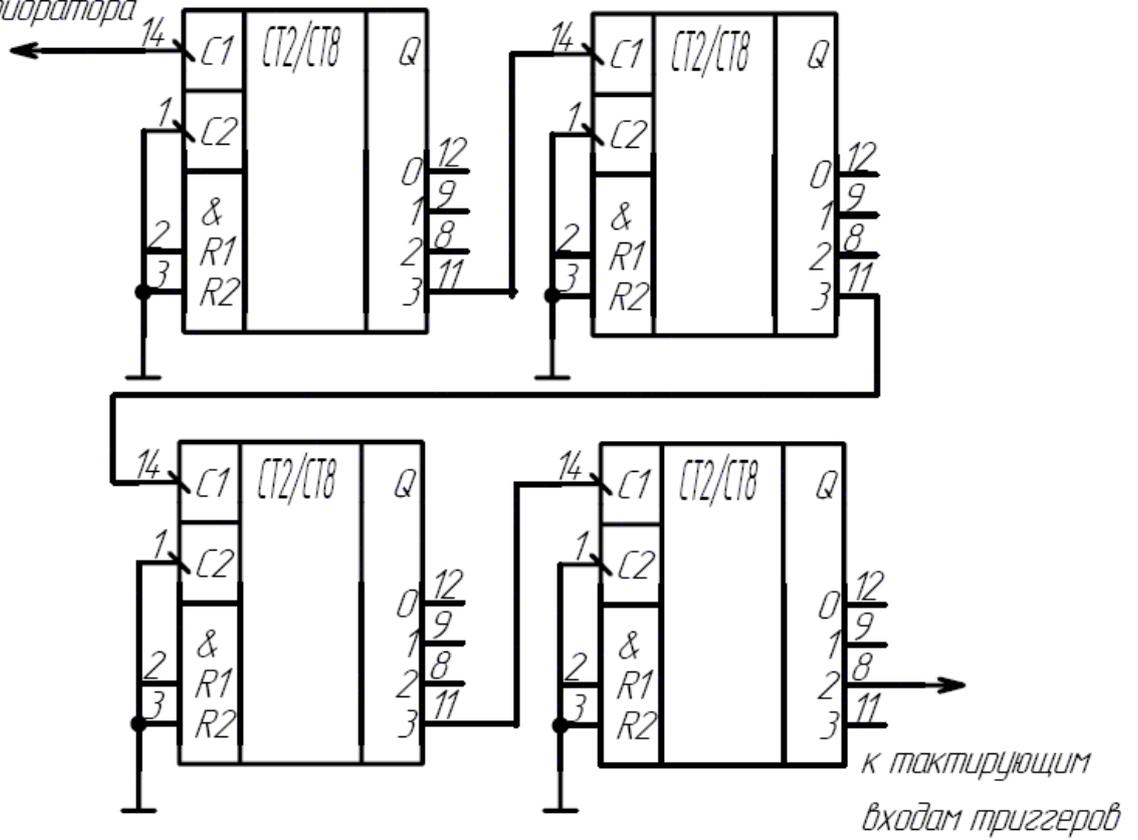


Рисунок 3.10 – Схема деления частоты.

3.5 Разработка силовой части

3.5.1 Требования, предъявляемые к силовой части

В силовой части необходимо обеспечить коммутацию сетевого напряжения $U_H = 220 \text{ В}$, $I_H = 50 \text{ А}$ с гальванической развязкой силовых цепей от управляющих цепей цифрового автомата. Гальваническая развязка необходима для защиты цепей цифрового автомата и предполагает отсутствие электрического соединения между входными и выходными цепями.

В нашем случае необходимо обеспечить коммутацию нагрузки (ламп накаливания) с достаточно низкой частотой $f = 1 \text{ Гц}$. Для выполнения поставленной задачи возможно применение мощных полевых или IGBT транзисторов, тиристоров или реле.

3.5.2 Обзор возможных схемотехнических решений

Структурная схема коммутации силовой части с применением IGBT транзисторов приведена на рисунке 3.11.

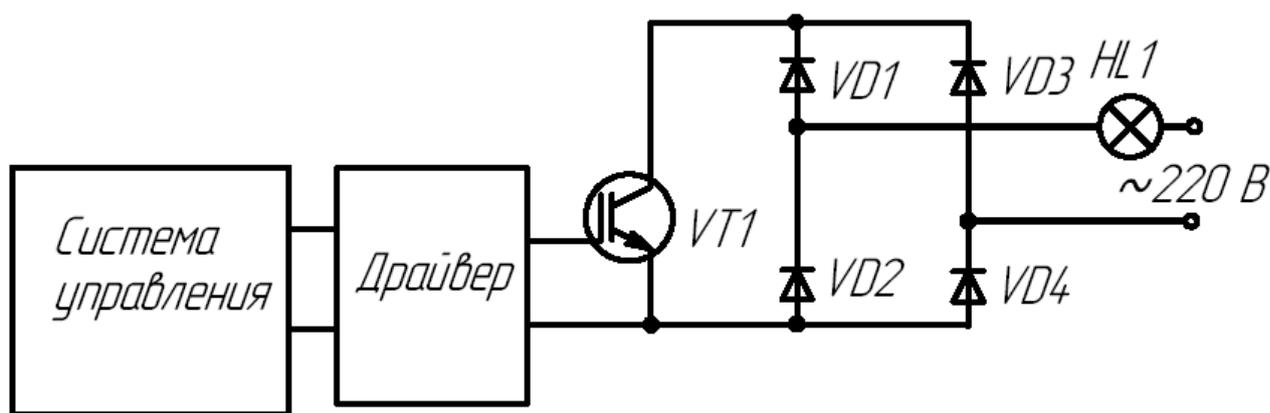


Рисунок 3.11 – Схема коммутации с использованием IGBT – транзисторов.

Особенностями работы такой схемы являются:

- необходимость использования специализированных схем управления – драйверов, формирующих управляющий сигнал и обеспечивающих

гальваническую развязку между информационной и силовой частями. Драйвер должен иметь возможность работы с медленно изменяющимся сигналом ($f=1$ Гц).

- избыточное для решаемой задачи быстродействие IGBT – транзисторов. Эти приборы имеют время включения 0,1 – 0,7 мкс, поэтому использование их для работы с частотой коммутации $f = 1$ Гц нецелесообразно.
- для коммутации переменного напряжения чаще всего применяется выпрямительный мост, что приводит к удорожанию устройства и уменьшению КПД.
- недостатком схемы является высокая стоимость IGBT – транзисторов и драйверов. Например, для указанных напряжений и токов можно выбрать IGBT – транзистор фирмы AIRCHILD HG TG30N60B3, номинальный ток 60А, напряжение 600 В. Стоимость одного прибора 370 руб. [13]. Стоимость драйвера для такого транзистора колеблется в пределах 3000 руб. [13].

Использование тиристорного прерывателя на встречно включенных оптотиристорах.

Схема коммутации приведена на рисунке 3.12. По сравнению со схемой на IGBT – транзисторах такой вариант коммутации предполагает более простое управление. Однако применение этой схемы требует разработки отдельной системы управления тиристорами. Стоимость двухканального тиристорного модуля, например, МДТКИ2-50-6 на номинальный ток 50 А и напряжение 600 В составляет порядка 1000 руб. [13].

Использование твердотельного реле.

Основные преимущества использования твердотельных реле перед вышеуказанными способами – встроенная гальваническая развязка входа и выхода, высокая чувствительность, малые размеры, отсутствие дребезга

контактов, большой срок службы, нечувствительность к внешним полям, ударам и вибрациям.

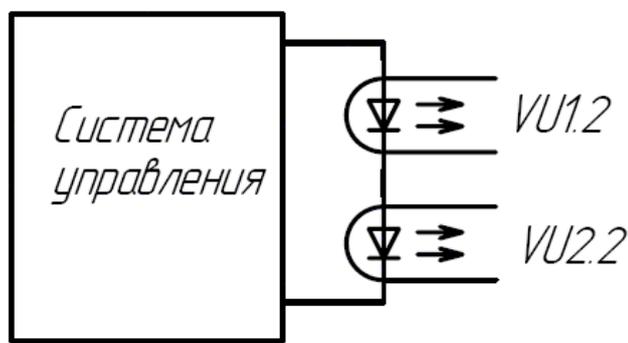
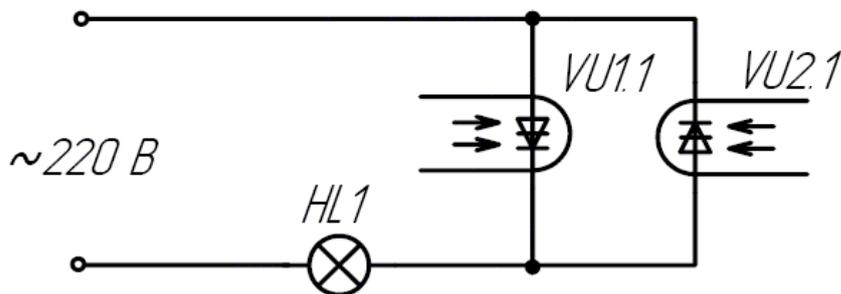


Рисунок 3.12 – Схема коммутации с использованием тиристорного прерывателя.

3.5.3 Проектирование силовой части

Проанализировав возможные варианты схемотехнических решений, выбрали вариант с использованием твердотельного реле (рисунок 3.13). Фирма CRYDOM предлагает твердотельные реле, используемые для коммутации моторов, трансформаторов, нагревательных элементов [13]. Преимуществами такого схемного решения является отсутствие сложной специализированной системы управления и удобство монтажа. По данным технического задания $U_H = 220 \text{ В}$, $I_H = 50 \text{ А}$ выбрали твердотельное реле D2490, параметры которого приведены в таблице 3.15.

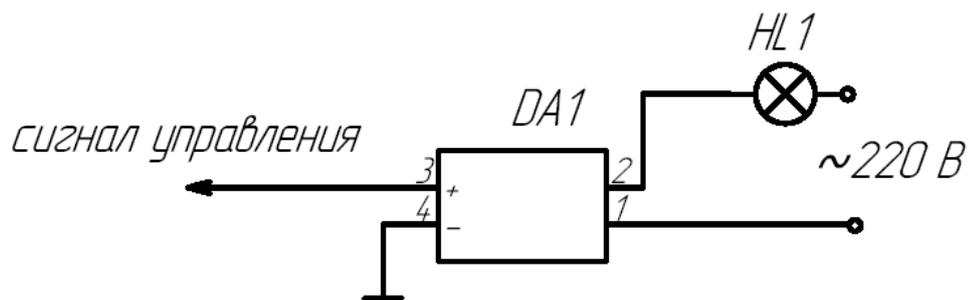


Рисунок 3.13 – Схема коммутации с использованием твердотельного реле.

Таблица 3.15 – Параметры твердотельного реле D2490 фирмы CRYDOM

Параметр	Значение
Управляющее напряжение, В (постоянное)	3-32
Падение напряжения на замкнутом ключе, В	1,5
Управляющий ток при 5 В постоянного напряжения, мА	$\geq 4,3$
Напряжение размыкания, В (постоянное)	1
Коммутируемое напряжение, В (переменное)	24-280
Максимальный ток нагрузки, А	90
Предельный ток за 1 цикл, А	625
Максимальное время включения, мс	10
Максимальное время выключения, мс	10
Рабочая температура, °С	-40...80

Для коммутации силовой цепи на управляющие контакты реле достаточно подать напряжение 3 В и ток не менее 4,3 мА. Следовательно, для управления каналами коммутации на каждом из них следует установить реле, которое будет управляться выходным током микросхем серии КР1533. Так как выходной ток высокого уровня микросхем серии КР1533 очень мал (0,4 мА), а низкого уровня составляет 8 мА (см. таблицу 3.13), то управление каналом лучше производить сигналом низкого уровня (инвертированным на DD1 типа КР1533ЛН1) (рисунок 3.14). Для надежности управления, а также для последующей организации индикации усилим этот сигнал на транзисторе VT1.

Изображенное включение транзистора позволило повторно инвертировать сигнал управления. Сам транзистор и резисторы R1, R2 будут выбраны в п.3.6.

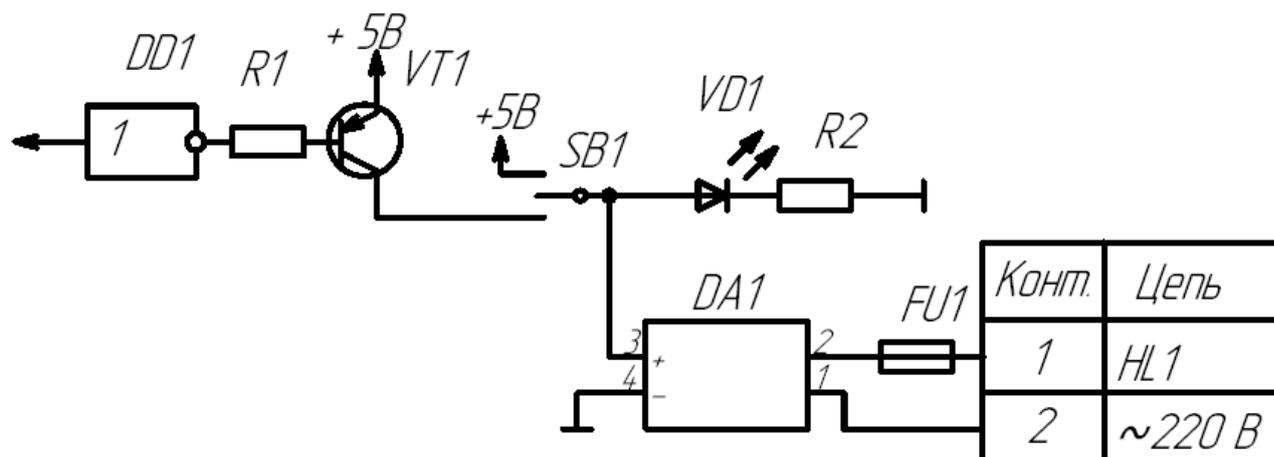


Рисунок 3.14 – Схема включения электронного реле и индикации.

Для защиты цепи от короткого замыкания в нагрузке используем предохранитель FU1 типа AUG 60A (AUE), рассчитанный на рабочий ток 60 А, и переменное напряжение 250 В [13].

Для управления режимом работы введем трехпозиционный тумблер SB1 типа SS-309-3W [13]. В верхнем положении на реле всегда будет подано +5В и его контакты будут замкнуты (нагрузка подключена к сети 220В). В среднем положении реле всегда будет разомкнуто. В нижнем положении (основной рабочий режим) контакты реле будут управляться в соответствии с заданным алгоритмом.

Выберем охладители для электронных реле.

Мощность, которую необходимо отвести от каждого реле, составит:

$$P = U_{npVD} \cdot I = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ Вт} . \quad (3.18)$$

Для отвода этой мощности необходимо использование радиаторов. Выбрали радиатор О-242 [14], рассчитанный на отвод 150 Вт при естественном воздушном охлаждении. Будем использовать 3 таких радиатора, устанавливая по 2 реле на каждый, как это показано на рисунке 3.15.

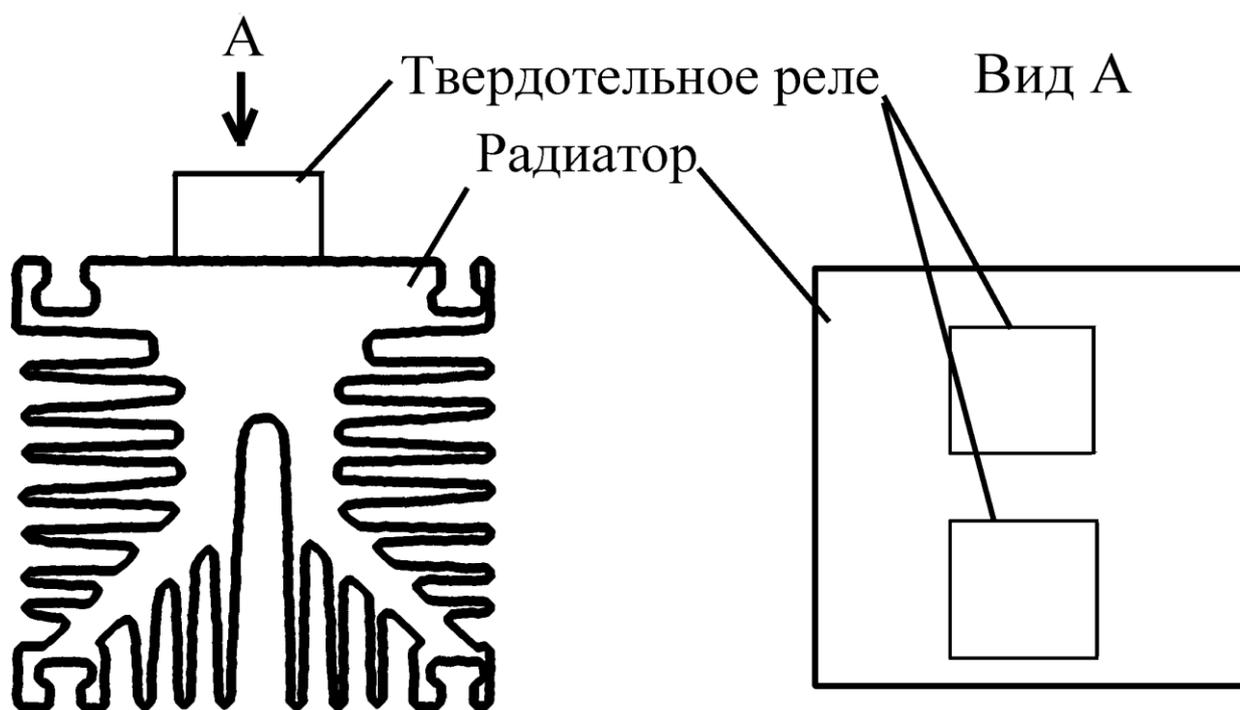


Рисунок 3.15 - Расположение модулей реле D2490 на радиаторе О-242.

Для передачи сигнала управления на электронные реле воспользуемся штыревым и гнездовым разъемами типов WF-7 и NU-7 соответственно [13].

Для подключения гирлянд к аппарату необходимы соединительные разъемы, рассчитанные на токи 50 А и напряжение 220 В. По справочнику [15] выбрали отечественный разъем типа ШР28ПК2НШ7. Его тип расшифровывается как:

- ШР – разъем круглый негерметичный,
- 28 – посадочный диаметр, мм,
- ПК – прямой корпус,
- 2 – количество контактов,
- Н – неэкранированный,
- Ш – штыревой,
- 7 – число, обозначающее типоразмер штыревых выводов.

Выбранный разъем рассчитан на ток 50 А (суммарный ток 100 А) и напряжение 850 В. Для подключения световой гирлянды к ее концу припаивается гнездовой разъем типа ШР28ПК2НГ7.

3.6 Разработка системы индикации

Для удобства использования устройства применили систему индикации, которая представляет собой набор светодиодных индикаторов. В том случае, когда выход цифрового автомата Y1..Y6 принимает значение лог. «1», загорается соответствующий светодиодный индикатор. Так как выходные токи микросхем серии КР1533 (ТТЛШ) малы, для их усиления применили транзисторный ключ на биполярном транзисторе (см. рисунок 3.14). Выбрали светоизлучающие диоды АЛ307Г с параметрами, приведенными в таблице 3.16 [13].

Таблица 3.16 – Параметры светоизлучающих диодов АЛ307Г

Параметр	Значение
Сила света I, мкКд	1500
Прямое падение напряжения на диоде $U_{прVD}$, В	2,8
Номинальный прямой ток $I_{прVD}$, мА	20
Максимально допустимый прямой ток, мА	22

Выбрали транзистор КТ3107Б с параметрами, приведенными в таблице 3.17 [13].

Таблица 3.17 – Параметры транзистора КТ3107Б

Наименование параметра	Значение параметра
Тип проводимости	p-n-p
Максимальная мощность коллектора $P_{K\max}$, мВт	150
Максимальный ток коллектора $I_{K\max}$, мА	100
Максимальное напряжение $U_{KЭ\max}$, В	50
Коэффициент усиления β	120

Для обеспечения необходимого тока в цепи светодиода рассчитали сопротивления R2:

$$R2 = \frac{U_{\text{пит}} - U_{\text{npVD}}}{I_{\text{npVD}}} = \frac{5 - 2,8}{0,02} = 110 \text{ Ом.} \quad (3.19)$$

Мощность резистора:

$$P_{R2} = I_{\text{npVD}}^2 R2 = (0,02)^2 110 = 0,044 \text{ Вт.} \quad (3.20)$$

Для обеспечения работы транзистора в режиме насыщения его базовый ток определится: $I_B = (I_{\text{npVD}} + I_y) / \beta = (0,02 + 0,0043) / 120 = 0,2 \text{ мА}$, где $I_y = 4,3 \text{ мА}$ – ток управления реле DA1.

Рассчитаем балластный резистор в цепи базы R1:

$$R1 = \frac{U_{\text{пит}}}{I_B} = \frac{5}{0,0002} = 25 \text{ кОм.} \quad (3.21)$$

Для надежного насыщения транзистора выбрали резистор $R1 = 15 \text{ кОм}$.

Мощность резистора R1:

$$P_{R1} = \frac{U_{\text{пит}}^2}{R1} = \frac{5^2}{15000} = 1,78 \text{ мВт.} \quad (3.22)$$

Выбрали резисторы [10]:

R2: МЛТ-0,125-120 Ом \pm 5 %.

R1: МЛТ-0,125-15 кОм \pm 5 %.

3.7 Разработка блока питания

Для питания логических микросхем и управления силовыми реле необходим источник питания +5В. Для его выбора сведем в таблицу 3.18 элементы, потребляющие электрический ток. Токами, потребляемыми другими элементами (резисторами R1-R8) пренебрегли в связи с их малой величиной.

Таблица 3.18 – Токи, потребляемые элементами схемы.

Элемент	Кол-во	Исс, мА	Потребляемый ток, мА
КР1533ЛН1	2	4	8
КР1533ТВ6	2	4,5	9
КР1533ИЕ5	4	13	52
КР1533ЛИЗ	6	3	18
КР1533ЛИ1	1	4	4
КР1533ЛЛ1	4	5	20
КР1533ЛИ6	2	2	4
АЛ307Г	6	20	120
D2490	6	4,3	26
Итого:			261

Таким образом, суммарный ток, потребляемый схемой от источника +5В, составит 261 мА. Выберем в качестве источника питания сеть 220В 50Гц. Наиболее подходящим для таких малых мощностей является применение маломощного АС/DC преобразователя. Исходя из необходимого тока и напряжения выберем АС/DC фирмы ИРБИС типа МС5А, имеющий параметры [16, 17]:

- входное напряжение, В: 160-260;
- максимальный выходной ток, А: 1;
- максимальная выходная мощность, Вт: 5.

Габаритные размеры АС/DC преобразователя приведены на рисунке 3.16, а построенный на его основе блок питания – на рисунке 3.17.

Для фильтрации питающего напряжения рекомендуется использовать электролитический конденсатор и неполярный. Дополнительно рекомендуется

использовать один неполярный конденсатор на каждые 3-4 логических микросхемы. Учитывая наличие в схеме 21 микросхемы, приняли решение использовать один полярный электролитический конденсатор [11]:

C2: K50-35 2200 мкФ х 16В,

и 7 неполярных конденсаторов:

C3-C9: K10-17Б 220 нФ Y5V.

Для подключения к сети 220 В используем клемник XS1 типа 300-021-12, предназначенный для подсоединения 2-х проводов и с расстоянием между впаиваемыми в плату ножками 10 мм [13].

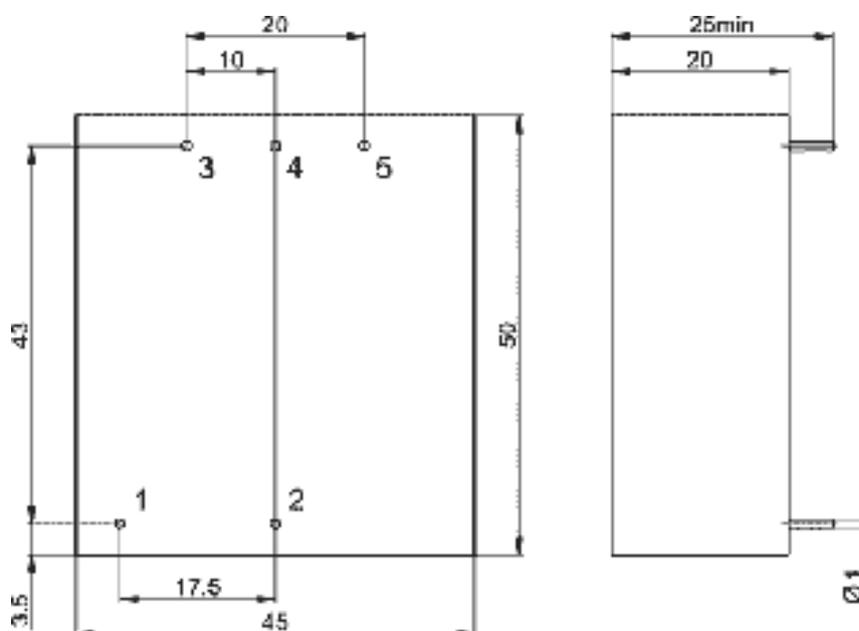


Рисунок 3.16 – Размеры AC/DC MC5A.

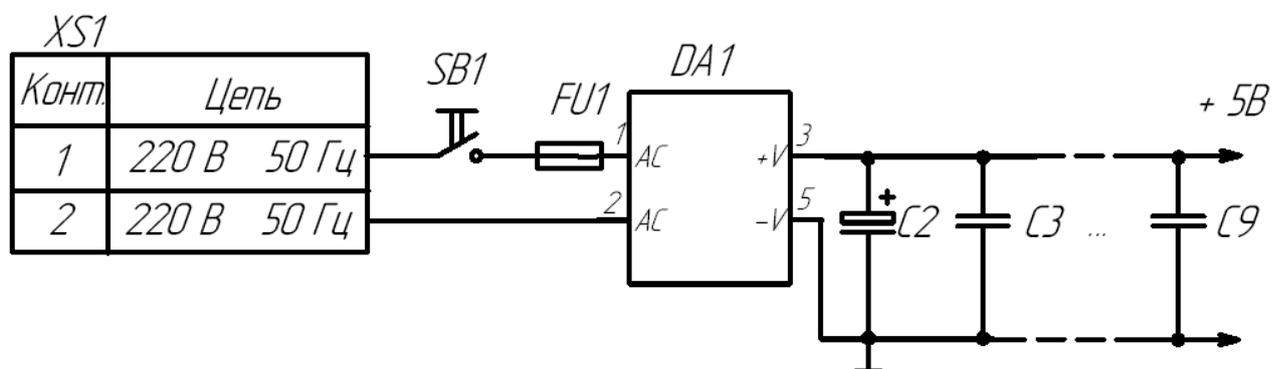


Рисунок 3.17 – Блок питания.

4 Разработка конструкции

Основным узлом конструкции автомата является печатная плата, разработке которой посвящена данная глава.

Печатная плата представляет собой плоское изоляционное основание, на обеих сторонах которого расположены токопроводящие полоски металла (дорожки) в соответствии с электрической схемой.

Процесс разработки печатной платы складывается из двух этапов, выполненных при помощи программы P-CAD и ее приложения Specstra:

1. Компоновка печатной платы, в процессе которой создают все элементы, задают соединения между ними и находят оптимальное размещение навесных элементов на печатной плате. Все элементы располагали в узлах координатной сетки с шагом 2,54 мм. Результат 1-го этапа изображен на рисунке 4.1.

2. Разводка печатной платы, осуществленная с помощью вышеуказанного программного пакета. Результат разводки изображен на рисунке 4.2. Далее формируются чертежи печатной платы с двух сторон: TOP (со стороны элементов) и BOTTOM (с обратной стороны), изображенные на рисунках 4.3. и 4.4 соответственно.

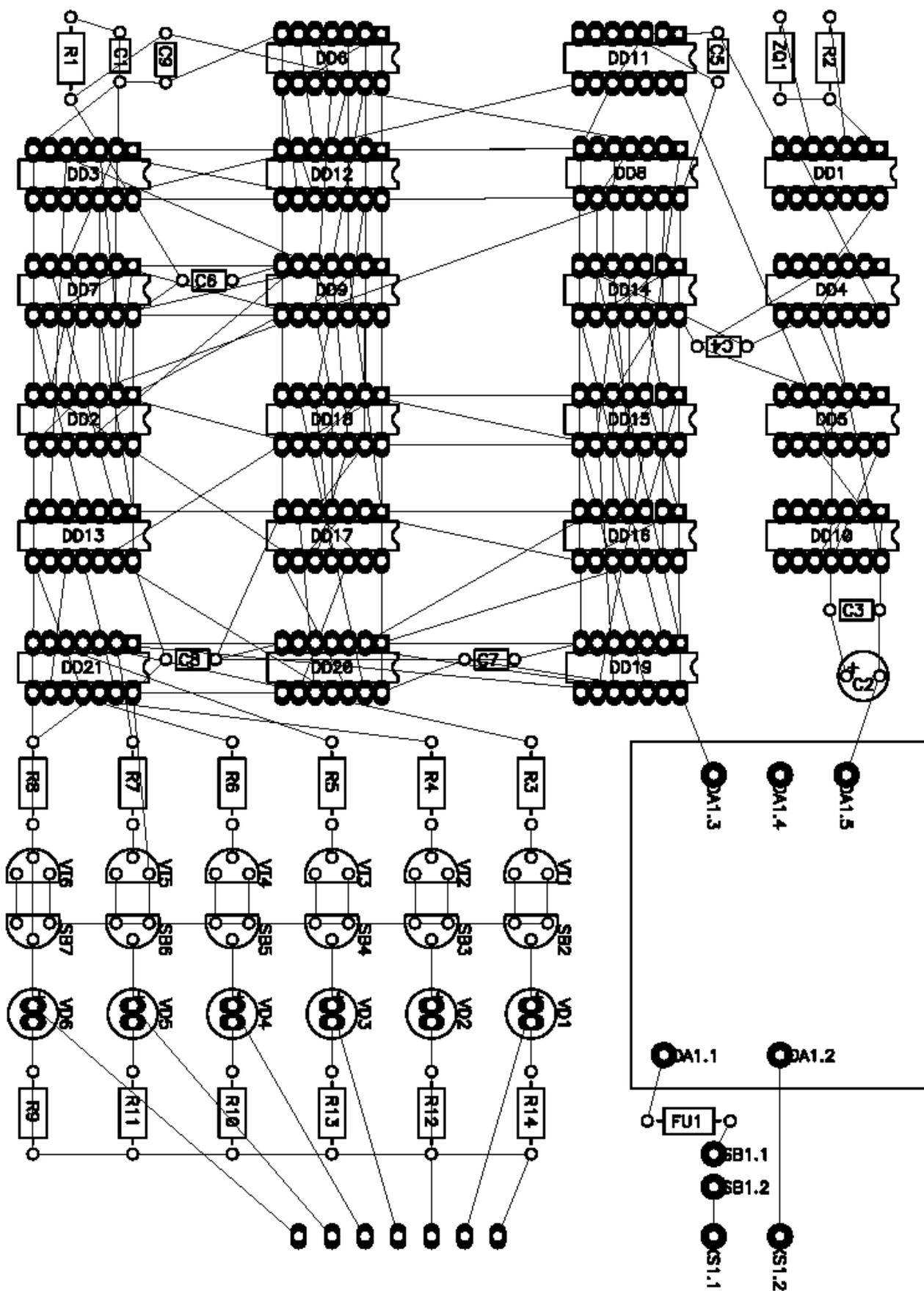


Рисунок 4.1. - Расстановка элементов и задание связей между ними.

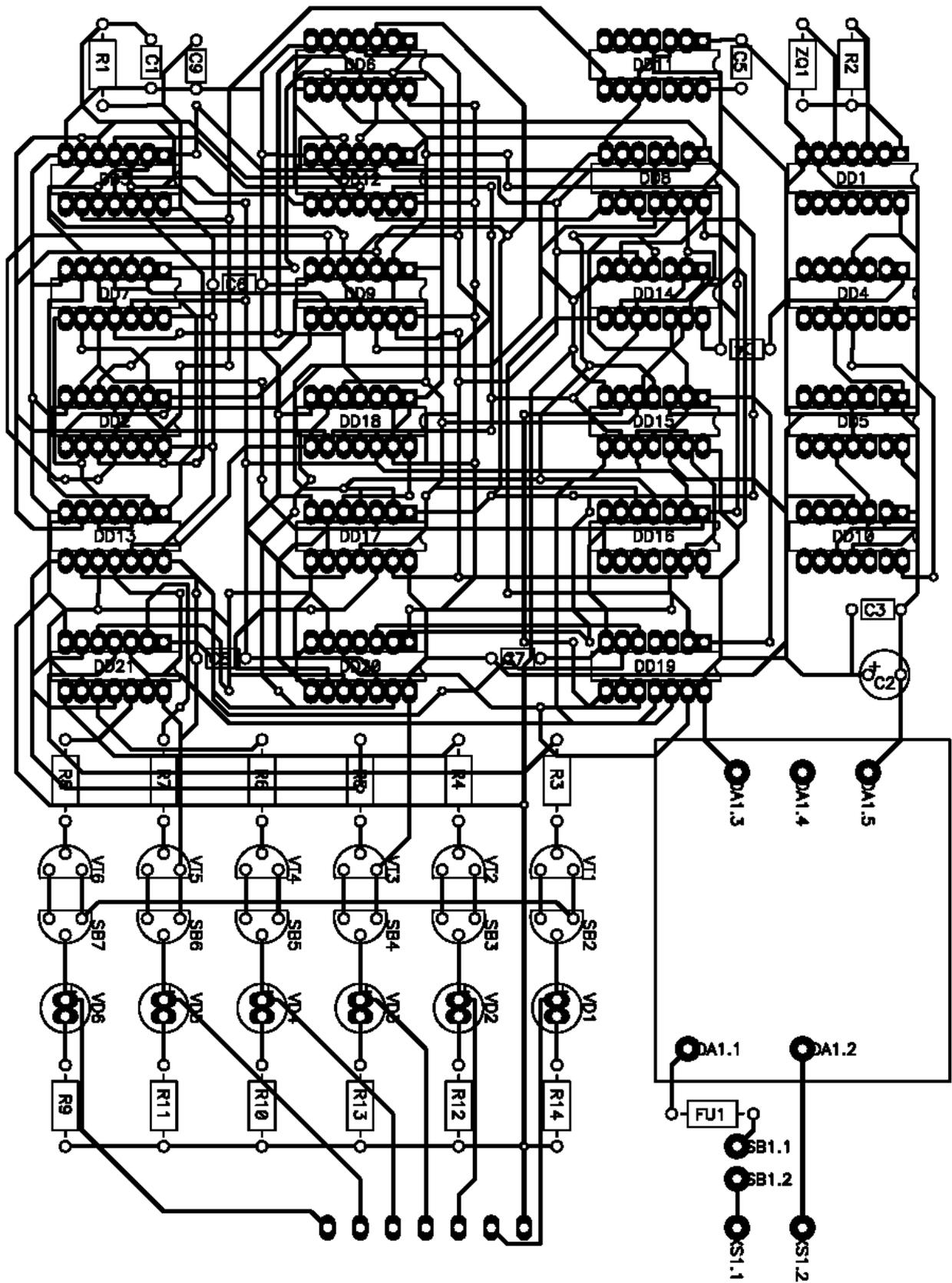
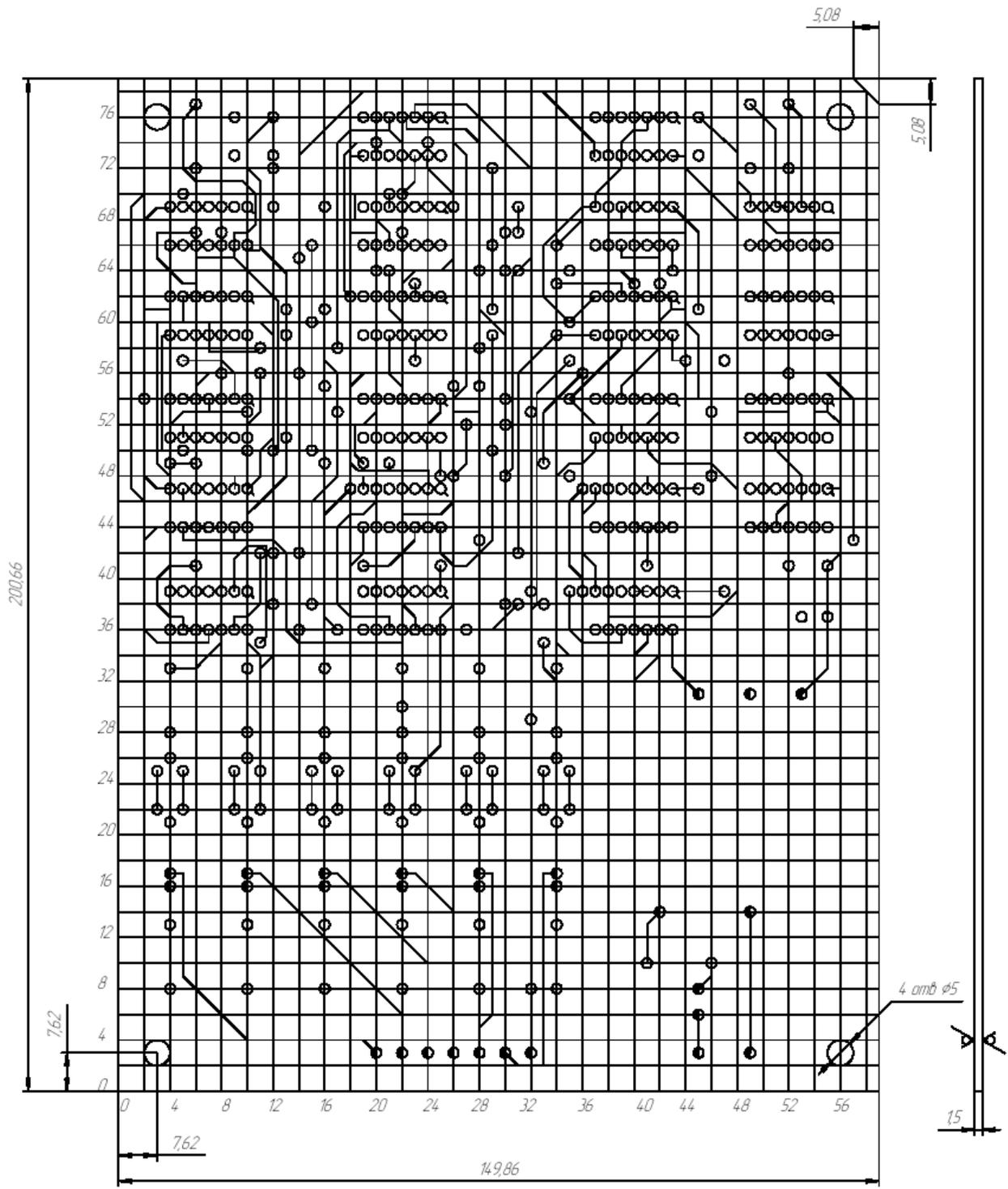


Рисунок 4.2 – Результат разводки печатной платы в программе Spectra.



Обозначение отв.	Диаметр отв., мм	Диаметр контактной площадки	Наличие металлизации	Кол. отв.
○	0,8	15	есть	484
●	13	2	есть	28

Рисунок 4.3. – Сторона TOP печатной платы.

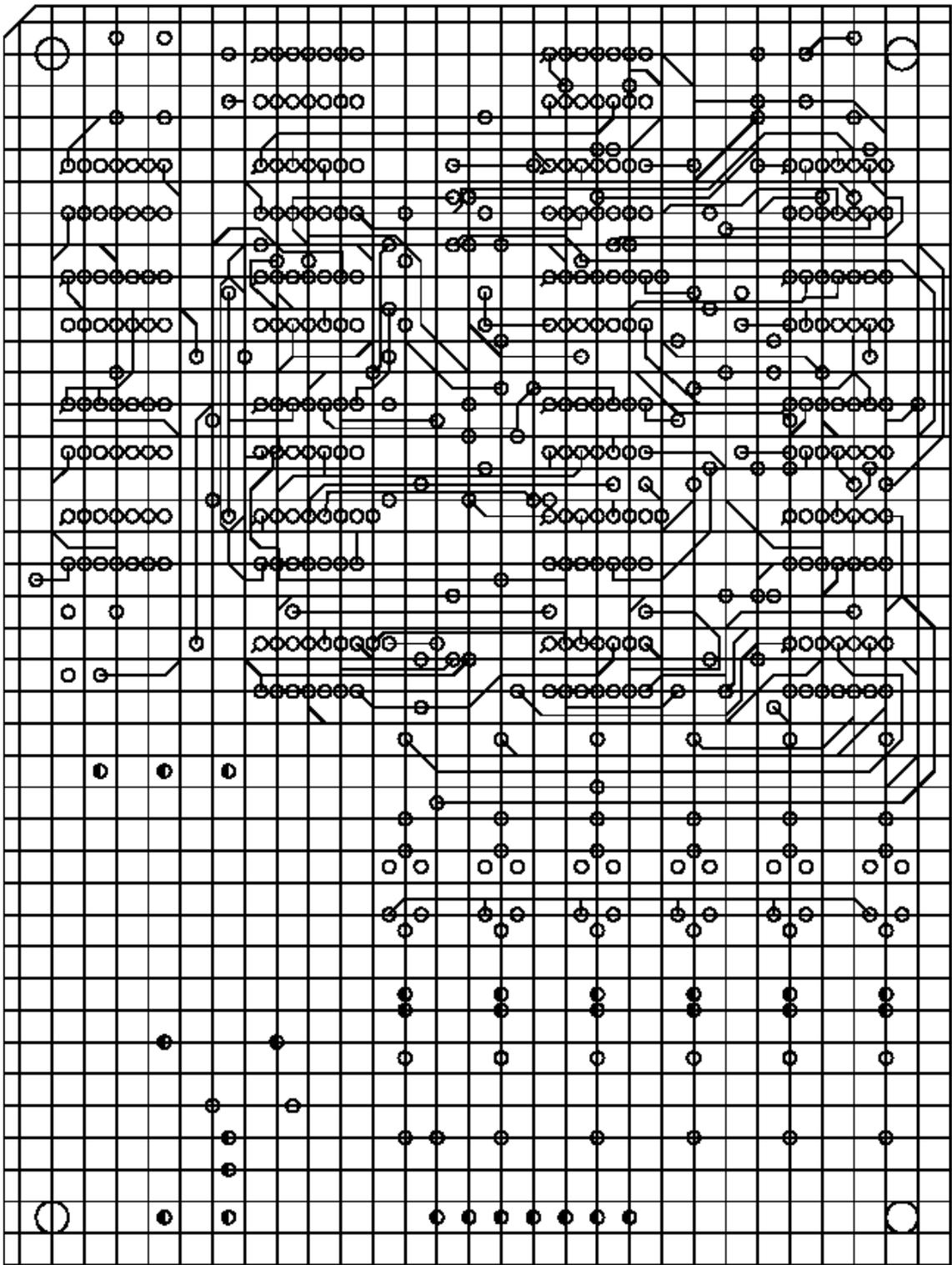


Рисунок 4.4. – Сторона ВОТТОМ печатной платы.

Разработанная печатная плата двухсторонняя, имеет по одному слою проводников с каждой стороны и металлизированные отверстия. Токопроводящий слой печатной платы создается комбинированным методом. При этом проводники получают травлением фольги, а металлизированные отверстия - электрохимическим методом. Чтобы к печатному проводнику можно было припаять проводник или вывод элемента, на проводнике делают контактную площадку в виде участка с увеличенной шириной.

Толщина материала основания печатной платы H_m определяется в зависимости от нагрузки и ее конструктивных особенностей, также толщина печатной платы увязывается с диаметром металлизированных отверстий.

Для изготовления печатных плат химическим методом необходимо иметь листовую материал в виде изоляционного основания с приклеенной к нему металлической фольгой. В данной работе используем фольгированный стеклотекстолит СФ-2. Фольгированный материал двухсторонний (фольга наносится на две стороны изоляционного основания).

Предпочтительными значениями номинальных толщин односторонних печатных плат являются: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 (мм). Принимаем значение толщины H_m равным 1,5 мм.

В зоне контактной площадки находится монтажное отверстие, в которое будет вставляться вывод элемента схемы. Монтажное отверстие имеет металлизированные стенки. То есть металл, нанесенный на цилиндрическую поверхность отверстия, соединен с контактной площадкой по всему периметру отверстия. Использование металлизированных отверстий приводит к большей надежности пайки.

Диаметр отверстий в печатной плате должен быть больше диаметра вставляемого в него вывода, что обеспечивает возможность свободной установки элемента. Диаметр металлизированного отверстия зависит от толщины платы. Связано это с тем, что при гальваническом осаждении металла на стенках малого диаметра, сделанного в толстой плате, толщина слоя металла

получается неравномерной, а при большом отношении длины к диаметру некоторые места могут остаться непокрытыми. Диаметр металлизированного отверстия должен составлять не менее половины толщины платы.

Очевидно, что наибольшим током, протекающим по дорожкам печатной платы будет ток питания, равный 261 мА. Для этого тока достаточно дорожек шириной 0,5 мм. В связи с этим выберем все проводящие дорожки на печатной плате шириной 0,5 мм.

Проводники располагаются равномерно по полезной площади печатной платы с учетом следующих требований: параллельно линиям координатной сетки или под углом, кратным 15° . С целью уменьшения сложности проводящего рисунка допускается применение перемычек в количестве не более 5% от общего числа печатных проводников.

Сформулировали требования к изготовлению печатной платы:

- 1) Плату изготовить химическим травлением.
- 2) Плата должна соответствовать ГОСТ 23752-79.
- 3) Шаг координатной сетки 2.54 мм (на чертеже линии координатной сетки нанесены через одну).
- 4) Конфигурацию проводников выдержать по координатной сетке.
- 5) Ширина проводников 0.5 мм.

Заключение

Данная работа посвящена разработке автомата световых эффектов, предназначенного для управления шестью световыми гирляндами в соответствии с заданным алгоритмом.

В результате анализа рынка аппаратов световых эффектов было выявлено, что выпускаемые аппараты обладают большой, а подчас – избыточной функциональностью, но выпускаются на мощности до 2,2 – 5 кВт, что может оказаться недостаточным для обеспечения иллюминации крупных торговых или культурно-развлекательных объектов. Разработанный в данной работе аппарат способен управлять шестью гирляндами по 11 кВт (220 В 50 А) каждая. По сравнению с существующими аналогами в аппарат также добавлена возможность ручного управления каждым отдельным каналом при помощи тумблеров.

При реализации заданного алгоритма управления на логических интегральных микросхемах для минимизации логических функций были использованы карты Карно, что позволило упростить процесс синтеза последовательностной и комбинационных частей системы.

В результате анализа возможных схемотехнических решений силовой части было решено использовать твердотельные реле (оптосимисторные модули), что позволило упростить схему питания и повысило надежность аппарата.

Список используемой литературы

- 1 Автоматы световых эффектов от А до Я [Электронный ресурс]. URL: www.platan.ru/shem/pdf/str51-55sx.pdf. (Дата обращения: 01.02.2019)
- 2 Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 12.01.2019)
- 3 Интернет магазин электронных компонентов «Импульс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.impulsi.ru> (дата обращения 04.06.2019).
- 4 Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chip-dip.ru> (дата обращения: 17.05.2019).
- 5 Контроллеры светодиодной рекламы [Электронный ресурс]. URL: <http://elsikor.ru/ledctrl.html>. (дата обращения: 17.05.2019)
- 6 Шевцов А.А. Синтез цифрового управляющего устройства: Методическое пособие по курсовому проектированию. – Тольятти, 2003. – 22 с.
- 7 Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учебное пособие для приборостроительных специальностей вузов. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Высшая школа, 1991. – 622 с.
- 8 Электронные промышленные устройства: Учеб. для студ. вузов спец. «Пром. электроника»/ В.И. Васильев, Ю.М. Гусев, В.Н. Миронов и др. – М.: Высшая школа, 1988. – 303 с.: ил.
- 9 Интегральные микросхемы: Справочник/ Б.В. Тарабрин, Л.Ф. Лунин, Ю.Н. Смирнов и др. – М.: Радио и связь, 1984. – 528 с.
- 10 Резисторы: Справочник; Под ред. И.И. Четвертакова. – М.: Энергоиздат, 1981. – 352 с.
- 11 Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник; Под ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987.- 656 с.: ил.

12 Электроника и нанoeлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.

13 Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.platan.ru> (дата обращения: 17.05.2019)

14 Научно-инженерный центр силовых полупроводниковых приборов ОАО "Электровыпрямитель" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.moris.ru/martin/> (дата обращения: 17.05.2019)

15 Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база. Книга 1. Масленников М.Ю., Соболев Е.А., Соколов Г.В. и др. М. – 1993.

16 ММП Ирбис [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mmp-irbis.ru/catalog/> (дата обращения: 17.05.2019)

17 Александров К.К., Кузьмина Е.Г. Электротехнические чертежи и схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.: ил.

18 Густав Олсон, Джангуидо Пиани. Цифровые системы автоматизации и управления. – Спб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.: ил.

19 Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.: ил.

20 Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В трех томах.: Т.2. Пер. с англ. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Мир, 1993. – 372 с.: ил.

21 Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.: ил.

22 Единая система конструкторской документации: Справочное пособие / С.С. Борушек, А.А. Волкова, М.М. Ефимова и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 352 с.

23 Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2001. – 384 с.

24 Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.12.2017 решение №94 : [Электронный ресурс]. URL: https://www.tltsu.ru/upravlenie/educational-methodical-management/regulatory-documents-of-educational-process/7_Положение%20о%20ВКР-дек_pdf.pdf (Дата обращения: 08.03.2019).

25 Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: https://www.tltsu.ru/upravlenie/educational-methodical-management/regulatory-documents-of-educational-process/16_Порядок%20обеспечения%20самостоятельности%20выполнения%20Описьменных%20работ%20в%20ТГУ.pdf (Дата обращения: 08.03.2019).

26 Resistor [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Resistor> (дата обращения: 13.03.2019 Electrical resistance and conductance [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance (дата обращения: 17.05.2019)

27 Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: учеб.пособ./ Зиновьев, Г.С. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 664с.

28 Забродин Ю.С. Промышленная электроника / Ю.С. Забродин - М.: Высшая школа, 1982.- 496с.

29 Семёнов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – 2 изд., испр - М.: СОЛОН-Пресс, 2015. – 416с.: ил.

30 Lighting System [Электронный ресурс]. URL: <http://csl-project.squarespace.com/lighting-system/> (дата обращения: 17.05.2019)

31 Architecture of the night [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Architecture_of_the_night (дата обращения: 17.05.2019)

32 Highlite [Электронный ресурс]. URL:
<https://www.highlite.com/en/products/entertainment-lighting/light-effects/effect-lights.html> (дата обращения: 17.05.2019)

33 Automatic Night Light Control [Электронный ресурс]. URL:
<https://www.engineersgarage.com/contribution/automatic-night-light-control.html> (дата обращения: 11.02.2019)