

Тольятти 2016

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа на тему «Светодиодное информационное табло» состоит из пояснительной записки объемом листов и графической части объемом 7 листов формата А1.

Целью работы является обеспечение отображения информации с возможностью ее загрузки из персонального компьютера, путем разработки информационного табло на базе микроконтроллера.

Задачи работы: 1) выбор структурной схемы информационного табло; 2) выбор основных аппаратных средств для построения информационного табло; 3) разработка принципиальной электрической схемы и расчет параметров элементов; 4) разработка конструктивного исполнения информационного табло; 5) расчет затрат на материалы и комплектующие.

Пояснительная записка содержит: введение в рассматриваемую область; анализ современных технологий создания системы отображения информации; анализ систем отображения информации, применяемых для информационных табло; разработку структурной схемы устройства; расчет принципиальной электрической схемы аппаратной части информационного табло и выбор элементов; разработку печатной платы; расчет затрат на материалы и комплектующие, входящие в состав информационного табло; заключение и список использованных источников информации.

Графическая часть содержит структурную схему устройства, электрические принципиальные схемы системы управления, отображаемого табло и силовой части, печатные платы системы управления и силовой части устройства, сборочный чертеж системы управления, сборочный чертеж отображаемого табло и силовой части.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр. (лист)
Введение	4
1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ информационного табло	6
1.1 Обзор современных систем отображения информации	6
1.2. Построение систем отображения информации на базе микроконтроллера	11
1.3 Реализация МК дисплея на матричных индикаторах	18
2. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ И АЛГОРИТМА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА	20
2.1 Структурная схема устройства.....	20
2.2. Разработка графа состояния и блок-схемы алгоритма работы информационного табло	22
3. ВЫБОР УПРАВЛЯЮЩЕГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА И УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ.....	27
3.1 Выбор управляющего микроконтроллера.....	27
3.2. Выбор устройства отображения информации	32
4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ТАБЛО	33
4.1 Разработка принципиальной схемы устройства.....	33
4.2 Расчет параметров элементов схемы	40
5. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА И ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ	49
6. Экономическая часть	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	58

Введение

За последнее время произошли революционные изменения в технологиях освещения, связанные с созданием новых технологий производства светодиодов. Светодиод является наиболее стабильным и управляемым источником света. В силу принципов работы светодиода можно отметить следующие особенности: каждый светодиод можно рассматривать как точечный: поскольку площадь излучающего кристалла мала и составляет даже для мощных светодиодов единицы квадратных миллиметров, излучение светодиода производится в очень узкой полосе частот и с некоторым приближением излучение для светодиодов, кроме белого можно считать монохроматическим [20].

Твердотельные светодиодные лампы (SSL), светодиодные линейки, используют для монохромного освещения, в автомобильных осветительных приборах, светофорах, информационных вывесках и указателях и других сферах деятельности человека.

Другое применение твердотельных источников света это использование их кластеров, состоящих из нескольких источников и согласованной оптической системы. Такие кластеры позволяют формировать световой поток с необходимой интенсивностью и смешивать различные цвета. Подобные твердотельные источники света нашли широкое применение как в системах отображения информации (информационных табло, дисплеях), так и в качестве подсветки информационных панелей и мониторов (в основном в жидкокристаллических дисплеях (ЖКД)).

Средства на базе светодиодной техники не боятся вибраций и обладают небольшими габаритами, что делает спектр их применения необычайно широким.

Во многих областях человеческой деятельности широко применяются системы отображения информации. В связи с последними разработками в области микроэлектроники, сложные электронные и микроэлектронные устройства становятся все более надежными и доступными. Область применения подобных систем значительно расширилась, и системы отображения информации служат как для бытовых, так и для специальных, и промышленных целей. Построение данных систем на основе светодиодной техники обладает рядом преимуществ, по сравнению с ранее применяемыми средствами является актуальным.

Не менее важным аспектом, влияющим на широкое применение систем отображения информации, является распространение персональных компьютеров. Применение компьютеров за последние годы постоянно увеличивается и характеризуется постоянным обновлением аппаратных и программных ресурсов, в сторону роста их функциональных возможностей, доступных рядовому пользователю. Поэтому актуальным является обеспечение возможности совместной работы системы отображения и компьютера.

Целью данной выпускной квалификационной работы является обеспечение вывода информации для визуального наблюдения с возможностью загрузки отображаемой информации из персонального компьютера, путем разработки светодиодного информационного табло со встроенным цифровым автоматом на базе микроконтроллера.

1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ информационного табло

1.1 Обзор современных систем отображения информации

В настоящее время существует большое многообразие систем отображения информации. Различают два типа светодиодных экранов: для использования внутри помещений и для использования снаружи помещений. Главное отличие последних это то, что их излучающая поверхность защищена от внешних воздействий.

Экраны для внутреннего применения собираются на основе светодиодных матриц – кластеров состоящих из нескольких источников света (монохромные и многоцветные экраны). Полноцветные экраны собирают из планарных светодиодов (SMD). Эта современная и сложная технология позволяет добиться более равномерного свечения и лучшего цветового баланса и, как следствие, высокого качества изображения [5]. Также для помещений используются табло и мониторы, основанные на отдельных светодиодах, не объединенных в кластеры, жидкокристаллических (ЖК) индикаторах, плазменных панелях (ПП), электролюминисцентных трубках (ЭЛТ) – кинескопных дисплеях.

Базовым модулем информационных табло является знакосинтезирующие индикаторы двух типов – знакосинтезирующие индикаторы точечные (ЗИТ) и знакосинтезирующие индикаторы сегментные (ЗИС), относящиеся к типу пассивных бистабильных индикаторов. Информация на индикаторе отображается в виде точек или сегментов на черном фоне (цвет отображения может задаваться). Использование контрастной флюоресцентной пленки в качестве цветной точки создает высококонтрастное изображение при дневном свете без потребления энергии.

Табло отличаются низким потреблением электроэнергии, в среднем не более 5 Вт, устойчивой работой в любых климатических условиях. Расстояние уверенного распознавания информации составляет не менее 50 м. Вывод информации может осуществляться на нескольких языках, исключая арабскую вязь и иероглифику.

Технологии, используемые при изготовлении мониторов [24], могут быть разделены на две группы:

- 1) устройства прямого свечения, например традиционные ЭЛТ-дисплеи и плазменные панели;
- 2) мониторы трансляционного типа, использующие подсветку, такие как ЖК-дисплеи.

1.1.1 Плазменные панели

Плазменные панели (PDP - plasma display panel) получили свое развитие в начале 60-х годов. На тот момент ни одна из существовавших технологий не позволяла решить задачу высококачественной цветопередачи без неизбежной потери яркости и при невысоких массогабаритных показателях. Плазменные панели, тогда только теоретически, могли решить подобную задачу. Изначально, опытные плазменные экраны были одноцветными оранжевого цвета и и предназначались для особых применений, где в первую очередь требовалась значительная площадь изображения.

Как в нашей стране, так и за рубежом исследования и разработки в области этой технологии начались еще в начале 60-х годов. Отечественные плазменные панели выпускались в 70-х годах в г. Рязани. На тот момент размер элемента изображения был достаточно велик, и плазменные панели использовались в основном для создания информационных табло большого размера. Изображение было некачественным, передавалось мало цветов, устройства были крайне ненадежными.

В таблице 1.1 представлена сравнительная характеристика дисплеев прямого свечения.

Таблица 1.1.

Тип дисплея прямого свечения	Принцип работы дисплея	Основные достоинства и недостатки	Особенности и перспективы развития
1. Кинескопные (CRT – Catod Ray Tube)	Термоэмиссия электронов, которые ускоряются электростатическим полем. Отклонение электронного пучка (развертка раstra) магнитным полем катушек ОС. Излучение света люминофоров основных цветов за счет энергии ускоренных электронов.	1. Воспроизводят полный цветовой треугольник (локус) человеческого зрения 2. Прекрасное разрешение и высокая контрастность. 3. Большие масса и габариты.	1. Разработка кинескопов повышенного разрешения со сверх плоским экраном 2. Ведутся работы по повышению экономичности новых кинескопов.
Плазменные панели PDP (Plasma Display Panel)	Свечение люминофоров основных цветов в результате воздействия УФ – излучения, возникающего при электрическом разряде в плазме. Плазма образуется при электрическом разряде постоянного (DC) или переменного (AC) тока в разряженном газе между двумя стеклянными пластинами дисплея.	1. Большая яркость, полный цветовой треугольник (локус) 2. Легкость создания больших плоских панелей с диагональю 40" и более 3. Широкий угол обзора (более 160 градусов)	1. Сегодняшние достижения плазменных панелей с диагональю 40" и более - яркость свечения экрана 350 кд/кв.м, - контраст 300:1 - разрешение 640х480 пиксел и более - экономичность порядка 10Вт/люмен
Плазма – адресуемые панели PALS (Plasma Addressing Liquid Crystal Display Device)	Комбинированная конструкция – для управления (коммутации) активной ЖК – матрицы (LCD) в качестве ключа используется проводящий канал в разряженном газе (плазме).	1. Большая яркость, полный цветовой треугольник (локус) 2. Легкость создания больших плоских панелей с диагональю 40" и более 3. Экономичность 4. Возможность создания панелей высокого разрешения 5. Малый угол обзора (в последних моделях значительно расширен).	1. Достижения панелей PALS: - экономичность – 1,2 мВт/люмен - серийно изготавливаются панели 40-60".

1.1.2 Электролюминесцентные мониторы

Электролюминесцентные (ЭЛ) мониторы (ED - Electroluminescent displays) [24] похожи на ЖК, но имеют специальные доработки, обеспечивающие светоизлучение при туннельных переходах. Эти мониторы могут работать при более низкой мощности, чем плазменные и электролюминесцентные мониторы. Данная технология использует высокоэффективное фосфорное покрытие, нанесенное непосредственно на каждый прозрачный анод в области экрана.

ЭЛ-мониторы имеют высокие частоты развертки, хорошую надежность и яркость. Они работают в широком спектре температур от -40 до +85°C. Среднее время наработки на отказ составляет 100 000 часов. Время отклика меньше 1 мс. Угол обзора >160°

Однако для ЭЛ-мониторов необходимо высокое напряжение (>80 В), цвета у них не такие чистые, как у ЖК-моделей. Кроме того, они обладают относительно низким разрешением, т.к. размер матрицы ограничивается шириной точек фосфора.

Основное применение данная технология нашла в низкоинформационных приложениях и широко применяется в такой области, как экраны объявлений, т.к. на таких мониторах изображение хорошо видно на ярком свету.

1.1.3 Дисплеи с электростатической (автоэлектронной) эмиссией

Одним из лучших технологических направлений в области создания мониторов, которая совмещает в себе особенности как ЭЛТ, так и ЖК технологий, является технология FED (Field Emission Display).

Процессы, происходящие в FED-мониторах (также их называют плоскими ЭЛТ) аналогичны происходящим в ЭЛТ-мониторах, так как в обоих методах применяется люминофор, светящийся под воздействием электронного луча. Главное отличие между ЭЛТ и FED мониторами состоит в том, что ЭЛТ-мониторы имеют три пушки, которые испускают три электронных луча, последовательно сканирующих экран, покрытый люминофорным слоем, а в FED-мониторе каждый пиксель изображения формируется излучением электронов с нескольких тысяч субмикрометровых остроконечных элементов поверхности. Благодаря этому не требуется высоковольтная эмиссия, и рабочее напряжение устройства может быть существенно снижено.

FED-дисплеи обеспечивают высокую яркость изображения ($600 - 800$ кд/м²) и угол обзора 160° во всех направлениях, а также имеют очень короткое время отклика, легки, тонки, потребляют мало электроэнергии, могут работать в широком температурном диапазоне. Типичные характеристики FED-дисплеев: размер по диагонали $10 - 27$ см, толщина - порядка нескольких миллиметров, допустимый интервал рабочей температуры - от -5 до $+85^\circ\text{C}$.

Недостатком FED-дисплеев является необходимость поддержания вакуума в экранах большого размера. Конструкция должна быть достаточно прочной, чтобы противостоять сжимающему атмосферному давлению. Кроме того, главная проблема FED-дисплеев это невысокий срок работы.

1.1.4 Дисплеи на основе светоизлучающих полимеров

Одной из новых перспективных технологий используемой для построения систем отображения информации является технология, основанная на светоизлучающих полимерах (LEP - Light Emitting Polymer) [3]. Начало этой технологии было положено в 1989 году, группой

химиков научной лаборатории Кембриджского университета во главе с профессором Ричардом Френдом, после открытия светоизлучающие полимеров.

Светоизлучающие полимеры - это одна из разновидностей так называемых сопряженных полимеров, электропроводность разных представителей которых лежит в весьма широком диапазоне, и они, будучи расположенными между электродами, излучают свет. Эти полимеры (полифениленвинилен (PPV) и циано-полифениленвинилен (CN-PPV)) являются полупроводниками и, кроме того, еще и само изолирующимися.

1.1.5 Электронная бумага

Компания E Ink (, основываясь на результатах исследований процесса электрофореза, выполненных в лаборатории MIT Media Lab, получила вещество, похожее на краску и способное изменять цвет под воздействием электрического поля.

Электронные чернила [24] - цветная жидкость, состоящая из большого количества микрокапсул. Каждая микрокапсула имеет прозрачную оболочку, наполнитель синего цвета и микроскопические частицы белого пигмента.

Все частицы белого пигмента заряжены положительно. Помещая микрокапсулу между двумя электродами, управляют движением белого пигмента. Подавая соответствующее напряжение на электроды, можно увеличивать или уменьшать концентрацию пигмента вблизи данного электрода в зависимости от полярности поданного напряжения, изменяя тем самым цвет поверхности экрана.

Микрокапсулы этого вещества впечатываются в поверхности ткани, бумаги, пластика или даже металла, выполняющих роль своеобразного дисплея. Краситель изменяет оттенок в зависимости от характеристик электрического поля, создаваемого пластиковыми транзисторами. Это изобретение получило название электронная бумага. На данный момент достигнуто разрешение порядка 600 точек на дюйм, а картинка выглядит как качественная распечатка струйного принтера. Скорость обновления изображения в опытных образцах достигает десяти кадров в секунду.

Изображение на электронной бумаге, подключенной к компьютеру, можно мгновенно обновить, выведя на нее свежий номер газеты или новое издание книги. Ту же технологию можно использовать также для создания сверхтонких и сверхлегких дисплеев для потребительских электронных устройств следующего поколения, в том числе, сотовых телефонов и персональных цифровых помощников.

Одно из технических преимуществ электронной бумаги состоит в том, что «чернила» являются бистабильными, то есть полученный элементом заряд сохраняется без подпитки, а

значит, обеспечивается немалая экономия электроэнергии. Кроме того, электронная бумага имеет преимущества перед ЖК-дисплеями вследствие своей гибкости и долговечности. Электронную бумагу можно сворачивать (но не складывать), ее нельзя разбить, уронив.

Подразделения E Ink, ориентирующиеся на разработку технологий по созданию дисплеев, реализовали возможность формирования монохромных изображений. Вариант технологии электронных чернил E Ink, основанный на обычной кремниевой микроэлектронике, используется в выпускаемых компанией электронных табло Immedia.

1.2. Построение систем отображения информации на базе микроконтроллера

Устройства системы визуального информирования могут подключаться к системам передачи данных напрямую или через встроенный контроллер. Наличие встроенного контроллера позволяет подключать отдельные информационные табло к общей системе как клиента сети Ethernet, что позволяет легко изменять конфигурацию системы и подключать новые средства отображения без доработки управляющего ядра системы.

Рассмотрим основные типы светодиодных индикаторов, используемых для отображения информации.

1.2.1 Семисегментные индикаторы

Семисегментные индикаторы широко используют для отображения символьной информации. Матрица из семи излучающих элементов позволяет высвечивать десятичные и шестнадцатеричные цифры, некоторые буквы и некоторые специальные знаки. Структура семисегментного индикатора и варианты его подключения к микроконтроллеру показаны на рис. 1.1.

Для свечения одного сегмента индикатора необходимо обеспечить протекание через него тока около 10—15 мА при напряжении на нем в диапазоне 2,0—2,5 В. Низкая нагрузочная способность выходов микроконтроллера не позволяет напрямую соединять его с индикаторами. В качестве промежуточных усилителей тока используют логические элементы инверторы или специализированные микросхемы преобразователей кодов.

Преобразование двоичных чисел в коды для семисегментных индикаторов осуществляют либо программно, либо аппаратно с использованием различных преобразователей кода.

Семисегментный индикатор:

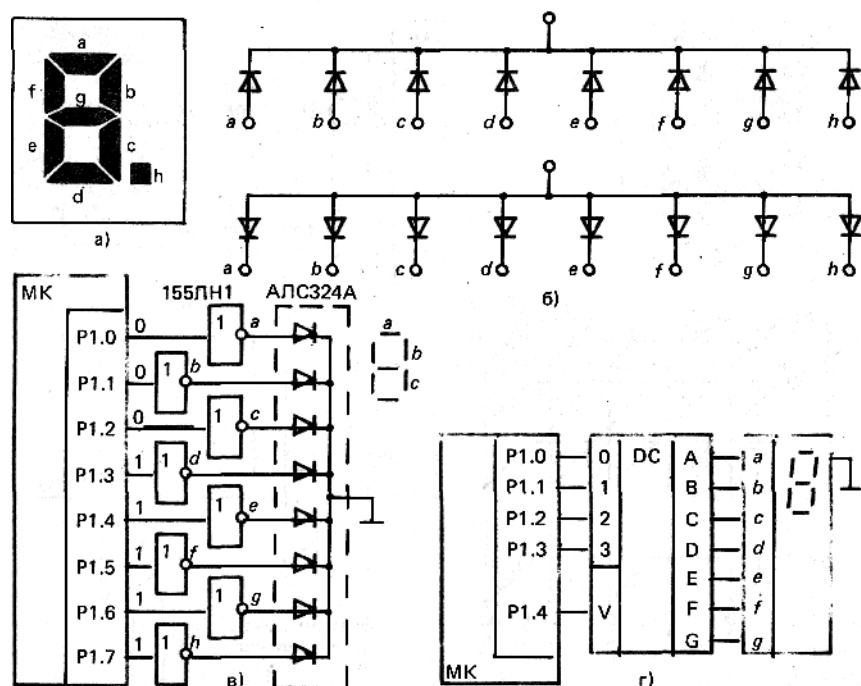


Рис. 1.1.

Матричный индикатор

Схема подключения к МК

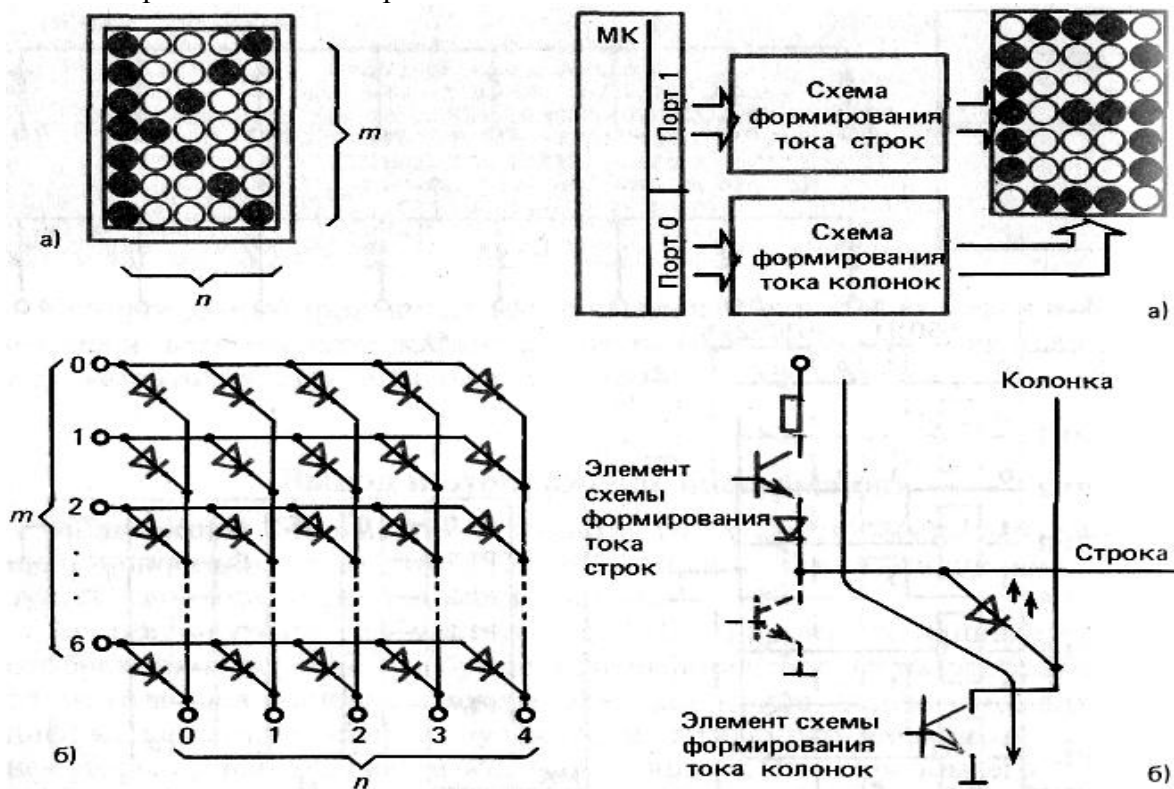


Рис. 1.2:

Рис. 1.3.

1.2.2 Матричные светодиодные индикаторы

Матричные индикаторы на светодиодах используют для отображения символьной информации. Каждый из таких индикаторов выполнен в виде микросхемы. Эта микросхема представляет собой матрицу светодиодов размерностью $m \times n$, где m — число колонок, n — число строк матрицы. Наиболее распространены в настоящее время индикаторы размерами 7×5 и 9×7 (рис. 1.2).

Для включения одного светодиода необходимо обеспечить ток через него порядка $10\text{—}15$ мА при напряжении около 2 В. Подключение такого индикатора к микроконтроллеру осуществляется через управляемые схемы формирования тока строк и столбцов (рис. 1.3).

Для отображения сообщений, в которых более одного символа, используют линейные дисплеи, имеющие одну строку. Число знакомест таких экранов определяется в соответствии с требованиями к функциональности системы.

Для взаимодействия микроконтроллера с дисплеем используют статический и динамический способы обмена информацией.

В первом на входе каждого индикатора должны быть специальные буферные регистры для хранения кодов отображаемых знаков. При увеличении количества отображаемых дисплеем символов, а как следствие его разрядности, возрастает число дополнительных микросхем, а следовательно - стоимость всей системы.

В динамическом способе используют тот факт, что любое световое отображающее устройство обладает своей инерционностью, а человеческий глаз видит отображаемую на дисплее информацию, при ее обновлении чаще 20 раз в секунду, как неизменяемую. В динамическом способе вывода информации можно использовать гораздо меньше аппаратных затрат, но в то же время необходимо более сложное программное обеспечение. Этот способ организации вывода информации наиболее широко используется в микроконтроллерных системах.

Поэтому в нашей работе будем использовать второй способ- динамическую индикацию.

Рассмотрим процессы вывода информации в системах отображения построенных на СС - и МС - индикаторах.

Этап 1 - вывод символа. Если использовать внешние преобразователи для получения изображения одного символа, то в соответствующий порт микроконтроллера будет выводиться только один двоичный символ.

При программной реализации микроконтроллер сопоставляет индицируемому символу определенный двоичный код или байт индикации (БИ). Этот байт индикации выдается в выходной порт. Как правило, перекодировку символов выполняют с помощью таблиц. Для этого индицируемые байты размещаются в смежных ячейках памяти в порядке возрастания их

двоичных кодов. Это упрощает процесс перекодировки, поскольку в этом случае необходимый байт находится в строке таблицы с номером, равным двоичному коду индицируемого символа.

При выводе информации на линейный дисплей в случае динамической индикации байт индикации поступает на входы всех семисегментных индикаторов, которые образуют линейный дисплей. Выбор же знакоместа в этом случае производится байтом выборки, представляющим собой код "бегущий ноль" (рис. 1.4). При бездешифраторном способе формирования байта выборки максимальное число знакомест линейного дисплея ограничено разрядностью порта. Использование для формирования кода "бегущий ноль" внешнего дешифратора позволяет значительно увеличить число знакомест линейного дисплея.

Удобно пользоваться отдельной процедурой для динамической индикации группы символов. Ее оформляют в виде подпрограммы в соответствии с блок-схемой алгоритма, приведенной на рис. 1.5.

Входными параметрами для подпрограммы являются исходный код отображаемого символа и номер знакоместа, на которое осуществляется вывод. Исходный код символа задается текущим адресом в массиве, а номер знакоместа — текущим значением байта выборки и значением счетчика знакомест.

Отдельная подпрограмма выполняет выборку кода очередного символа из памяти данных микроконтроллера, в которой исходные коды символов размещаются в ячейках памяти, расположенных друг за другом. Для получения яркой и равномерной индикации, обеспечивают запрет выборки знакомест на время изменения байта индикации в порте, затем регенерацию изображения на каждом знакоместе с частотой более 20 раз в секунду путем обращения к подпрограмме вывода сообщения через каждые $50/N$ мс, где N — число знакомест на дисплее. Временную задержку осуществляют выдачей байта выборки "все единицы". Необходимая частота регенерации изображения поддерживается и отслеживается основной программой микроконтроллера.

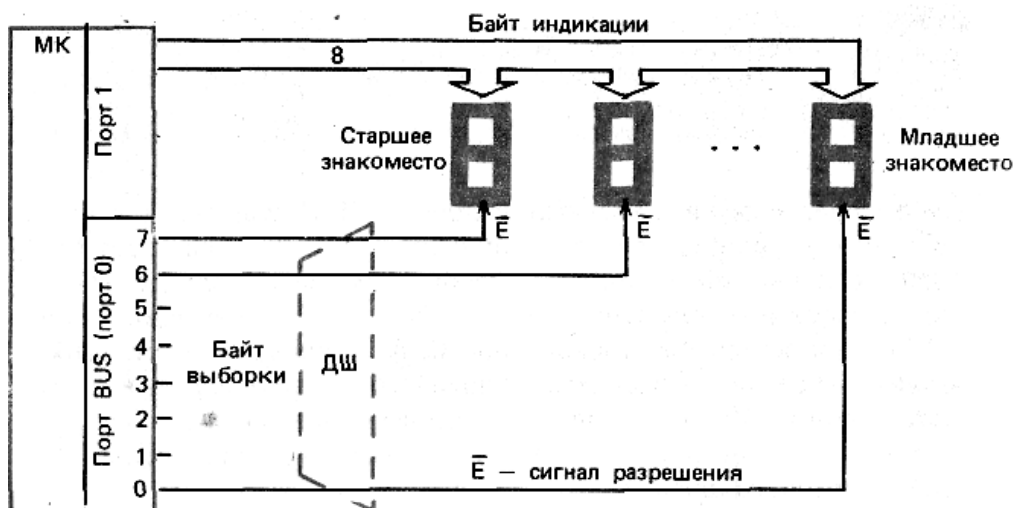


Рисунок 1.4 - Линейный дисплей на семисегментных светодиодных индикаторах

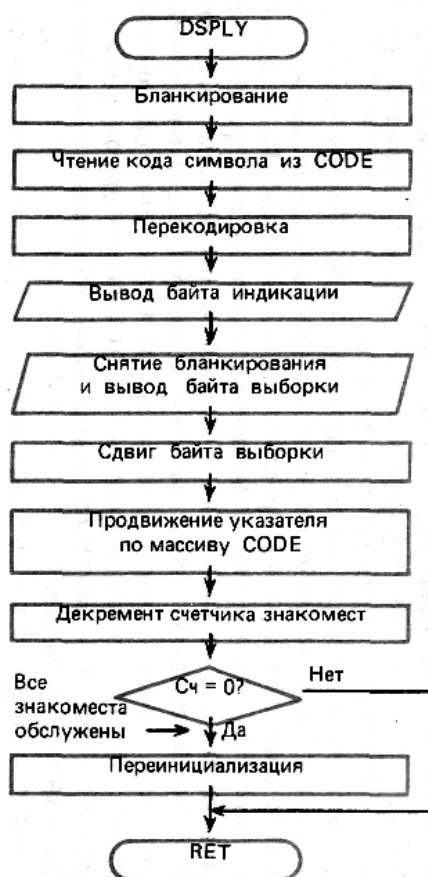


Рисунок 1.5 - Схема процедуры отображения символа на текущем знакоместе линейного дисплея

Следующей процедурой является вывод символа на индикатор. Для отображения символа на матричном дисплее используют принцип динамической индикации по колонкам. Байт индикации в этом случае представляет собой код засветки светодиодов колонки, и символ составляется из последовательности байтов индикации путем перебора колонок (рис. 1.6). Процедуру вывода символа на матричный дисплей целесообразно представить в виде двух отдельных процедур: перекодировки и отображения.

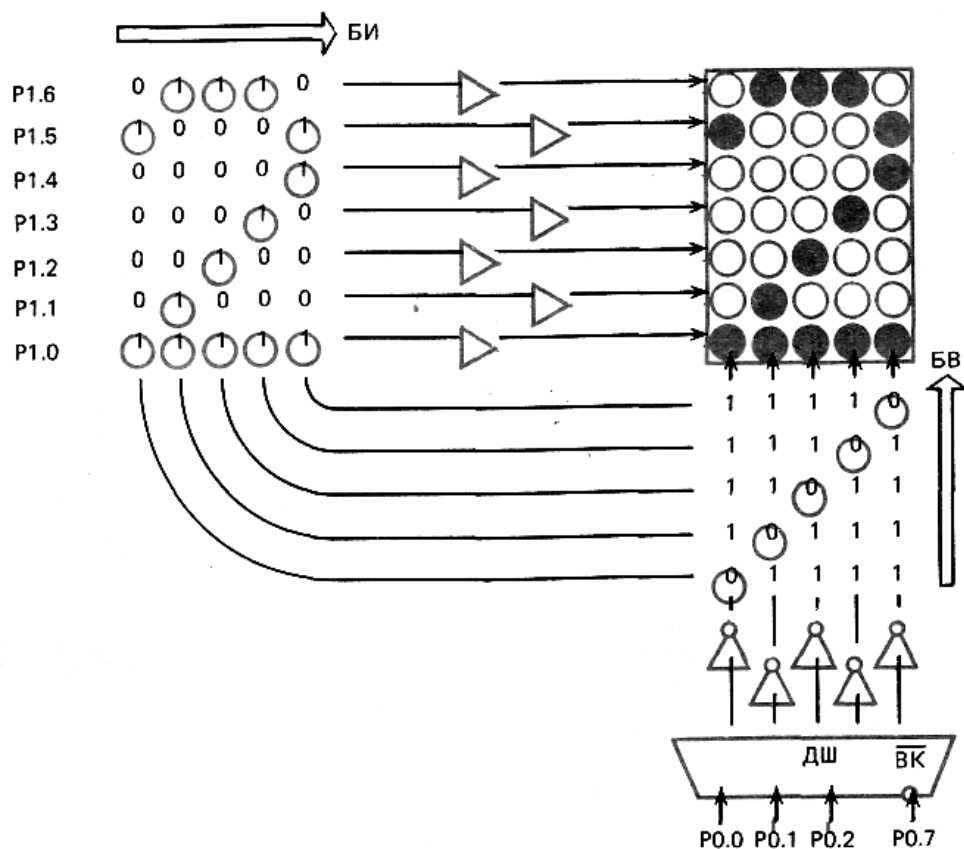


Рисунок 1.6 - Формирование символа на матричном индикаторе

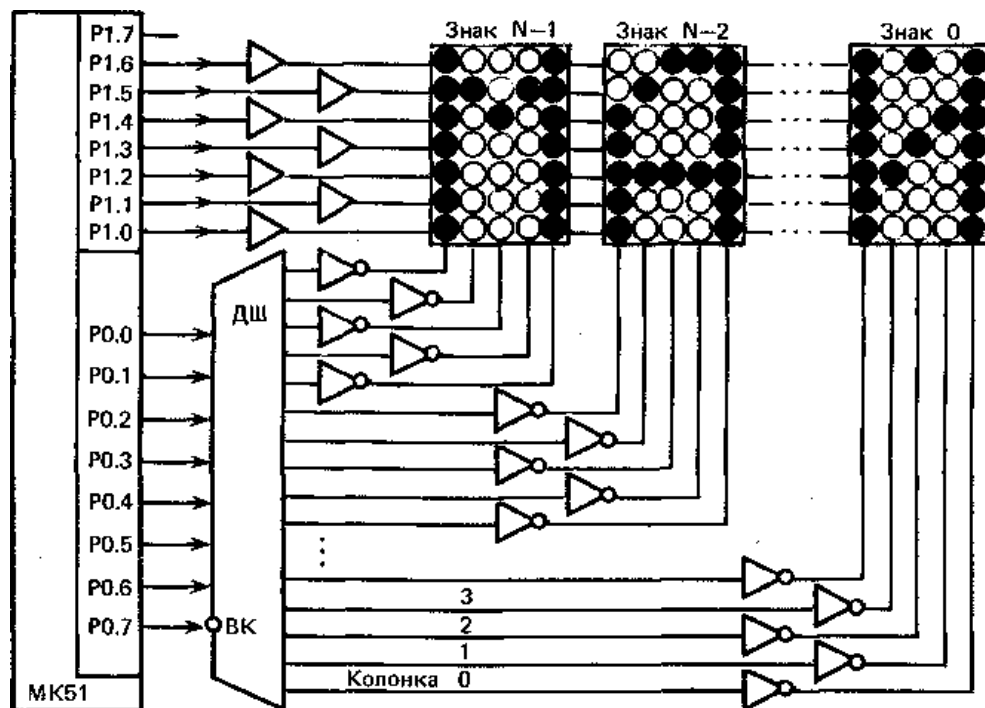


Рисунок. 1.7 - Линейный дисплей на матричных индикаторах

1.3 Реализация МК дисплея на матричных индикаторах

Во многих применениях используется автономный линейный дисплей на матричных индикаторах, удаленный от основного контроллера. Такого типа устройства обеспечивают вывод больших текстовых сообщений в режиме "бегущей строки". Связь такого удаленного дисплея с ведущим контроллером может осуществляться, например, по последовательному каналу в асинхронном режиме.

Рассмотрим вариант схемной реализации контроллера дисплея [12], одна из возможных схем которого приведена на рис. 1.8, со следующими техническими характеристиками: число знакомест - 8; размерность знакоместа - 7x5 световых точек; число строк - одна; скорость вывода (передвижение) сообщения - примерно 2 знака/с; интерфейс - последовательный канал, асинхронный режим (уровни сигналов - ТТЛ); скорость приема данных - 9600 бит/с; протокол DTR, в котором ведущим устройством используется сигнал готовности дисплея; кодирование символов — КОИ-7; код подачи бип-сигнала — 07; длительность бип-сигнала — 0,2 с.

На автономный дисплей возлагаются следующие функции: прием данных по последовательному каналу, перекодировка символов для отображения на матрице точек 7x5, сдвиг влево изображения на одну колонку каждые 0,1 с и регенерация изображения.

Рассматривая современные решения по новым технологиям изготовления информационных табло и существующие решения по созданию последних с использованием автономных микроконтроллеров можем сформулировать следующие задачи, которые необходимо решать в ходе проектирования:

1. Разработка структурной схемы информационного табло на базе МК удовлетворяющая современным тенденциям и требованиям технического задания, поскольку построение информационных табло характеризуется многообразием как используемых дисплеев и их технологическими особенностями, так и аппаратными особенностями используемых микроконтроллеров.

2. Выбор современных устройств отображения и МК. Немаловажным фактором при этом является соответствие современным тенденциям и способность дальнейшего наращивания возможностей устройства, поскольку, как было показано выше, существует тенденция постоянного обновления аппаратных и программных ресурсов используемых в ПЭВМ.

3. Разработка принципиальной электрической схемы аппаратной части информационного табло, определение электрических параметров и номиналов элементов, выбор конструктивных средств, необходимых для реализации взаимодействия интерфейса через IBM PC.

4. Разработка конструктивного исполнения информационного табло, включающая разработку монтажных узлов и печатной платы устройства.

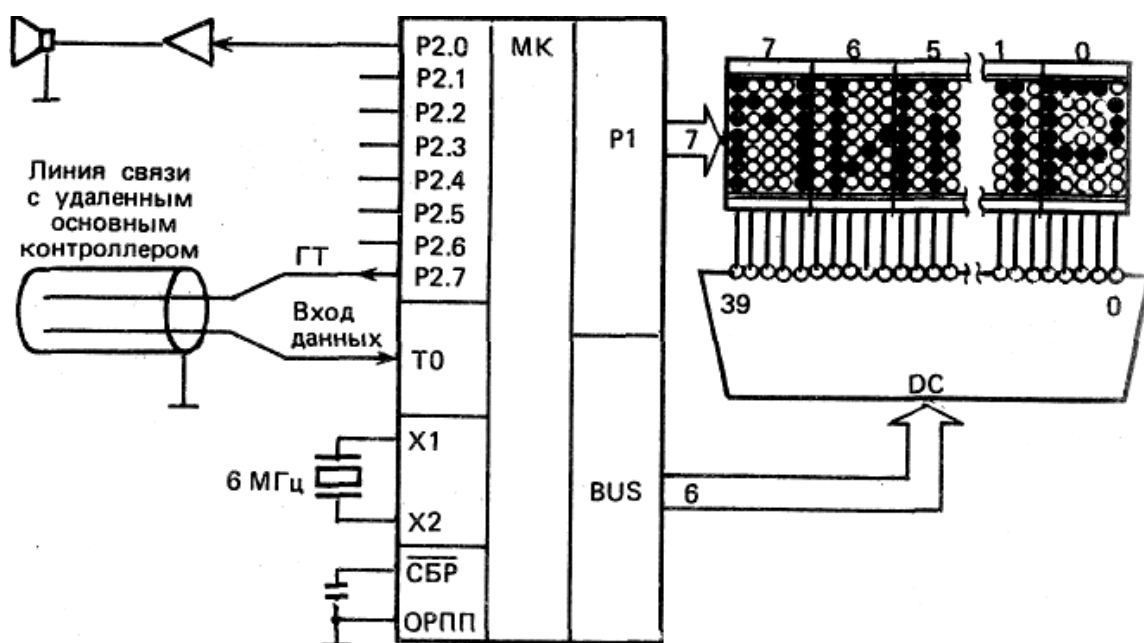


Рисунок 1.8 - Структурная схема контроллера дисплея

2. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ И АЛГОРИТМА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА

2.1 Структурная схема устройства

Как уже рассматривалось выше, во многих применениях необходим автономный линейный дисплей на матричных индикаторах, удаленный от основного контроллера. Имея ограниченное число знакомест (по техническому заданию число знакомест - 8), выстроенных в одну линию, такие табло используются для вывода больших текстовых сообщений в режиме "бегущей строки". Для привлечения внимания в момент появления сообщения возможна подача короткого звукового сигнала. Связь информационного табло с ведущим контроллером согласно техническому заданию (ТЗ) должна осуществляться, по последовательному каналу в асинхронном режиме. Преимуществами данного решения являются портативность и низкая стоимость, что выгодно отличает дисплеи такого типа от стандартных.

В соответствии с требованиями ТЗ выбрана следующая структурная схема, показанная на рис.2.1. Как видно из рисунка, входное переменное напряжение сети U_C поступает в блок питания (БП) предназначенный для понижения и выпрямления сетевого напряжения. Выпрямленное и сглаженное напряжение поступает на микроконтроллер (МК), усилитель строк (УСР) и усилитель столбцов (УСТ). МК обеспечивает связь с электронной вычислительной машиной (ЭВМ). Линии портов микроконтроллера служат для управления строками и столбцами. Далее с усилителя строк и столбцов, в своей последовательности, напряжение подается на устройство отображения – матрицу светодиодов (LCD).

МК устройства относится к классу сложных аппаратных средств, которые для устойчивой работы требуют специальных мер защиты от помех по сети питания. Эти средства могут быть различны по применению и назначению и в разной степени ослаблять негативные воздействия на электросеть.

Особенное внимание требуется уделять к мощным импульсным помехам [22], поскольку на их долю приходится до 90% сбоев в работе электронного оборудования на промышленных предприятиях и в условиях больших городов.

В эксплуатационных условиях промышленных предприятий это означает, что его электронное оборудование систематически подвергается воздействию мощных импульсных помех, которые могут привести к сбоям в работе оборудования.

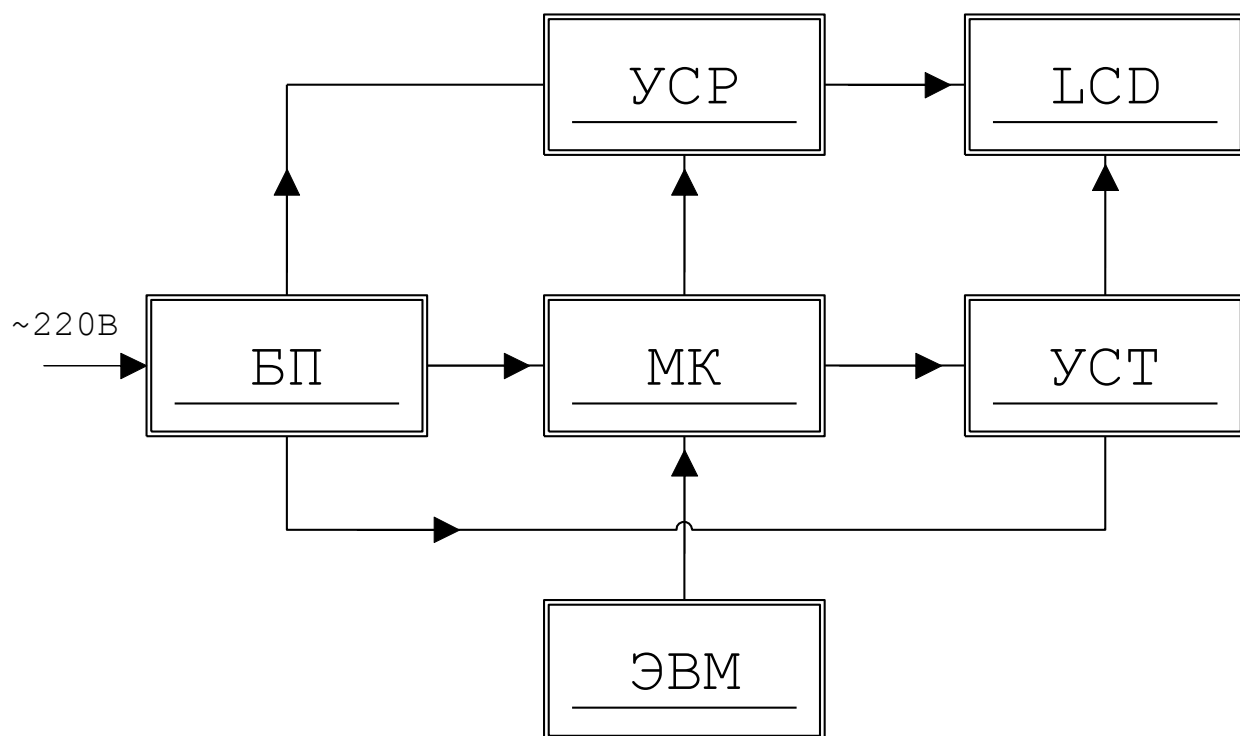


Рисунок 2.1 - Структурная схема устройства

Для отечественных сетей электропитания в последние годы также характерно низкое качество напряжения. Кроме того, наблюдаются аномально высокие всплески напряжения в течение длительного количества времени, например, в сети 220В были зарегистрированы длительные (продолжительностью от периода до десятых долей секунды) перенапряжения до 320 В.

Таким образом, для обеспечения при организации электропитания необходимо предусмотреть фильтрацию электропитания и заземление корпуса.

Согласно ТЗ в качестве интерфейса для сопряжения устройства и персонального компьютера используется интерфейс RS-232. Данный тип интерфейса получил наибольшее распространение в компьютерной технике. Основными преимуществами использования RS-232С являются возможность передачи на сравнительно большие расстояния до 10-12 м и простой соединительный кабель.

"Бегущая строка" будет останавливаться после появления на экране последнего принятого символа, если новые символы не поступили. Это позволит управляющему контроллеру задерживать на дисплее необходимые данные. Очистка дисплей производится путем передачи друг за другом восемь раз кода пробела (20h).

2.2. Разработка графа состояния и блок-схемы алгоритма работы информационного табло

Можно выделить три автоматных состояния в работе контроллера: ВВОД ДАННЫХ, ПЕРЕКОДИРОВКА И СДВИГ, РЕГЕНЕРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ (рис. 2.2). После включения электропитания и выполнения процедуры инициализации контроллер попадает в состояние ВВОД ДАННЫХ. Схема алгоритма работы контроллера в этом состоянии приводится на рис.2.3, а. В этом состоянии устанавливается сигнал готовности (ГТ) к работе, после чего ведущий компьютер может начинать передачу данных в контроллер дисплея.

После окончания ввода данных сигнал готовности сбрасывается, значение счетчика байтов (СЧБ) фиксируется как входной параметр для состояния ПЕРЕКОДИРОВКА И СДВИГ, схема которого приводится на рис. 2.3, б. В этом состоянии контроллер осуществляет перекодировку полученных символов, заполнение и сдвиг буфера отображения. Процесс отображения символов и организации режима индикации "бегущая строка" поясняется, на рис. 2.4.

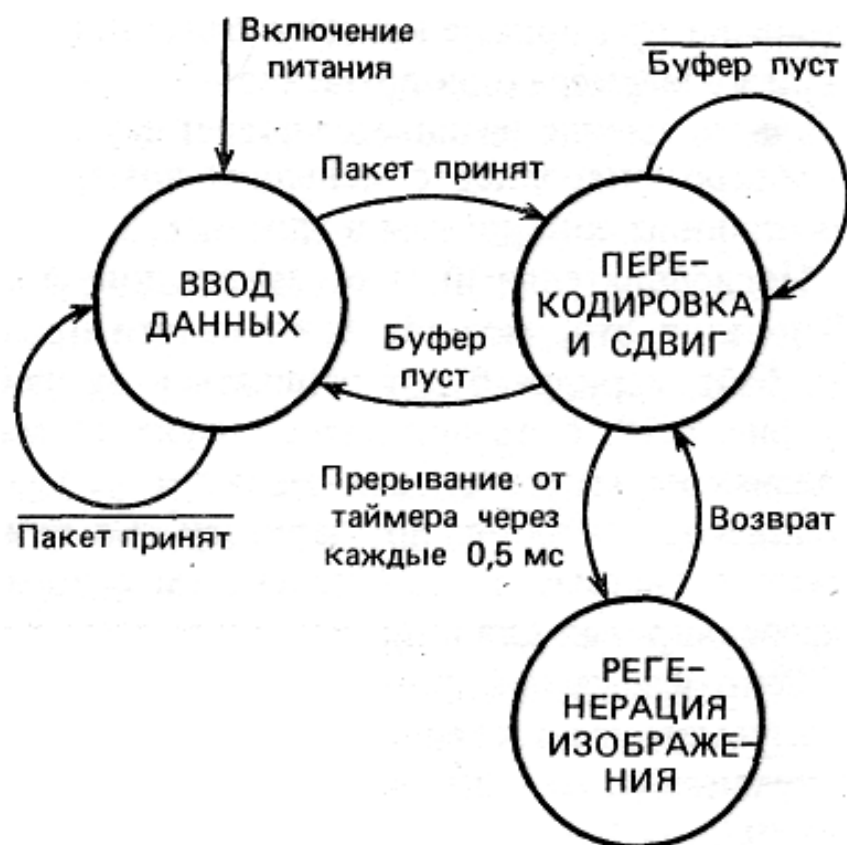
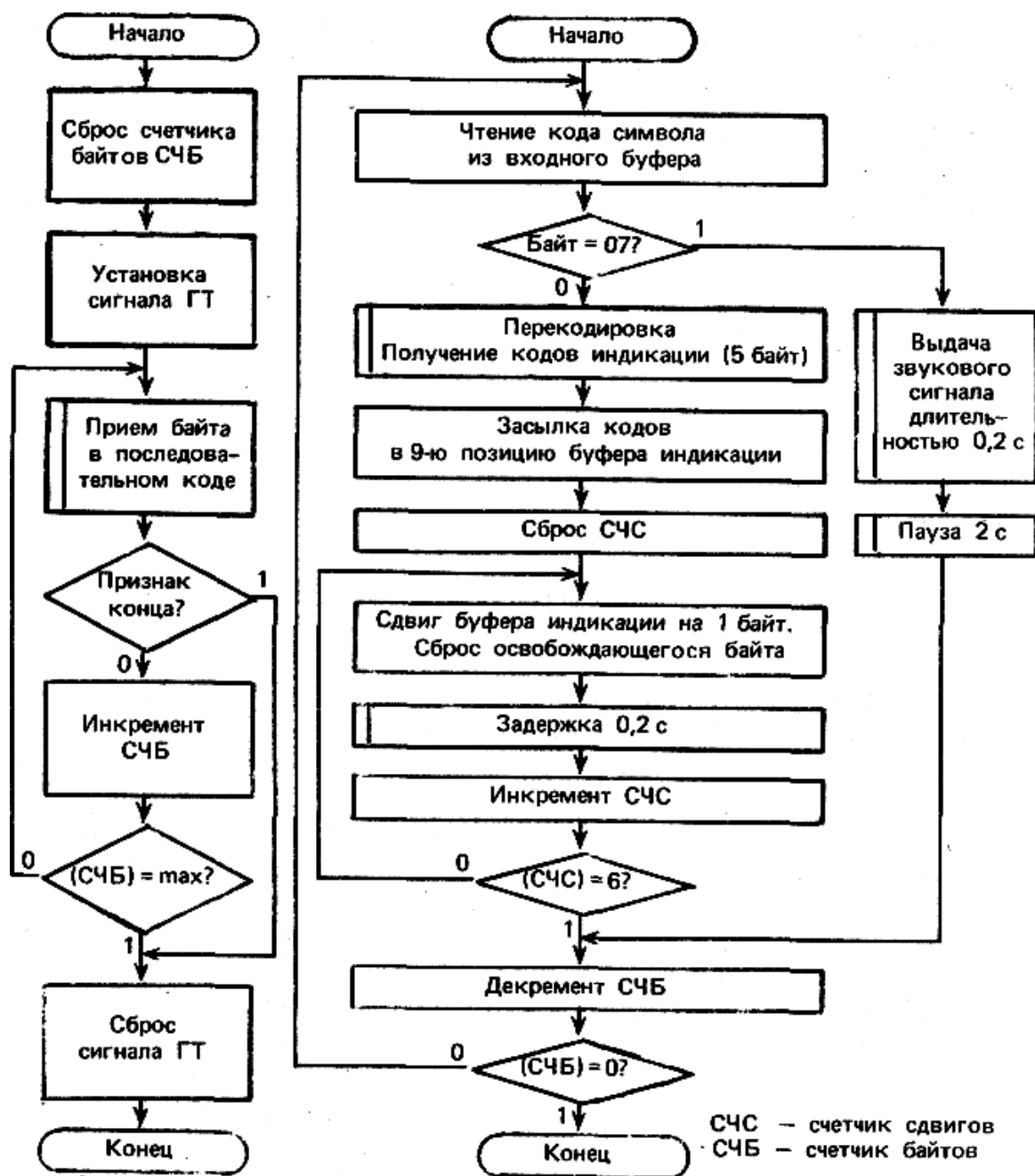


Рисунок 2.2 - Граф состояния контроллера дисплея



а - ВВОД ДАННЫХ

б - ПЕРЕКОДИРОВКА И СДВИГ

Рис. 2.3. - Блок-схемы алгоритма работы контроллера в состояниях

Буфер, содержащий коды индикации (буфер отображения), имеет 9 позиций, в то время как знакомест всего 8. Каждая позиция буфера отображения состоит из 5 байт — по числу колонок знакоместа. Через дополнительную (неотображаемую) девятую позицию буфера осуществляется вывод символа на индикацию.

После инициализации все позиции дисплея погашены. Из входного буфера извлекается символ, осуществляется его перекодировка и 5 байт индикации загружаются в девятую позицию буфера отображения.

Далее осуществляется сдвиг всего буфера отображения на 1 байт в сторону первой позиции, при этом код первой (левой) колонки символа перемещается в восьмую позицию и появляется на экране. Задержка в 0,1 с задает темп "бега" строки. При каждом сдвиге на место четвертого байта девятой позиции записывается нулевой код, т.е. колонка гасится.

Таким образом, после пяти сдвигов символ целиком перемещается в восьмую позицию буфера отображения и весь появляется на экране. Далее следует еще один сдвиг буфера для разделения знакомест (межсимвольный разделитель). После выполнения шести сдвигов можно обращаться к входному буферу за кодом очередного символа. Если в потоке данных встречается код бип-сигнала (07), то производится передача управления процедуре генерации бип-сигнала с последующей задержкой в 2 с. В это время изображение остается неизменным.

При исчерпании входного буфера и вывода последнего символа изображение останавливается, контроллер дисплея переходит в состояние ВВОД ДАННЫХ.

Если необходимо, чтобы сообщение целиком прошло по экрану и бесследно исчезло, то ведущему контроллеру необходимо дополнить его восемью кодами пробела.

Процедура регенерации изображения включается в работу по прерыванию от таймера. При каждом обращении к ней отображается одна из 40 колонок дисплея. Каждая колонка должна засветиться не менее 20 раз в секунду. Исходя из этого вычисляется период вызова процедуры: $1/20:40 = 1,25$ мс.

На время выполнения процедуры ввода байта из последовательного канала нужно запретить прерывания от таймера, так как вклинивание подпрограммы регенерации в процедуру ввода байта может привести к рассогласованию частот приема и передачи. При частоте передачи данных 4600 бит/с символ (7 бит + старт-бит + стоп-бит) будет передан за $1/9600 \times 9 = 937,5$ мкс, входной буфер емкостью 32 байта будет загружен примерно за 30 мс. Периодичность появления такого сбоя изображения при длине сообщений 16 байт составит один раз за $16 \times 6 \times 0,2 = 19,2$ с.

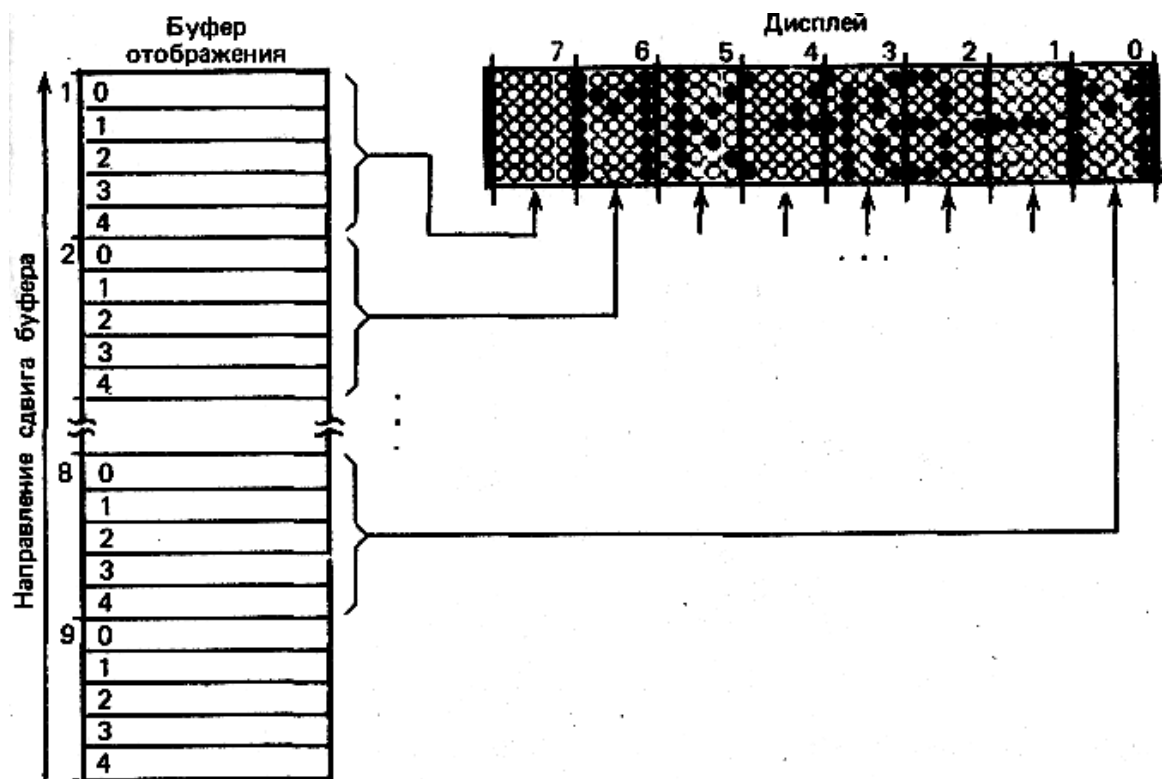


Рисунок 2.4 - Организация режима "бегущая строка"

3. ВЫБОР УПРАВЛЯЮЩЕГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА И УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ

3.1 Выбор управляющего микроконтроллера

Согласно рассмотренным в главах 1,2 решениям и требованиям ТЗ в качестве управляющего микроконтроллера выбрали тип MSP430F1491 фирмы Texas Instruments [21]. Данный МК относится к семейству MSP430 и содержит 16-разрядное RISC CPU (рис 3.1), периферийные модули и гибкую систему тактирования. Семейство MSP430 предлагает решения для приложений со смешанными сигналами.

Семейство MSP430 обладает следующими ключевыми особенностями:

- Ультранизкое энергопотребление, увеличенное время работы от автономных источников питания:
 - низкий ток сохранения ОЗУ - не более 0,1 мкА;
 - модуль тактирования реального времени потребляет 0,8 мкА;
 - ток потребления при максимальной производительности составляет 250 мкА;
 - таймеры, управляемые компаратором для измерения резистивных элементов;
 - схема слежения (супервизор) за напряжением питания;
- 16-разрядное RISC CPU, :
 - большой регистровый файл,;
 - компактное ядро имеет пониженное энергопотребление и стоимость;
 - оптимизация для языков высокого уровня программирования;
 - набор команд состоит из 27 инструкций,
 - семь режимов адресации;
 - расширенные возможности векторных прерываний;

Возможность внутрисхемного программирования Flash-памяти позволяет гибко изменять и обновлять программный код, производить регистрацию данных.

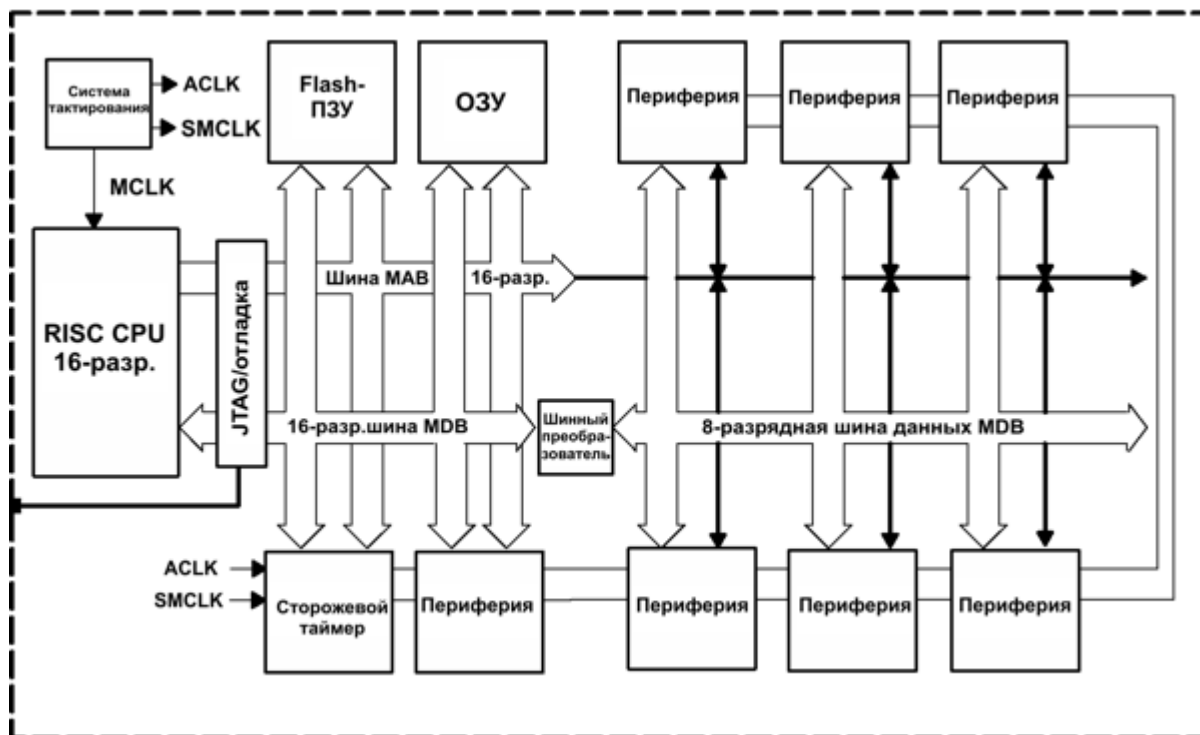


Рисунок 3.1 - Архитектура MSP430

Архитектура MSP430F1491

Микропроцессоры с архитектурой RISC (Reduced Instruction Set Computers) используют сравнительно небольшой (сокращённый) набор наиболее употребимых команд, определённый в результате статистического анализа большого числа программ для основных областей применения CISC - процессоров исходной архитектуры. Все команды работают с операндами и имеют одинаковый формат. Обращение к памяти выполняется с помощью специальных команд загрузки регистра и записи. Простота структуры и небольшой набор команд позволяет реализовать полностью их аппаратное выполнение и эффективный конвейер при ебольшом объёме оборудования.

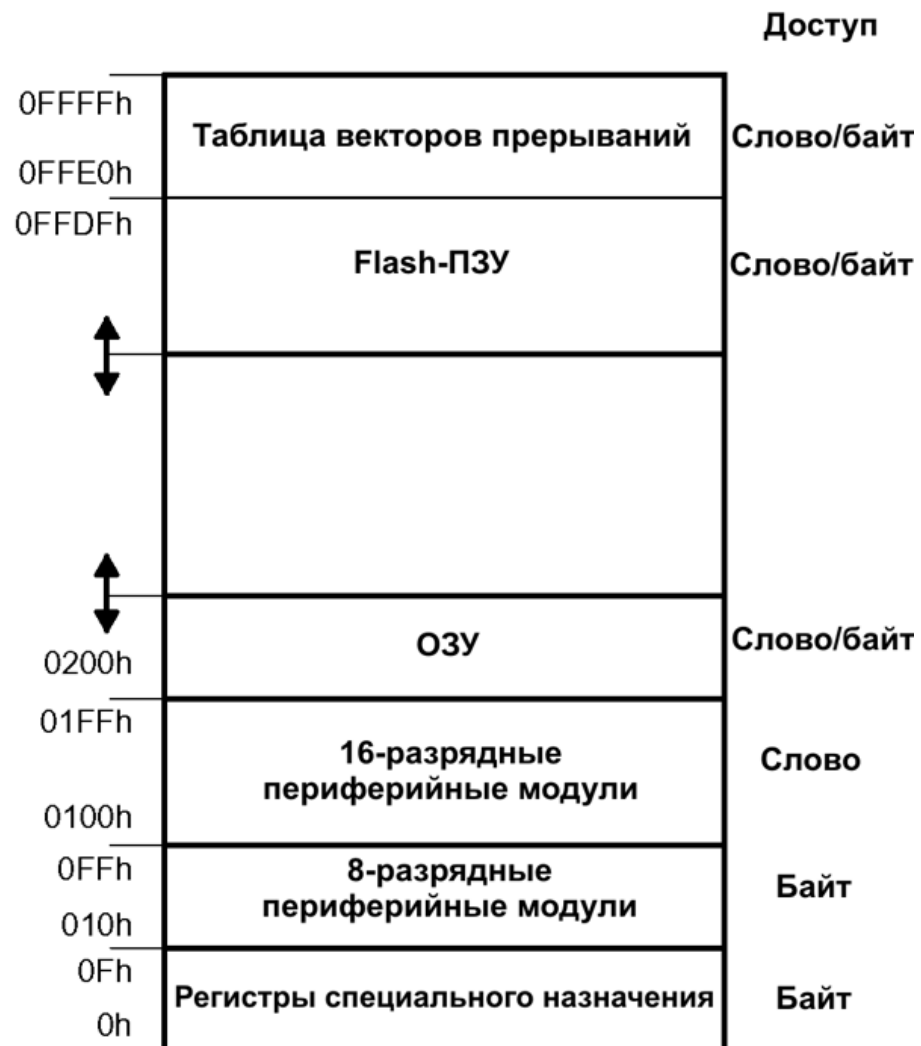


Рисунок 3.2 - Карта памяти

Периферийные модули

Периферийные модули отображены в адресном пространстве. Адреса с 0100 до 01FFh зарезервированы для 16-разрядных периферийных модулей. Они будут доступны с помощью команд-слов. Если используются однобайтные команды, допустимы только четные адреса, при этом старший байт результата всегда будет содержать «0».

Адресное пространство с 010h по 0FFh зарезервировано для 8-разрядных периферийных модулей. Эти модули доступны с помощью однобайтных команд. Чтение байтов модулей с помощью команд-слов приведет к появлению в старшем байте непредсказуемого содержимого. Если в байт модуля будут записываться данные в виде слова, то в регистре периферийного модуля сохранится только младший байт этого слова, старший будет проигнорирован.

Организация памяти

Байты расположены в четных или нечетных адресах. Слова располагаются только в четных адресах, как показано на рис.3.3. При работе с командами-словами должны использоваться только четные адреса. Младший байт слова всегда расположен по четному адресу. Старший байт – в следующем нечетном адресе. Например, если слово данных расположено по адресу xxx4h, то младший байт слова данных будет иметь адрес xxx4h, а старший байт слова адрес xxx5h.

.



Рисунок 3.3 - Биты, байты и слова в памяти, организованной побайтно

3.2. Выбор устройства отображения информации

В качестве отображающего устройства используется матрица 8х64 шт состоящая из светодиодов DE4SRD фирмы Kingbright Electronic Co. Ltd. размером 15х15мм. Параметры светодиода приведены в табл. 3.1

Таблица 3.1 -Параметры матрицы светодиодов DE4SRD

Наименование параметров, единицы измерения	Значение
Материал	GaAsP
Цвет свечения	Красный
Длина волны, нм	640
Минимальная сила света I_v мин, мКд	100
Типовая сила света I_v макс, мКд	300
При токе $I_{пр}$, мА	20
Видимый телесный угол/2, град	120
Цвет линзы	Красный матовый
Размер линзы, мм х мм	15х15;
Количество сегментов, шт	1
Максимальное прямое напряжение, В	2,5
Максимальное обратное напряжение, В	5
Максимальный прямой ток, мА	30
Максимальный импульсный прямой ток, мА	155
Рабочая температура, °С	– 40...+85

4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ТАБЛО

4.1 Разработка принципиальной схемы устройства

Типовым конструктивным решением, использующим микроконтроллеры является организация монтажа на одной печатной плате самого контроллера, схем тактирования синхронизации и питания, а также внешних интерфейсов.

Несмотря на большое разнообразие стандартных блоков питания, организация электропитания не входит в типовой состав аппаратурных средств МК-систем, поскольку зависит от конкретных применений устройства. Поэтому необходима разработка специального блока питания. Согласно ТЗ и рассмотренным выше требованиям при организации электропитания необходимо предусмотреть фильтрацию электропитания и заземление корпуса. Почти все промышленные схемы источников электропитания содержат так называемые фильтры электромагнитной совместимости, устанавливаемые на входе источника. Действующие российские и зарубежные стандарты нормируют уровни помех в сетевом напряжении [4]. На рис 4.1 показана схема блока питания содержащая сетевой фильтр и источники напряжения для структурных блоков устройства.

Сетевой фильтр содержит входную емкость $C1$, емкостной делитель на конденсаторах $C2$, $C3$ и первичную обмотку согласующего трансформатора. Средняя точка конденсаторного делителя $C2$, $C3$ подключается не к общему проводу схемы, а к шасси прибора. Наличие этого делителя связано с существованием двух видов радиопомех (синфазных и дифференциальных) [19]. Питание микроконтроллера осуществляется от отдельного стабилизированного источника и включает в себя выпрямитель $VD1 - VD4$ и выходной емкости $C4$ и стабилизатор напряжения на транзисторе $VT1$, резисторе $R1$ и стабилитроне $VD9$.

Согласно ТЗ требуется обеспечение 4 градаций света информационного табло. Таким образом, требуется ступенчатая регулировка напряжения на светодиодах. Питание светодиодов осуществляется от отдельного источника напряжения, включающего в себя четыре вывода вторичной обмотки трансформатора, выпрямитель $VD5-VD8$, выходную емкость $C5$. Напряжение, подаваемое на светодиоды информационного табло, регулируется переключателем $SA1$.

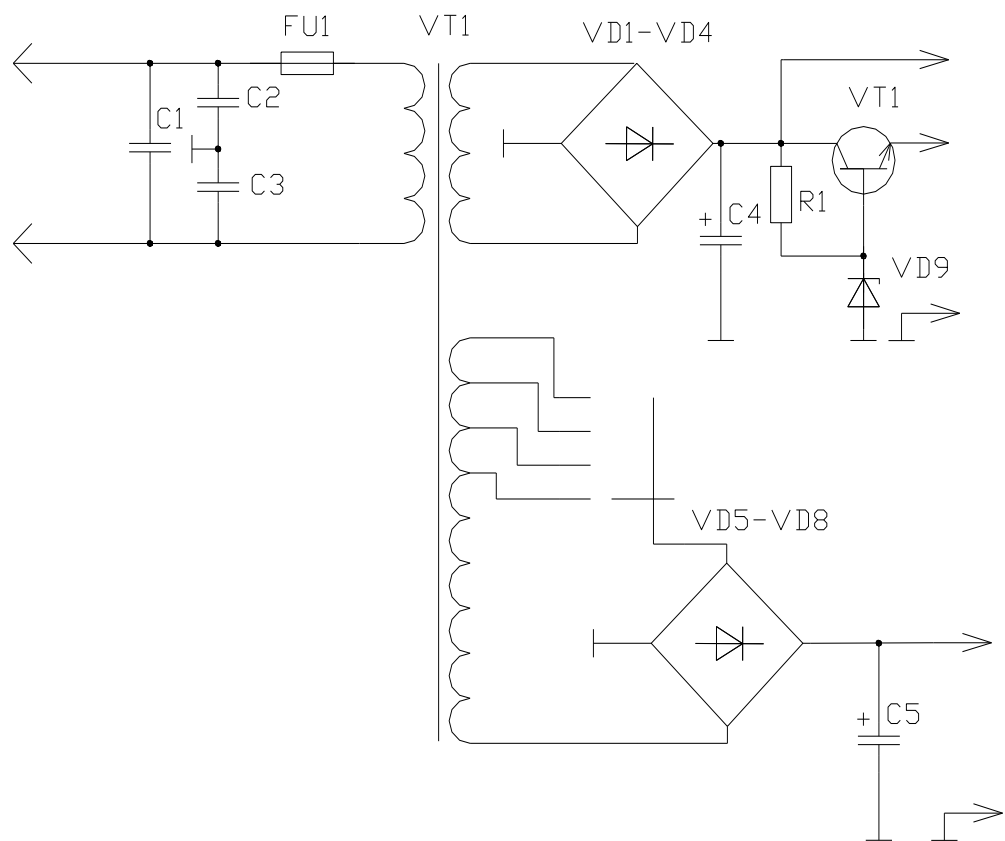


Рисунок 4.1 - Сетевой фильтр и блок питания

В связи с тем, что согласно ТЗ информационное табло получает выводимую информацию от персонального компьютера через 9 выводной (9 pin) COM-порт последовательного интерфейса RS232, то требуется согласование уровней сигналов RS232 и микроконтроллера. Поэтому из типовых аппаратных средств для МК устройства выбрали микросхему типа ST3232 предназначенную специально для этих целей [21]. Схема включения данной микросхемы показана на рис 4.2

В качестве управляющего микроконтроллера выбран микроконтроллер MSP430F1491. На рис.4.3 показана схема подключения МК. Синхронизация МК осуществляется за счет встроенного генератора. Для возбуждения генерации используется кварцевый резонатор ZQ1 и сдвигающие фазу (для генерации) конденсаторы, выводы с кварцевого резонатора подключаются к выводу 8 (X IN) и выводу 9 (X OUT). Цепь сброса выполняется на резисторе R1 и конденсаторе C1, общая точка соединения которых подключается к выводу 58 (RST). Набор команд МК MSP430F1491, состоит из 27 инструкций, и поддерживает семь режимов адресации.

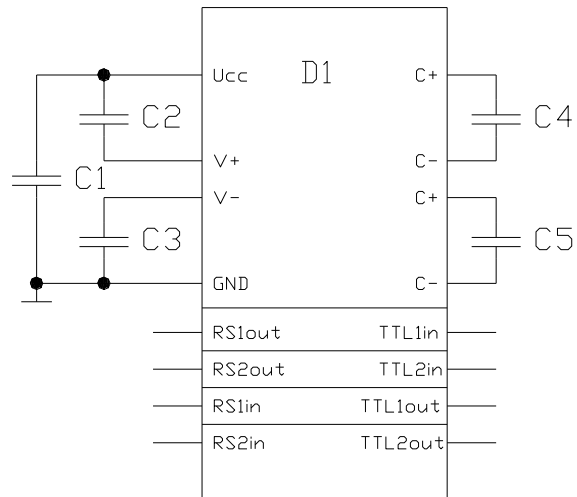


Рисунок 4.2 - Схема включения микросхемы ST3232

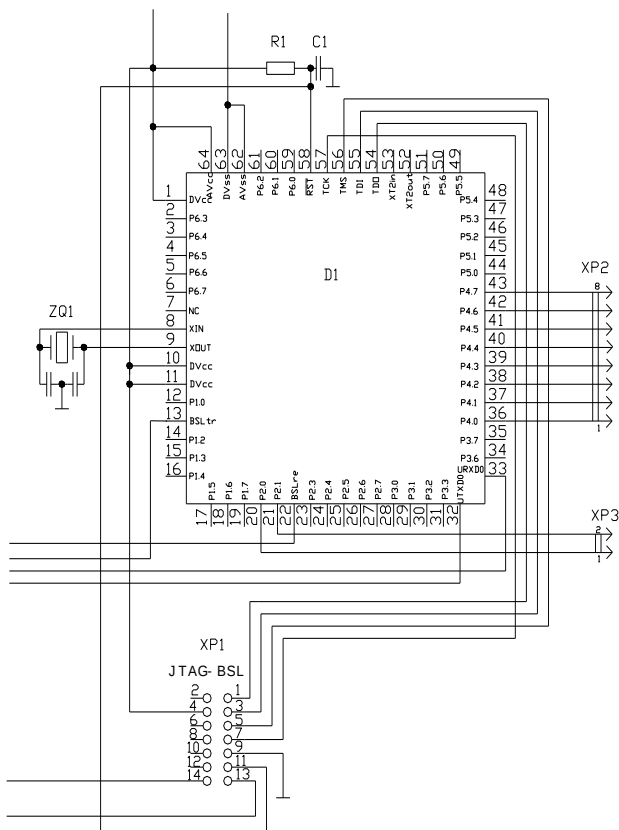


Рисунок 4.3 - Схема соединения микроконтроллера с JTAGом

Встроенная логическая подсистема эмуляции находится непосредственно в устройстве и доступна через JTAG (рис. 4.3) без использования дополнительных системных ресурсов.

Для отображения символов будем использовать табло индикации, показанное на рис 4.4, которое состоит из ярких светодиодов DE4SRD красного цвета фирмы Kingbrght.

Согласно рассмотренным выше требованиям в данном устройстве будет использовать способ динамической индикации, описанный в гл.1. При данном способе отображаемая на дисплее информация представляется неизменной для человеческого глаза, при условии ее обновления с частотой примерно 18 - 20 раз в секунду. При такой индикации байт индикации последовательно выводится на строки индикатора, а выбор столбца осуществляется байтом выборки, представляющим собой "бегущий нуль". Для его формирования используется внешний последовательный регистр сдвига – микросхему KP1533ИР24.

Эта микросхема является универсальным восьмиразрядным сдвиговым регистром с выходами, имеющими третье состояние и может применяться в качестве буфера для временного хранения данных, для преобразования параллельного кода в последовательный и наоборот, а также для задержки цифрового кода.

Микросхема имеет 4 режима работы: блокировка, сдвиги вправо (от D1 к D8) и влево (от D8 к D1), параллельная загрузка.

Синхронная параллельная загрузка осуществляется путём установки напряжения высокого уровня на управляющие входы SO, SI. На параллельные входы -выходы, поступает восьмиразрядное слово, которая по положительному фронту на тактовом входе, заносится регистр.

Сдвиг вправо осуществляется синхронно с приходом положительного фронта тактового импульса на С при установке на SO высокого, а на S1 низкого уровней. В этом режиме данные последовательно считываются со входа SR.

Сдвиг влево осуществляется синхронно с приходом положительного фронта тактового импульса на С при установке на S1 высокого, а на SO низкого уровней. В этом режиме данные последовательно считываются со входа SL.

Режим блокировки реализуется при подачи на оба управляющих входа SO, SI напряжения низкого уровня.

Сброс выходов в состояние низкого уровня происходит асинхронно при подаче нуля на R. Напряжение высокого уровня на любом из входов EZ1, EZ2 переводит входы-выходы в состояние высокого импеданса, но не оказывает при этом влияния на режимы работы регистра.

Данную микросхему будем использовать при сдвиге влево. Схема приведена на рисунке рис 4.4. На транзисторах VT1-VT72 выполнен набор ключей, коммутирующих колонки светодиодов.

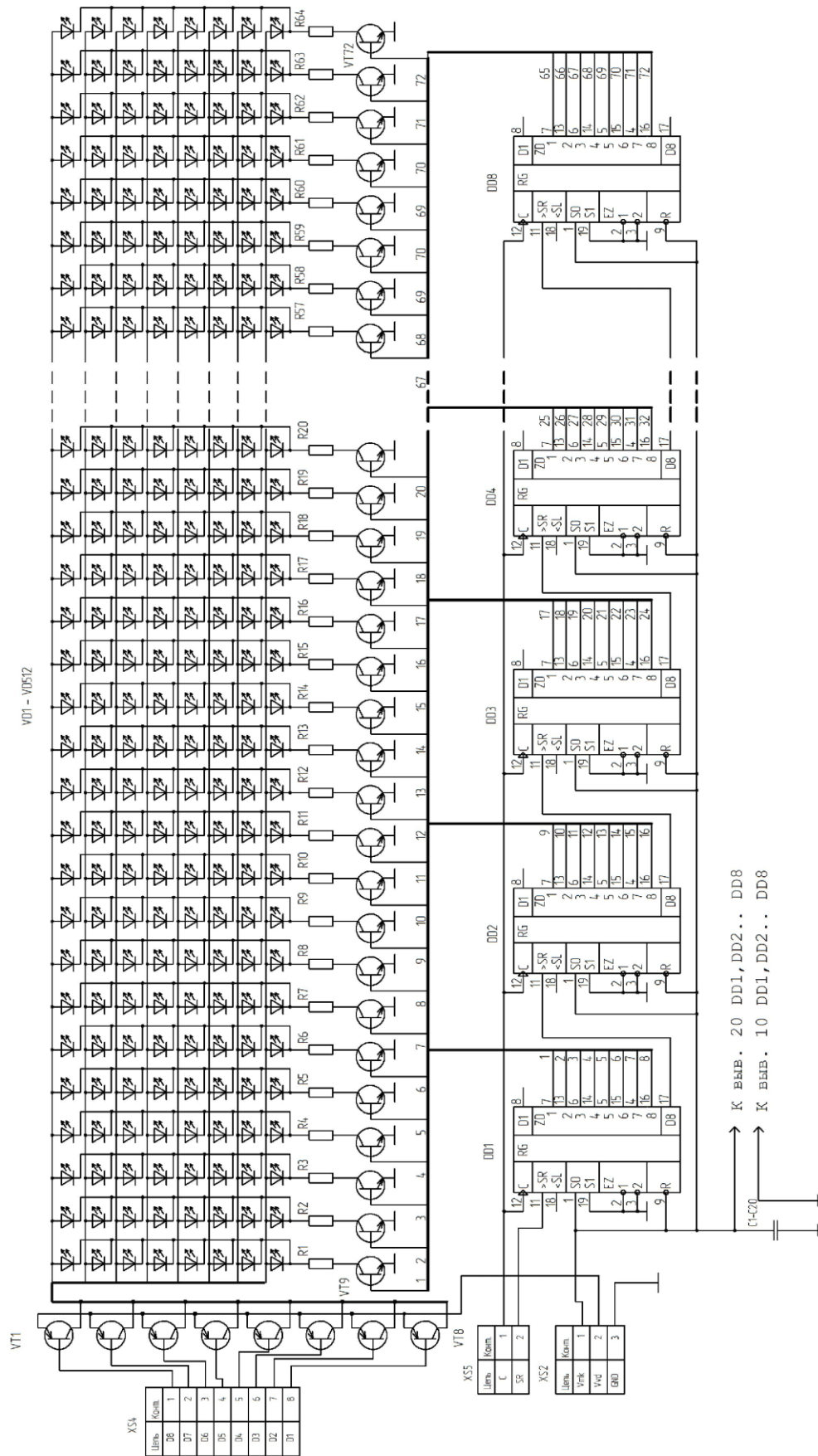


Рисунок 4.4 - Схема управления светодиодной матрицей

4.2 Расчет параметров элементов схемы

Схема электрическая принципиальная цифрового автомата световых эффектов приведена на рис. 4.5 и рис. 4.6.

Светодиодное табло работает в динамическом режиме. Согласно рассмотренным выше требованиям частота обновления информации должна составлять 18 – 20 Гц. Для снижения мерцания табло будем обновлять информацию 20 раз в секунду.

Число знакомест дисплея (количество светодиодов) составит:

$$N = m \cdot n \cdot l = 8 \cdot 8 \cdot 8 = 512, \quad (4.1)$$

где m - число колонок матрицы светодиодов, приняли равным 8 согласно ТЗ

n - число строк матрицы светодиодов, приняли равным 8 согласно ТЗ.

l - число одновременно отображаемых символов, приняли равным 8 согласно ТЗ.

Частота обновления информации для каждого светодиода составит:

$$F = N \cdot f = 512 \cdot 20 = 10240 \text{ Гц} \quad (4.2)$$

где N – число знакомест в табло, приняли равным 512 согласно расчету.

f - частота обновления информации, Гц; приняли равным 20 согласно данным гл.1.

Найдем длительность времени, при котором один светодиод включен, как величину обратную частоте обновления информации найденную по ф-ле (2.1):

$$t = 1/F = 1/10240 = 100 \text{ мкс} \quad (4.3)$$

Согласно данным, приведенным в гл.3 (табл. 3.1) для наибольшей яркости табло максимальное значение импульсного тока должно составлять 155 мА.

Рассчитали значение тока затраченного на переключение светодиода. Поскольку частота переключения имеет значение более 25 кГц, то основное влияние на протекание тока будут оказывать емкостные свойства светодиода. Представляя светодиод эквивалентной емкостной нагрузкой, рассчитали сопротивление светодиода на частоте обновления информации:

$$R_{VD} = \frac{1}{2\pi \cdot F \cdot C_{VD}} = \frac{1}{2\pi \cdot 10240 \cdot 45 \cdot 10^{-12}} = 345 \text{ кОм}, \quad (4.4)$$

где C_{VD} – емкость светодиода, приняли равным 45пФ согласно табл.3.1;

F – частота обновления информации для одного светодиода, приняли равным 10240Гц согласно расчету.

Тогда ток, затраченный на переключение одного светодиода составит:

$$I_{\max} = \frac{U_1}{R_{VD}} = \frac{2.3}{345 \cdot 10^3} = 6,65 \text{ мкА}, \quad (4.5)$$

где U_1 – прямое напряжение на светодиодах, приняли равным 2,3В согласно табл.

Ток на переключение всех светодиодов матрицы:

$$I_P = N \cdot I_{\max} = 6,65 \cdot 10^{-6} \cdot 512 = 0,145 \text{ мА}, \quad (4.5)$$

Значение тока на переключение всех светодиодов матрицы меньше максимального импульсного тока, однако для обеспечения надежности третья обмотка должна обеспечивать ток превышающий паспортное значение матрицы светодиодов. Примем ток второй обмотки равным 200 мА, ток третьей обмотки с обеспечением двойного запаса по току 400 мА. Следовательно, общий ток потребления вторичной обмотки составит 600 мА.

Рассчитали параметры блока питания. На рис.4.5 представлена принципиальная схема цифрового автомата информационного табло, включающая в себя схему блока питания.

Согласно [1] емкость конденсатора С1 должна иметь значение не менее 0,1 мкФ, а емкости С2 и С3 не менее 0,47 мкФ. Из данных приведенных в [1] выбрали:

- конденсатор С1 типа В81141-С1104-К, Х2-0,1 мкФ -440В-10%,
- конденсаторы С2, С3 типа В81133-Д1474-М289, Х2-0,47 мкФ-275В.

Конструктивное исполнение трансформатора согласно данным приведенным в [18, 27] выбираем с тороидальным магнитопроводом. Поскольку в сравнении с броневыми сердечниками из Ш-образных пластин они имеют меньший вес и габариты, а также отличаются лучшими условиями охлаждения обмотки и повышенным к. п. д. Кроме того, при равномерном распределении обмоток по периметру сердечника практически отсутствует доля рассеяния и в большинстве случаев отпадает необходимость в экранировании трансформатора.

Параметры для расчета [27] приведены в таблице 4.2. В таблице приведены данные для расчета трансформаторов на сердечниках из холоднокатаной стали Э310, Э320, Э330 с толщиной ленты 0,35—0,5 мм и стали Э340, Э350; Э360 с толщиной ленты 0,05—0,1 мм при частоте питающей сети 50 Гц.

Таблица 4.2 - Параметры для расчеты трансформаторов

$P_T, \text{ Вт}$	ω_1	ω_2	$S, \text{ см}^2$	$\Delta, \text{ а/мм}^2$	$\eta, \%$
до 10	$\frac{41}{S}$	$\frac{38}{S}$	$\sqrt{P_T}$	4,5	0,8
10-30	$\frac{36}{S}$	$\frac{32}{S}$	$\frac{\sqrt{P_T}}{1,1}$	4	0,9
30-50	$\frac{33,3}{S}$	$\frac{29}{S}$	$\frac{\sqrt{P_T}}{1,2}$	3,5	0,92
50-120	$\frac{32}{S}$	$\frac{28}{S}$	$\frac{\sqrt{P_T}}{1,25}$	3	0,95

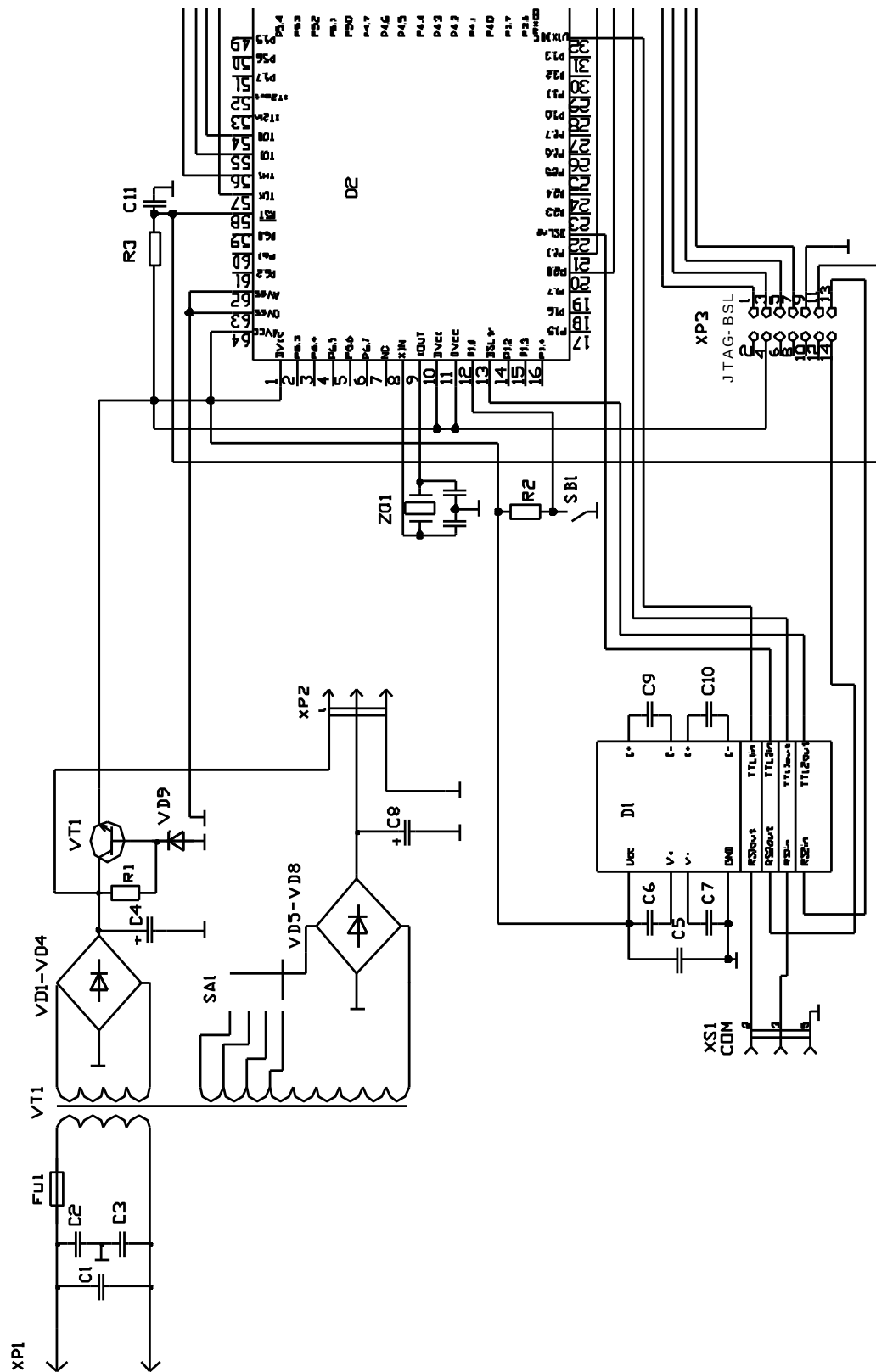


Рисунок 4.5 - Схема электрическая принципиальная цифрового автомата световых эффектов (система управления)

Конструктивное исполнение трансформатора согласно данным приведенным в [18, 27] выбираем с тороидальным магнитопроводом. Поскольку в сравнении с броневыми сердечниками из Ш-образных пластин они имеют меньший вес и габариты, а также отличаются лучшими условиями охлаждения обмотки и повышенным к. п. д. Кроме того, при равномерном распределении обмоток по периметру сердечника практически отсутствует доле рассеяния и в большинстве случаев отпадает необходимость в экранировании трансформатора.

Параметры для расчета [27] приведены в таблице 4.2. В таблице приведены данные для расчета трансформаторов на сердечниках из холоднокатаной стали Э310, Э320, Э330 с толщиной ленты 0,35—0,5 мм и стали Э340, Э350; Э360 с толщиной ленты 0,05—0,1 мм при частоте питающей сети 50 Гц.

Таблица 4.2

Параметры для расчеты трансформаторов

P_T , Вт	ω_1	ω_2	S , см ²	Δ , а/мм ²	η , %
до 10	$\frac{41}{S}$	$\frac{38}{S}$	$\sqrt{P_T}$	4,5	0,8
10-30	$\frac{36}{S}$	$\frac{32}{S}$	$\frac{\sqrt{P_T}}{1,1}$	4	0,9
30-50	$\frac{33,3}{S}$	$\frac{29}{S}$	$\frac{\sqrt{P_T}}{1,2}$	3,5	0,92
50-120	$\frac{32}{S}$	$\frac{28}{S}$	$\frac{\sqrt{P_T}}{1,25}$	3	0,95

Рассчитали мощность второй и третьей обмоток по ф-лам (4.6) и (4.7):

$$P_2 = U_2 I_2 = 4,6 \cdot 0,2 = 0,92 \text{ Вт} \quad (4.6)$$

где U_2 – напряжение второй обмотки, приняли равным 4,6В с учетом падений напряжений на диодах VD1-VD4 и транзисторе VT1,

I_2 – ток через вторую обмотку, приняли равным 0,2 А согласно вышеприведенным условиям.

$$P_3 = U_3 I_3 = 6,9 \cdot 0,4 = 2,76 \text{ Вт} \quad (4.7)$$

где U_3 – напряжение третьей обмотки, приняли равным 6,9В с учетом падений напряжений на диодах VD5-VD8 и транзисторах управляющих светодиодами,

I_3 – ток через третью обмотку, приняли равным 0,4 А согласно вышеприведенным условиям.

Суммарная мощность трансформатора:

$$P_C = P_2 + P_3 = 0,92 + 2,76 = 3,68 \text{ Вт} \quad (4.8)$$

где P_2 – мощность второй обмотки, приняли равной 0,9 Вт согласно расчету;

P_3 – мощность третьей обмотки, приняли равной 2,76 Вт согласно расчету.

Определили габаритную мощность трансформатора:

$$P_T = P_C / \eta = 3,68 / 0,8 = 4,6 \text{ Вт} \quad (4.9)$$

где η – минимальное типовое значение к.п.д. трансформатора, приняли равным 0,8 из табл. 4.2.

Поскольку габаритная мощность имеет значение менее 10 Вт, то площадь сечения сердечника определим по формуле приведенной в табл. 4.2:

$$S_C = \sqrt{P_T} = \sqrt{4,6} = 2,14 \text{ см}^2 \quad (4.10)$$

Ближайший стандартный тип сердечника - ОЛ50/80-20, площадь сечения которого равна $S = 3 \text{ см}^2$ (не менее расчетной). Определили размеры сердечника: внешнего диаметра D_c , внутреннего диаметра d_c и высоты h_c .

При определении внутреннего диаметра сердечника должно быть выполняться следующие условие: значение внутреннего диаметра d_c должно быть больше или равно расчетного значения внутреннего диаметра d_c' определяемого по формуле:

$$d_c' = \sqrt{2,4 \cdot S_C} = \sqrt{2,4 \cdot 3} = 2,68 \text{ см} \quad (4.12)$$

Типовое значение больше расчетного значения, т.е. $d_c \geq d_c'$ условие выполняется.

Выбрали материал сердечника из стали типа Э320, тогда число витков на вольт определяют по формуле:

$$\omega_1 = 41/S = 41/3 = 13,667 \text{ витков на вольт} \quad (4.13)$$

Расчетные числа витков всех обмоток:

$$W_{1-1} = \omega_1 \cdot U_C = 13,667 \cdot 220 = 3007 \text{ витка} \quad (4.14)$$

$$W_{2-1} = \omega_1 \cdot U_2 = 13,667 \cdot 4,6 = 63 \text{ витка} \quad (4.15)$$

$$W_{3-1} = \omega_1 \cdot U_{3-1} = 13,667 \cdot 6,88 = 94 \text{ витка} \quad (4.16)$$

$$W_{3-2} = \omega_1 \cdot U_{3-2} = 13,667 \cdot 6,08 = 83 \text{ витка} \quad (4.17)$$

$$W_{3-3} = \omega_1 \cdot U_{3-3} = 13,667 \cdot 5,28 = 72 \text{ витка} \quad (4.18)$$

$$W_{3-4} = \omega_1 \cdot U_{3-4} = 13,667 \cdot 4,48 = 62 \text{ витка} \quad (4.19)$$

Вторичная обмотка W_{3-X} наматывается поверх первичной, отводы делаются через рассчитанные число витков по формулам 4.14-4.19.

Так как в тороидальных трансформаторах магнитный поток рассеяния весьма мал, то падение напряжения в обмотках определяется практически лишь их активным сопротивлением, вследствие чего относительная величина падения напряжения в обмотках тороидального трансформатора значительно меньше, чем в трансформаторах стержневого и броневые типов. Поэтому для компенсации потерь на сопротивлении вторичной обмотки необходимо увеличить количество ее витков лишь на 3%.

Рассчитали уточненное количество витков:

$$W_{1-1} = 3007 \cdot 1,03 = 3097 \text{ витка} \quad (4.20)$$

$$W_{2-1} = 63 \cdot 1,03 = 65 \text{ витка} \quad (4.21)$$

$$W_{3-1} = 94 \cdot 1,03 = 97 \text{ витка} \quad (4.22)$$

$$W_{3-2} = 83 \cdot 1,03 = 86 \text{ витка} \quad (4.23)$$

$$W_{3-3} = 72 \cdot 1,03 = 74 \text{ витка} \quad (4.24)$$

$$W_{3-4} = 62 \cdot 1,03 = 64 \text{ витка} \quad (4.25)$$

Определили ток первичной обмотки трансформатора:

$$I_1 = 1,1 \cdot (P_T / U_C) = 1,1 \cdot (4,6 / 220) = 0,023 \text{ А} \quad (4.26)$$

Определили диаметры проводов обмоток:

$$d_1 = 1,13 \cdot \sqrt{(I_1 / \Delta)} = 1,13 \cdot \sqrt{(0,023 / 4,5)} = 0,08 \text{ мм} \quad (4.27)$$

где I_1 - ток первичной обмотки трансформатора, приняли равным 0,23 А согласно расчету;

Δ - плотность тока, приняли равным 4,5 А/мм² из табл. 4.2

Выбрали ближайший диаметр провода в сторону увеличения (0,08 мм);

Аналогично рассчитали диаметр провода для второй и третьей обмоток:

$$d_2 = 1,13 \cdot \sqrt{(I_2 / \Delta)} = 1,13 \cdot \sqrt{(0,2 / 4,5)} = 0,238 \text{ мм} \quad (4.28)$$

Выбрал ближайший диаметр провода в сторону увеличения (0,3 мм);

$$d_{3-X} = 1,13 \cdot \sqrt{(I_3 / \Delta)} = 1,13 \cdot \sqrt{(0,4 / 4,5)} = 0,336 \text{ мм} \quad (4.29)$$

Выбрали ближайший диаметр провода в сторону увеличения (0,4 мм);

По справочнику в качестве диодного моста VD1-VD4 выбрали сборку типа КЦ407И [11], диоды в которой собраны по однофазной мостовой схеме. Параметры сборки:

а) максимальный прямой ток $I_{пр макс} = 0,4 \text{ А}$.

б) максимальное обратное напряжение $U_{обр. макс} = 100 \text{ В}$.

На входе стабилизатора значение коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения должно быть меньше 10%.

Определили емкость фильтрового конденсатора по формуле:

$$C_4 = \frac{P_{П2}}{200 \cdot k_n \cdot U_n^2} = \frac{0,92}{200 \cdot 0,05 \cdot 4,6^2} = 4347,82 \text{ мкФ}, \quad (4.30)$$

где $P_{П2}$ — мощность второй обмотки трансформатора, приняли равной 0,92 Вт согласно расчету;

U_n — выходное напряжение второй обмотки трансформатора, приняли равным 4,6 В согласно расчету;

k_n — коэффициент пульсаций напряжения, приняли равным 5% согласно требованиям.

По справочнику [23] выбрали конденсатор С4 типа К50-25-4700мкФ-16В±10 %.

В качестве транзистора VT1 из справочника [11] выбрали транзистор типа КТ602БМ, обладающий следующими характеристиками:

- а) коэффициент передачи тока $h_{21э}=50...220$;
- б) постоянная рассеиваемая мощность (без теплоотвода) $P_{рас}=2,8$ Вт;
- в) максимальное напряжение $U_{бэ}=5$ В.

Рассчитали ток базы транзистора VT1:

$$I_{б} = \frac{I_{к}}{h_{21э}} = \frac{150 \cdot 10^{-3}}{200} = 0,75 \text{ мА} \quad (4.31)$$

где $I_{к}$ – ток через коллектор транзистора, приняли равным 150 мА согласно данным [11].

$h_{21э}$ - Коэффициент передачи тока, приняли 200 равным согласно данным [11]

Мощность рассеиваемая на транзисторе составляет:

$$P = U_{КЭ} \cdot I_{к} = 1,4 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 0,21 \text{ Вт}, \quad (4.32)$$

В качестве стабилитрона VD9 по справочнику [11] выбрали стабилитрон 2С133Д1, со следующими параметрами:

- а) напряжение стабилизации $U_{см}=3,3$ В.
- б) ток стабилизации $I_{см}=0,35$ мА.
- в) рассеиваемая мощность $P_{рас}=0,05$ Вт.

Рассчитали значение сопротивления резистора R1:

$$R1 = \frac{U_{к} - U_{см}}{I_{см} + I_{б}} = \frac{5 - 3,3}{(0,35 + 0,75) \cdot 10^{-3}} = 1545,45 \text{ Ом}, \quad (4.33)$$

где $U_{к}$ - напряжение на коллекторе транзистора, приняли равным 5В согласно требованиям на МК;

$I_{б}$ - ток базы транзистора VT1, приняли равным 0,75 мА согласно расчету по ф-ле (4.31);

$U_{см}$ - напряжение на стабилитроне, приняли равным 3,3 В согласно данным [11];

$I_{см}$ - ток стабилизации стабилитрона, приняли равным 0,35 мА согласно данным [11].

Из стандартного ряда значений выбрали значение сопротивления 1500 Ом и рассчитали мощность рассеяния резистора:

$$P_{рас} = I_{R1}^2 \cdot R1 = (1,1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1500 = 0,001815 \text{ Вт}.$$

По справочнику [13] выбрали резистор R1 типа МЛТ-0,125-1500Ом±5%.

Определили емкость фильтрового конденсатора С8 по формуле:

$$C_8 = \frac{P_{ПЗ}}{200 \cdot k_n \cdot U_n^2} = \frac{2,76}{200 \cdot 0,07 \cdot 6,9^2} = 4140,78 \text{ мкФ}, \quad (4.34)$$

где $P_{л2}$ — мощность второй обмотки трансформатора, приняли равной 0,92Вт согласно расчету;

U_n – выходное напряжение второй обмотки трансформатора, приняли равным 4,6 В согласно расчету;

k_n — коэффициент пульсаций напряжения, приняли равным 7% согласно требованиям.

По справочнику [23] выбрали конденсатор С4 типа К50-25-4700мкФ-16В±10%.

В качестве диодного моста VD6-VD9 по справочнику [11] выбрали диодную сборку типа КЦ407И, диоды в которой собраны по однофазной мостовой схеме. Параметры сборки приведены выше.

Емкость конденсаторов С5-С7, С9-С11 и сопротивление резистора R3 выбрали в соответствии с технической документацией [25] на внутрисхемный программатор-отладчик. Выбрали:

- конденсаторы типа SMD 0805 0,1мкФ-Х7R-50В-10%.
- резистор типа SMD 0805 100 кОм-5%

Рассчитали параметры элементов системы отображения информационного табло принципиальная электрическая схема, которой приведена на рис.4.3.

Исходя из тока светодиодов и частоты их переключения по справочнику [11] выбрали в качестве транзисторов VT1-VT8 служащих для подключения светодиодов в строках светодиодной матрицы транзисторы типа КТ973Б, а в качестве транзисторов VT9-VT160 служащих для подключения светодиодов в колонках светодиодной матрицы транзисторы типа КТ972Б. Параметры транзисторов приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Параметры транзисторов КТ972Б, КТ973Б

Наименование параметра, ед. измерения	Значение
Минимальный коэффициент усиления h_{21}	500
Предельная частота усиления по току F_z , МГц	200
Время рассасывания T_p , нс	200
Ток коллектора $I_{ко}$, А	4
Предельно допустимое напряжение коллектор-база $U_{кб}$, В	45
Допустимая рассеиваемая мощность (с теплоотводом) P_m , Вт	8

Значение сопротивлений резисторов R1-R160 принимаем равными 33Ом, согласно рекомендациям [25].

Рассчитали мощность рассеиваемую на одном резисторе:

$$P_R = \frac{I_{\max}^2 \cdot R}{k} = \frac{0,155^2 \cdot 33}{160} = 0.005 \text{ Вт,} \quad (4.35)$$

где $I_{\max}$ - максимальный импульсный ток, принимаем равным 155 мА согласно табл. 3.1

R - значение сопротивления резистора, приняли равным 33 Ома согласно [25]

k - количество сопротивлений, приняли равным 160 согласно схеме на рис. 4.6.

Выбрали резисторы R1-R160 типа МЛТ–0,125–33 Ом $\pm 1\%$ [13].

5. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА И ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Информационное табло – представляет собой универсальное информационное устройство для отображения текстовой и цифровой информации. На лицевой панели непосредственно расположено табло отображения информации, а с торца на левой стороне корпуса имеется штекерный разъем для подключения 220V сетевого напряжения. Кроме того, находятся один разъем для соединения с компьютером (COM9), кнопка для изменения скорости, сетевой выключатель и тумблер для переключения яркости свечения светодиодного табло.

Информационное табло устанавливается на стену внутри здания и подключается разъемом к сетевому напряжению ламельному разъему модуля. Все манипуляции можно выполнять при включенном питании прибора, а передачу информации от РС к автомату только при включенном напряжении.

Внешний вид корпуса устройства со стороны лицевой панели показан на рисунке 5.1.

Использование печатной платы уменьшает трудоемкость сборки, обеспечивает повторяемость изделия, возможность механизации и автоматизации процессов проектирования и монтажа. Кроме того, печатный монтаж обеспечивает меньшую трудоемкость настройки и ремонта схемы вследствие нанесения на печатную плату обозначений элементов соответственно принципиальной схемы [6, 7].

Проектирование печатной платы с помощью САПР начинается с ввода описания схемы в графическом (принципиальная схема) или текстовом (перечень связей между компонентами схемы) представлении. Первый вариант позволяет получить в конечном итоге не только чертеж печатной платы и перечень элементов, но и принципиальную схему разрабатываемого изделия. Второй вариант менее трудоемкий и используется, когда необходим лишь чертеж печатной платы. Процесс описания соединений проектируемой печатной платы при достаточном опыте конструктора требует значительно меньше времени, чем рисование схемы.

После задания схемы в любом из видов представления происходит автоматическая упаковка информации об элементах (соединений и конструктивов). После упаковки система предлагает расположить очертания элементов на конструктиве будущей платы. Эту операцию можно производить как вручную, так и автоматически. При оптимальном размещении элементов длина печатных проводников, соединяющих элементы и число переходных отверстий будет минимальна, что дает наиболее технологичный и дешевый вариант печатной пла-

ты. Размещение контактов элементов производится в узлах координатной сетки со стандартным шагом.

По окончании размещения элементов начинается этап формирования разводки связей между элементами на плате (трассировка). Система при автоматической трассировке отыскивает кратчайшие пути соединения, следит за соблюдением норм проектирования, касающихся не только ширины проводников, но и таких параметров, как минимальное число межслойных переходов (металлизированные сквозные отверстия для перехода проводников с одной стороны на другую), минимальная длина печатных проводников и так далее. Для того, чтобы печатная плата удовлетворяла конкретным требованиям разработки необходимо задавать системе стратегию трассировки – перечень требований, используемых при формировании трасс.

После этапа трассировки разработчик может получить от системы полный комплект технической документации, необходимый для изготовления печатной платы. В него кроме основных чертежей входит описание на машинном языке инструкции фотоплоттеру и сверлильному станку с ЧПУ, что необходимо при серийном изготовлении печатных плат.

По конструктивным особенностям печатные платы с жестким и гибким основаниями делятся на односторонние, двусторонние и многослойные. В бакалаврской работе была использована односторонняя печатная плата.

Печатные платы изготовлены из стеклотекстолита марки СФ-25-35Г-2,5 толщиной 2,5 мм и имеет фиксированный размер 1085х210 мм (рис.5.2) и 190х95 мм (рис.5.3).

Плату планируется изготавливать химическим методом (методом травления).

Первая печатная плата (содержащая матрицу светодиодов) имеет большие габариты устанавливаемых компонентов, и шаг координатной сетки выбран равным 2,5 мм. Диаметры отверстий платы аппарата световой индикации – 0,8 мм. Вторая печатная плата (система управления с блоком питания) имеет малые габариты и из-за использования SMD компонентов выбираем шаг координатной сетки равным 0,5 мм. Диаметры отверстий платы блока питания – 0,8 и 1,2 мм. Диаметры крепёжных отверстий платы блока питания – 4 мм. Толщина токоведущих дорожек 0,8мм в узких местах 0,3мм. Минимальное расстояние между дорожками 0,2мм

Форма контактных площадок – круглая, для SMD компонентов прямоугольная в соответствии с печатной платой (рис.5.3).

Плата изготавливаются комбинированным позитивным методом.

Подготовка поверхности заключается в очистке и обезжиривании поверхности механическим или химическим способом.

Экспонирование рисунка схемы производится групповым методом в специальных вакуумных рамах с двусторонней засветкой. Экспонирование производится путём облучения фоторезистивного слоя световым потоком насыщенным ультрафиолетовыми лучами от специальных ламп. Время экспонирования составляет от пяти до десяти минут, в зависимости от используемого оборудования.

Сверление отверстий в плате осуществляется одно- или многошпиндельным станком с программным управлением.

Далее производят металлизацию отверстий.

Для защиты рисунка схемы от травления применяют гальваническое покрытие серебром, палладием или оловом. Нанесение защитного слоя производят в гальванической ванне. Толщина защитного покрытия составляет 10-12 мкм.

После нанесения защитного слоя слой светочувствительной эмульсии удаляется.

Далее следует операция травления, которая производится в травящих растворах хлорного железа или других веществ.

После травления плата отмывается от остатков травящего раствора и производится операция осветления серебра.

После этого плата проходит окончательную доработку, которая включает в себя механическую доработку и вскрытие отверстий не подлежащих металлизации. Далее наносят маркировку.

Платы проходят 100%-ный визуальный контроль и выборочный контроль электрических параметров.

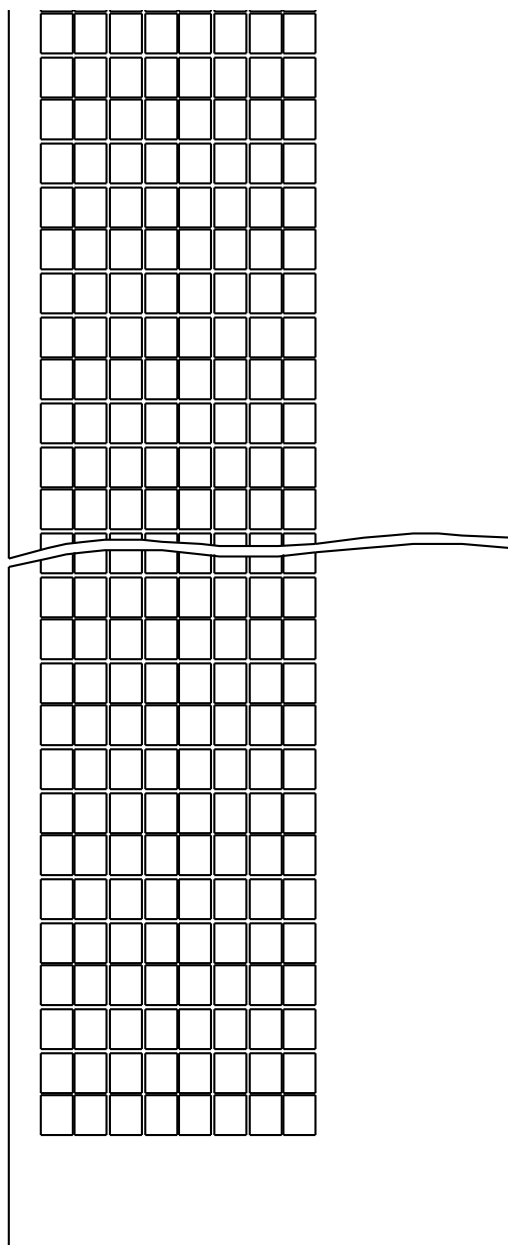


Рисунок 5.1 - Внешний вид корпуса устройства

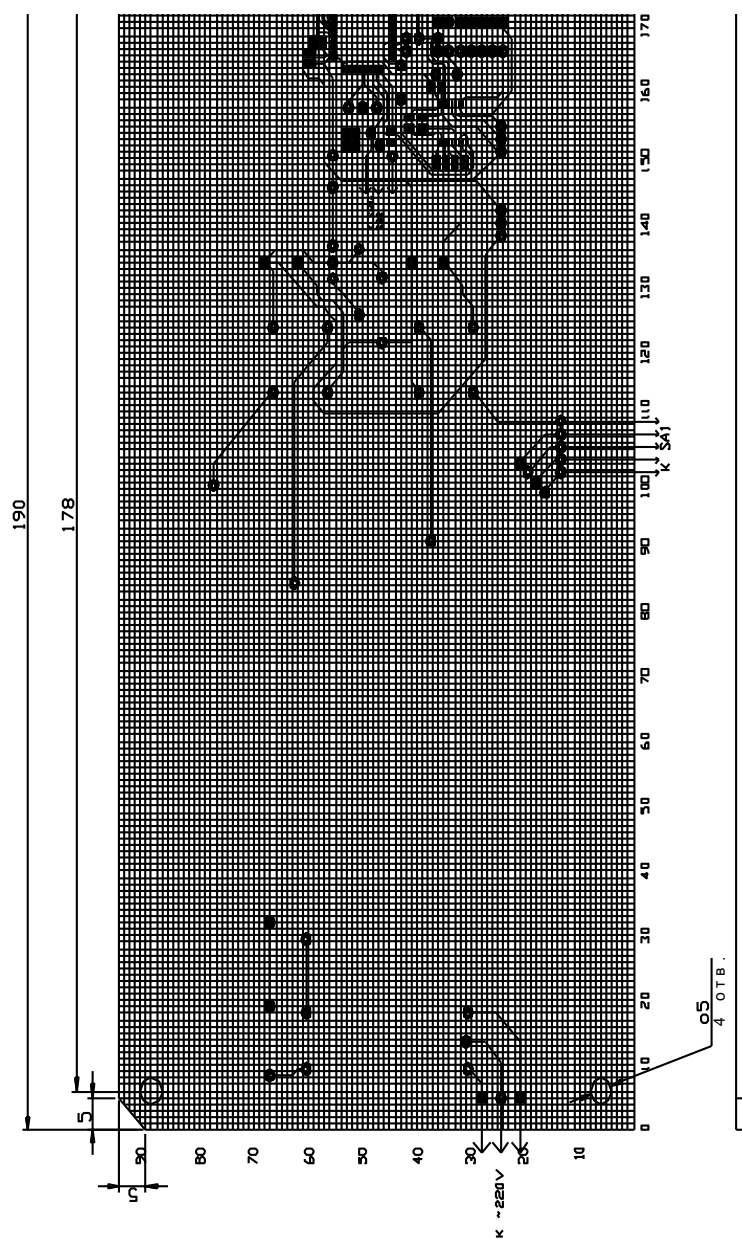


Рисунок 5.2 - Печатная плата системы управления

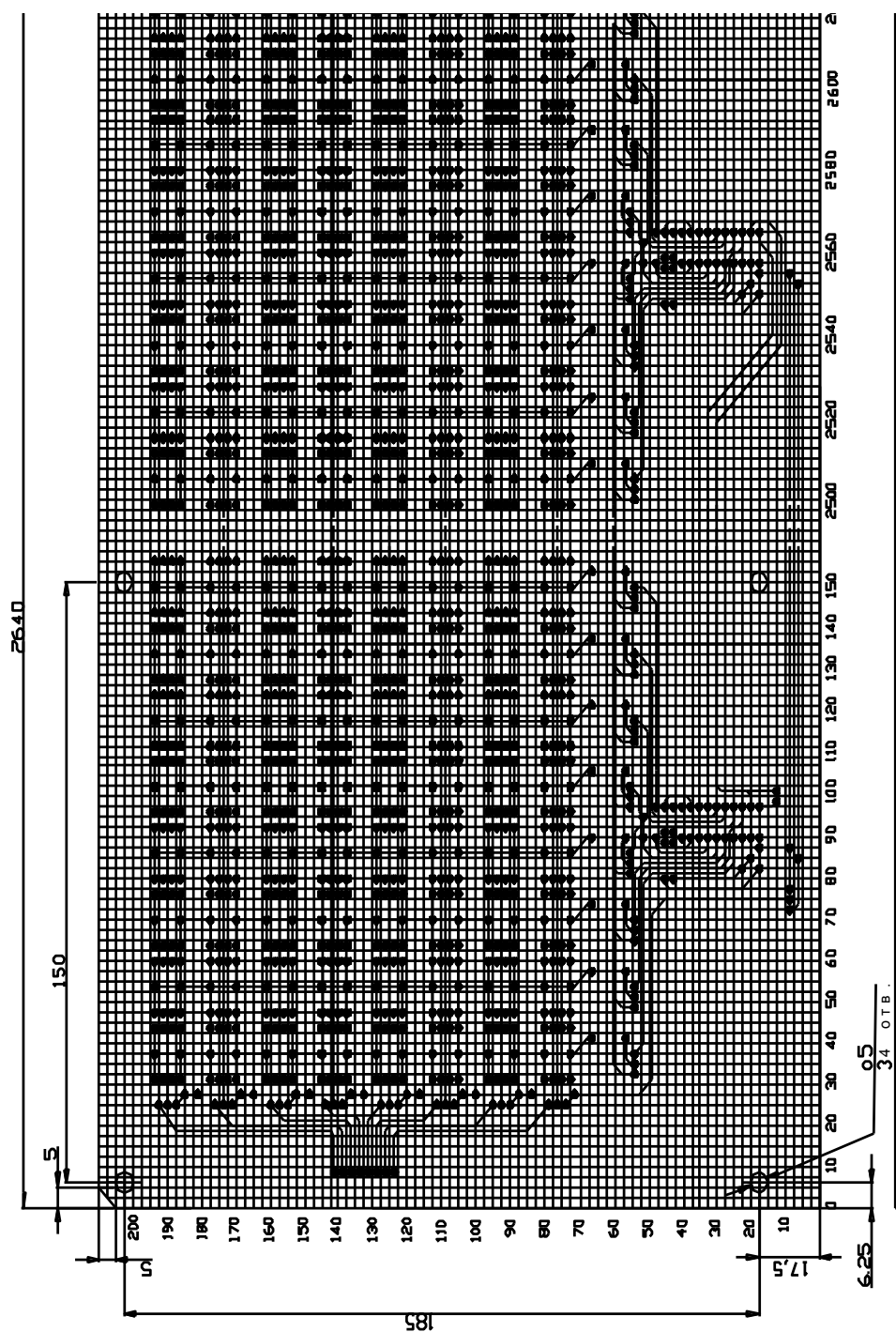


Рисунок 5.3 - Печатная плата силовой части устройства

6. Экономическая часть

В экономической части проведем расчет затрат на основные материалы и комплектующие для создания информационного табло.

Затраты на основные материалы представлено в табл.6.1.

Таблица 6.1 - Затраты на основные материалы

Наименование	Марка, размер	ГОСТ или ТУ	Норма расходов	Цена, руб.	Стоимость S_m , руб
Провод монтажный	МБГ 0,5 мм ²	ТВУ680-97	3м	5	15
Припой	ПОС 61	19743-87	0,2 кг	180	90
Рейсфедер			1 шт.	5	5
<i>Флюс</i>	ФКЭт		5мл	15	75
Итого:					185

Полная стоимость покупных комплектующих изделий сведена в табл.6.2.

Таблица 6.2 - Стоимость покупных комплектующих изделий

Наименование изделия	Тип, марка	ГОСТ, ТУ	Кол-во, шт	Цена за 1 шт., руб.	Стоимость всего S_i , руб.
Резисторы	МЛТ-0.25-10Ом±5%		64	0,5	32
	МЛТ-0.125-30кОм±5%		1	0,5	0,5
	МЛТ-0.125-2кОм±5%		1	0,5	0,5
	МЛТ-0.125-270Ом±5%		1	0,5	0,5
Конденсаторы	B81130-C1104-M,100nFx275v	ГОСТ7512-77	1	11	11
	SMD 0805 0,1 mkF X7R 50V 10%		6	1	6
	K10-17-16B-4700мкФ±10%		2	13	26
Диоды	КД226А	ТУ 362.029	14	3	42
	KB-G100SRW		512	12	6144
Транзисторы	КТ972	ТУ 336.182	72	15	1080
	КТ973		8	15	120
Микросхемы	KP1533ИР24	ТУ 342.135	8	25	200
	MSP430F135IPM		1	300	300
	ST3232		1	45	45
Кварц	6МГц		1	15	15

Корпус	DG2400		1	1300	1300
Итого					9322,5

Таблица 6.9 - Результаты расчета затрат на материалы и комплектующие, входящие в состав информационного табло

Наименование статей затрат	Абсолютная величина затрат, руб
Затраты на комплектующие	9322,5
Затраты на основные материалы	185
Итого:	9507,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных расчетов и разработок можно сделать следующие выводы:

1. Разработан цифровой автомат световых эффектов, который удовлетворяет поставленным в ТЗ условиям:

- количество одновременно отображаемых символов – 8;
- устройство отображения – матрица светодиодов;
- размер полного текста – 256 символов;
- возможность загрузки отображаемой информации из ПЭВМ типа IBM PC.

Регулируемые параметры:

- направление движения (влево, вправо);
- яркость свечения отображаемых элементов - 4 градации;
- скорость перемещения текста – 4 градации;
- размер знакоместа – 8х8 элемента;
- питание системы управления – переменное напряжение 220В.

2. Спроектированы печатные платы для разрабатываемого устройства.

3. Выполнен расчет затрат на материалы и комплектующие, входящие в состав светодиодного информационного табло.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксенов А. И., Нефедов А. В. Элементы схем бытовой радиоаппаратуры. Конденсаторы. Резисторы: Справочник.— М.: СОЛОН. 1999г.
2. Безопасность производственных процессов: Справочник / С.В. Белов, В.Н. Бринза, Б.С. Векшин и др.; Под ред. С.В. Белова. – М: Машиностроение, 1985. 448 с.
3. Долин П.А. Электрические защитные средства и предохранительные приспособления: М.: Энергия, 1966.—376 с.: ил.
4. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – М.: Высш. шк. -1991. – 622 с.
5. Жданкин В. Передовые технологии Sharp в изготовлении ЖК-дисплеев для различных применений. «Современная электроника», -2006. -№1, с.14.
6. Жигалов А.Т. и др. Конструирование и технология печатных плат. / Жигалов А.Т., Котов Е.П., Шихаев К.Н., Хохлов Б.А.. Учебн. пособие для радиотехнических специальностей вузов. М., «Высшая школа», 1973. – 216 с.
7. Ильин В.А. Технология изготовления печатных плат: М.: Энергия, 1984.—192 с.: ил.
8. Интегральные микросхемы: Справочник / Б.В. Тарабрин, Л.Ф. Лунин, Ю.Н. Смирнов и др.; Под ред. Б. В. Тарабрина. – 2-е изд., испр. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 528 с., ил.
9. Левочкин Н.И. Инженерные расчеты по охране труда: учебн. пособие. Красноярск, изд-во Краснояр. ун-та, 1987. -152 с.
10. Намитоков К.К. и др. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств/ К.К. Намитоков, Н.А. Ильина, И.Г. Шкловский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.
11. Нефедов А. В., Гордеева В. И. Отечественные полупроводниковые приборы и их зарубежные аналоги: Справочник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1986. — 288 с., ил.
12. Проектирование цифровых устройств на однокристальных микроконтроллерах/ В.В. Сташин, А.В. Урусов, О.Ф. Мологонцева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224с.
13. Резисторы: справочник / Ю. Н. Андреев, А. И. Антонян, Д. М. Иванов и др.; Под ред. И. И. Четверткова. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 352 с.
14. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база/ Масленников М.Ю., Соболев Е.А., Соколов Г.В. и др.; Под ред. Масленникова М.Ю. М.: Радио и связь, 1996.

15. Транзисторы малой мощности: Справочник / Под ред. А. В. Голомедова.- М.: Радио и связь, 1989.
16. Трансформаторы и преобразователи «Электроагрегат». Каталог. – Санкт Петербург.: Электроагрегат, 1999 г. 38 с.
17. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники М.: Мир, 1998 г. 704с.
18. Широков Ю. Оптика для твердотельных источников света // Современная электроника. - 2005, 2006 г. - №6, №1.
19. Электронные приборы и компоненты фирмы Texas Instruments. Справочное пособие (CD-диск).
20. Эраносян С. А. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. — 176 с.: ил.
21. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник /В.П. Берзан, Б.Ю. Геликман, М.Н. Гураевский и др.: Под ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с., ил.
22. <http://www.monitors.narod.ru/pdp-1-4.htm>
23. <http://www.ti.com/sc/docs/MSP430JTAG.zip>
24. <http://un7ppx.narod.ru/info/inform.htm>
25. http://rumine.donbass.com/~us3iat/files/radio/70e/1972/tor_trans.htm