Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

|  |  |
| --- | --- |
| Факультет | компьютерных систем и сетей |
|  |  |
| Кафедра | электронных вычислительных средств |

|  |  |
| --- | --- |
|  | *К защите допустить:* |
|  |  |
|  | Заведующий кафедрой ЭВС |
|  | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И. С. Азаров |

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

на тему

**ЭЛЕКТРОННАЯ КНИГА НА БАЗЕ ESP32**

БГУИР ДП 1-40 02 02 01 001 ПЗ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент |  | С. А. Каленик |
|  |  |  |
| Руководитель |  | М. И. Порхун |
|  |  |  |
| Консультанты: |  |  |
| *от кафедры ЭВС* |  | М. И. Порхун |
|  |  |  |
| *по экономической части* |  | Т. А. Рыковская |
|  |  |  |
| Нормоконтролер |  | … |
|  |  |  |
| Рецензент |  | … |

Минск 2022

**РЕФЕРАТ**

ЭЛЕКТРОННАЯ КНИГА НА БАЗЕ ESP32: дипломный проект / С. А. Каленик. – Минск : БГУИР, 2022, – п.з. – 79 с., чертежей (плакатов) – 6 л. формата А1

CОДЕРЖАНИЕ

[Введение 6](#_Toc101622436)

[1 Обзор аналогичных разработок 7](#_Toc101622437)

[1.1 The Open Book Project 7](#_Toc101622438)

[1.2 ESP32 Based ePub Reader 7](#_Toc101622439)

[1.3 Электронная книга на STM32H750 8](#_Toc101622440)

[2 Анализ технического задания 9](#_Toc101622441)

[3 Разработка структуры системы устройства электронная книга на базе ESP32 11](#_Toc101622442)

[4 Аппартано-Программная реализация системы устройства электронная книга на базе eSP32 15](#_Toc101622443)

[4.1 Разработка алгоритма работы системы устройства электронная книга на базе ESP32 15](#_Toc101622444)

[4.2 Разработка печатного узла электронная книга на базе ESP32 17](#_Toc101622445)

[5 Технико-экономическое обоснование Разработки системы устройства электронная книга на базе ESP32 37](#_Toc101622446)

[6 Анализ результатов Проектирования системы 40](#_Toc101622447)

[Заключение 41](#_Toc101622448)

[Список используемых источников 42](#_Toc101622449)

Введение

Электронная книга – это устройство, использующее экран на электронных чернилах для отображения текста. В отличие от обычных матричных экранов, текст не пропадает при подаче питания, а также не требуется свет для отображения. Благодаря этому уменьшается нагрузка на глаза и читателю приятней использовать электронную книгу, чем, например, телефон. Еще одной отличительной чертой данного типа устройств является низкое энергопотребление, поскольку электричество тратиться лишь на смену текста на экране, в отличие от обычных матричных экранов, в которых включенный экран постоянно потребляет много энергии [[1]](#wikiEreader).

В данном дипломном проекте рассматривается задача реализации электронной книги на базе микроконтроллера ESP32 и E-ink дисплея с сенсорной панелью.

Электронная книга выполняет следующие действия:

– показывает текст книги на экране;

– изменяет страницу в зависимости от того на какую сторону дисплея нажал пользователь;

– визуально отображает номер текущей и последней страницы;

– дает возможность пользователю выбрать необходимую ему книгу из загруженных в памяти книг;

– также присутствует возможность загрузить книгу по средствам telegram бота;

– возможность изменять размер шрифта.

В дипломном проекта приведена структурная схема устройства и её описание, а также обобщённый алгоритм функционирования устройства. Проверка работоспособности устройства выполнена опытным путём.

НУЖНО БООООЛЬШЕ ВОДЫ!!!

# Обзор аналогичных разработок

## The Open Book Project

The Open Book [2] — это совместимая с E-ink экранами плата на базе SAMD51, вдохновленная Adafruit PyBadge [3]. В дополнение к стандартным функциям он поддерживает различные периферийные устройства, предназначенные для создания доступного универсального устройства для чтения текста.

Основные характеристики:

– 4,2-дюймовый дисплей электронной бумаги с возможностью частичного обновления, управляемый по выделенной шине SPI;

– семь кнопок (клавиши направления, кнопка выбора и кнопки перелистывания страниц), доступные через сдвиговый регистр, а также восьмая кнопка сброса, подключенная к контакту прерывания на SAMD51;

– cлот MicroSD на основной шине SPI;

– светодиоды для индикации этапов зарядки;

– флэш-чип емкостью 2 МБ.

Как следует из названия, целью этой платы является создание доступного устройства с открытым исходным кодом для чтения книг. Эти периферийные устройства были выбраны с учетом этого варианта использования (экран для отображения слов; MicroSD для хранения книг для чтения; Flash-чип для хранения системных данных).

## ESP32 Based ePub Reader

Целью этого проекта стала сделать электронную книгу с поддержкой формата ePub на базе существующих аппаратных платформ, таких как EPDiy V6, M5 Epaper и Lilygo EPD [4].

Проект имеет ограниченную поддержку форматирования — CSS-содержимое файла ePub не анализируется, поэтому просто используются стандартные теги HTML, такие как <h1>, <b>, <i>.

Автор включил только 4 стиля шрифта — обычный, полужирный, курсив и полужирный курсив. Шрифты поддерживают только латинские символы и знаки препинания.

Файлы Epub довольно сложно анализировать. Несмотря на расширение файла epub, на самом деле это zip-архивы, содержащие несколько файлов. Чтобы прочитать файл, автор использует zip-библиотеку. Эта библиотека была модифицирована для работы на ESP32 с PSRAM.

## Электронная книга на STM32H750

В данном проекте автор решил с нуля разработать электронную книгу и поставил перед собой следующие задачи [5]:

– необходимо разработать электронную книгу с экраном 8 дюймов;

– поддержка формата FB2;

– считывание файлов с SD-карты;

– поддержка кириллицы;

– низкое энергопотребление;

– навигацию по пунктам меню сделать светодиодами. Имеется в виду, что отображенные на экране списки для выбора (файлы, список действий) будут статичными, и навигация по ним не будет заставлять перерисовывать экран. Выбор производится включением светодиода напротив списка;

– для управления книгой использовать 4 кнопки — «вперед(вверх)», «назад(вниз)», «меню», «функция»;

– различать на кнопках длинное и короткое нажатие. Кнопку «вперед(вверх)» разместить под пальцем левой руки, держащей книгу, чтобы для перехода на следующую страницу не требовалось перехватывать книгу (это я совсем под себя делаю);

– корпус из дерева.

Для создания книги он использовал следующие компоненты:

– экран E-ink — Waveshare 7.5inch E-ink raw display 800×480;

– микроконтроллер STM32H750VBT6;

– энергонезависимое хранилище для запоминания служебной информации. Их два — EEPROM — AT24C02D и FLASH — W25Q64.

МОЖЕТ ЕЩЕ ТЕКСТА В КАЖДЫЙ ПУНКТ?

# Анализ технического задания

В данном дипломном проекте разработана и реализована система для чтения электронных книг на базе микроконтроллера ESP32 и E-ink экран с сенсорной панелью.

Электронная книга обладает следующими функциональными возможностями:

– показывает текст книги на экране;

– изменяет страницу в зависимости от того на какую сторону дисплея нажал пользователь;

– визуально отображает номер текущей и последней страницы;

– дает возможность пользователю выбрать необходимую ему книгу из загруженных в памяти книг;

– также присутствует возможность загрузить книгу по средствам telegram бота;

– возможность изменять размер шрифта.

Для выполнения дипломного проекта потребовалось приобрести следующие электрические компоненты:

– LILYGO T5-4.7 inch E-Paper ESP32;

– LILYGO T5-4.7 inch Capacitive Touch Cover;

– LILYGO T5-4.7 inch T-FH Interface RF Card Expansion Module;

– аккумулятор 18650.

Все вышеперечисленные электрические компоненты были приобретены в соответствии с условиями эксплуатации, которые указаны в техническом задании.

На основании требований ТЗ и пользователя составляется функциональная спецификация. Таблица 2.1 представляет собой функциональную спецификацию, разделенную по категориям: входы, выходы и функции.

Таблица 2.1 – Функциональная спецификация электронная книга

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Входы*** | ***Выходы*** | ***Функции*** |
| Wi-Fi модуль | Wi-Fi модуль | Чтение данных из интернета; прием и посылка сообщений через телеграм бота |
|  | E-ink дисплей | Вывод текста книги и вывод состояния |

Итоговый внешний вид электронной книги получился аккуратным и очень информативным. На рисунке 2.1 приведено изображение внешнего вида электронной книги.

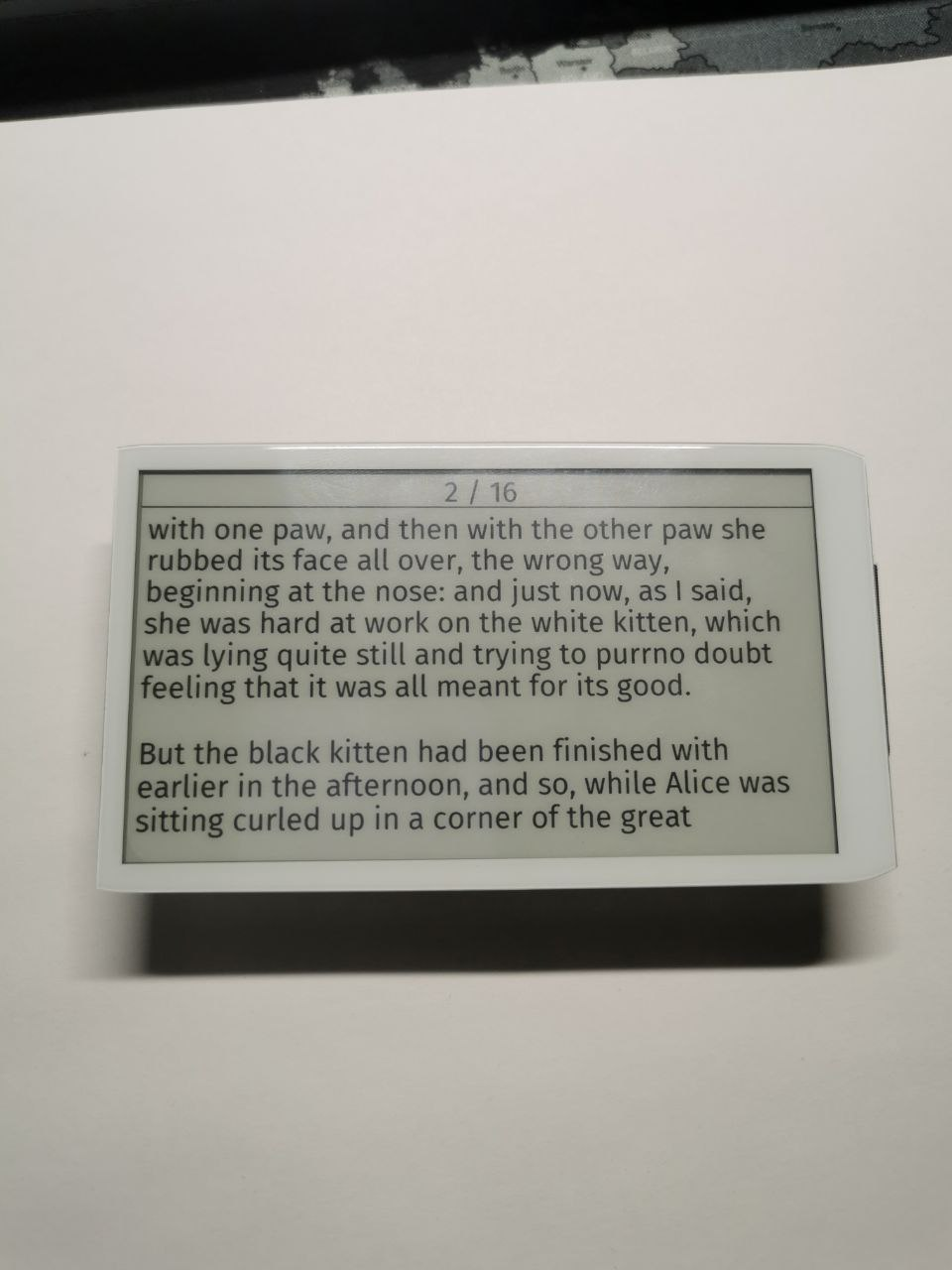


Рисунок 2.1 – Внешний вид электронной книги

# Разработка структуры системы устройства электронная книга на базе ESP32

## Разбиение системы на модули

Определим на основе функциональной спецификации набор модулей, реализующих выполняемые в системе функции.

Определим набор аппаратных модулей:

– процессорный модуль – используется для обработки информации;

– модуль памяти микроконтроллера – используется для хранения памяти программ и данных;

– модули интерфейсов ввода/вывода – используются для связи процессорного модуля с другими модулями системы;

– модули преобразования входного и выходного сигнала – используются для обмена входными и выходными сигналами с внешним окружением;

– модуль внешней памяти – используется для хранения данных пользователя.

На рисунке 3.1 приведена общая модульная структура аппаратных средств электронной книги.

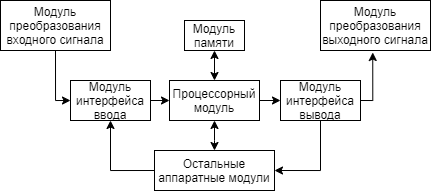


Рисунок 3.1 – Общая модульная структура аппаратных средств микропроцессорной системы

Определим набор программных модулей: исполнительный модуль, модуль задержки, модуль проверки, модуль рисования, интернет модуль, модуль бота, входной модуль и выходной модуль.

На рисунке 3.2 приведена функционально-модульная структура электронной книги.

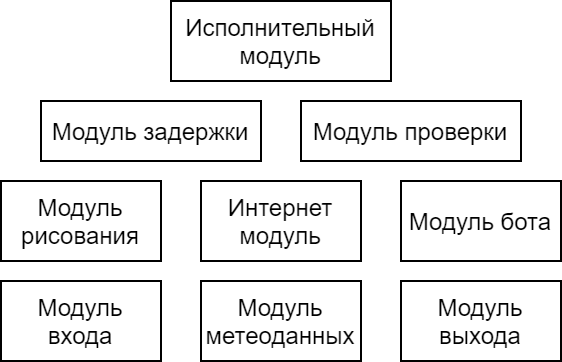


Рисунок 3.2 –Функционально-модульная структура электронной книги

Распределение функций по модулям электронной книги выглядит следующим образом:

– исполнительный модуль – управление системой;

– модуль задержки – задержка между обновлениями экрана и между обработкой сообщений поступивших телеграм боту;

– модуль проверки – проверяет входящие данные и состояние подключения Wi-Fi;

– модуль рисования – рисование текста и картинок на экране;

– интернет модуль – подключение и работа с HTTP запросами для приема и отправки данных;

– модуль бота – изменение настроек устройства посредством общения с пользователем через телеграм бота;

– входной модуль – прием данных по Wi-Fi;

– выходной модуль – отправление данных по Wi-Fi.

На рисунке 3.3 приведена полная функционально-модульная структура электронной книги.



Рисунок 3.3 – Полная функционально-модульная структура электронной книги

## Выбор соотношения между аппаратными программными средствами

Функция управления системы реализуется управляющей микроЭВМ (микроконтроллером) в результате выполнения основной (управляющей) программы путем последовательного вызова функций соответствующих программных модулей системы.

Связь между программными и аппаратными средствами представлена на рисунке 3.4.

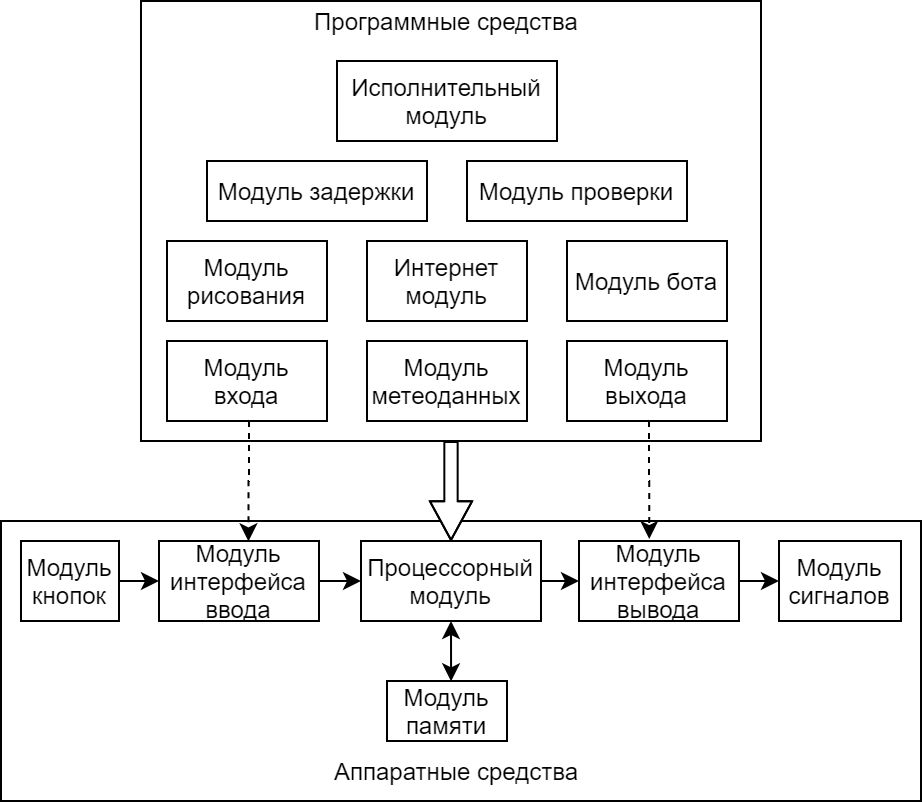


Рисунок 3.4 - Связь между программными и аппаратными средствами

## Построение структурной схемы аппаратной части системы

На основе выполняемых системой функций, построим структурную схему аппаратной части.

Электрическая структурная схема электронной книги представлена на чертеже ГУИР.467849.001 Э1 в приложении А.

## Описание структурной схемы

Структурная схема устройства представлена на рисунке 3.1.

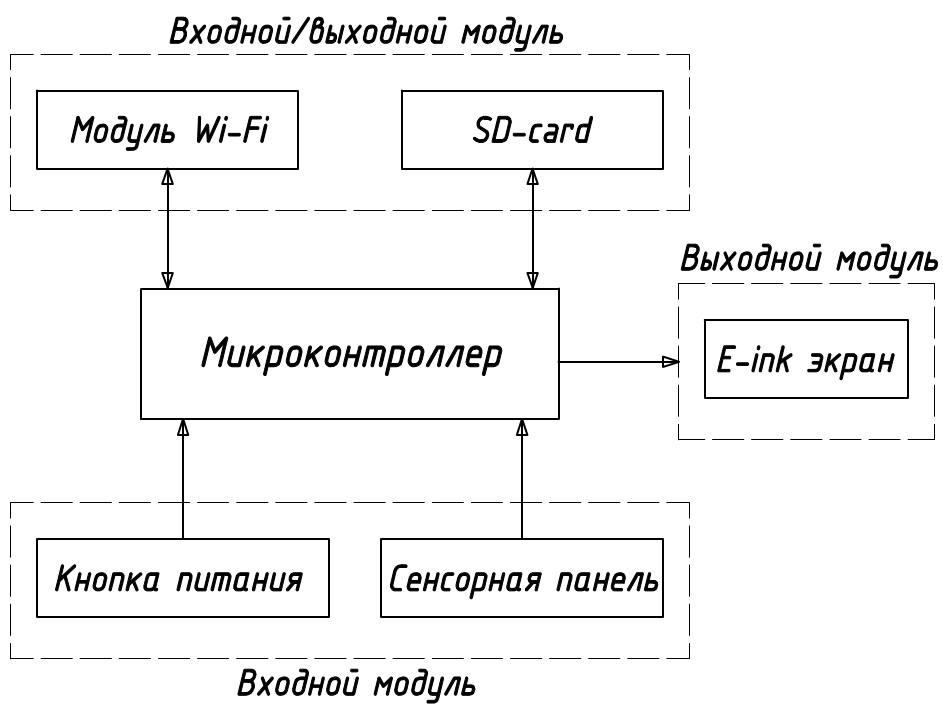


Рисунок 3.1 – Структурная схема электронной книги

Центральной частью схемы является микроконтроллер. Он обеспечивает взаимодействие всех элементов устройства. Микроконтроллер взаимодействует с Wi-Fi модулем для предоставления возможности загружать книги при помощи телеграмм-бота. Также микроконтроллер связан с модулем SD-карты для чтения и записи книг. На E-ink экране [[6]](#displayDataSheet) отображается текст книги, выбранной пользователем. Управление электронной книгой осуществляется при помощи сенсорной панели. Также для экономии заряда батареи используется кнопка питания для включения/выключения устройства.

МОЖЕТ ЕЩЕ ТЕКСТА?

# Аппартано-Программная реализация системы устройства электронная книга на базе eSP32

## Разработка алгоритма работы системы устройства электронная книга на базе ESP32

### Разработка схемы алгоритма работы системы и программы

Алгоритм работы устройства можно разделить на две части. Начальная часть и циклическая. Первая происходит лишь при включении устройства и содержит включение базовых модулей устройства. В циклической части каждый раз происходит загрузка и отображение новых метеоданных.

Подробная блок-схема алгоритма работы устройства приведена на чертеже ГУИР 467849.004 ПД приложения В.

Код программы приведен в приложении Г.

### Описание алгоритма работы системы и программы

Программа была написано при помощи среды Arduino IDE.

Язык программирования Arduino называется Arduino C и представляет собой язык C++ с фреймворком Wiring, Он имеет некоторые отличия по части написания кода, который компилируется и собирается с помощью avr-gcc, с особенностями, облегчающими написание работающей программы — имеется набор библиотек, включающий в себя функции и объекты. При компиляции программы IDE создает временный файл с расширением \*.cpp.

Программы, написанные программистом Arduino, называются наброски или скетчи (транслитерация от англ. sketch) и сохраняются в файлах с расширением \*.ino. Эти файлы перед компиляцией обрабатываются препроцессором Arduino. Также существует возможность создавать и подключать к проекту стандартные файлы C++.

Программист должен написать две обязательные для Arduino функции setup() и loop(). Первая вызывается однократно при старте, вторая выполняется в бесконечном цикле.

В текст своей программы (скетча) программист не обязан вставлять заголовочные файлы используемых стандартных библиотек. Эти заголовочные файлы добавит препроцессор Arduino в соответствии с конфигурацией проекта. Однако пользовательские библиотеки нужно указывать. МОЖЕТ БЫТЬ ЧТО-ТО ПОМЕНЯТЬ ДЛЯ АНТИПЛАГИАТА?

УКАЗАТЬ ЧТО ИСПЛЬЗОВАНА ВИЗУАЛ СТУДИО С РАСШИРЕНИЯМИ ДЛЯ АРДУИНО ИДЕ И ГИТХАБ КОПИЛОТ Менеджер проекта Arduino IDE имеет нестандартный механизм добавления библиотек. Библиотеки в виде исходных текстов на стандартном C++ добавляются в специальную папку в рабочем каталоге IDE. При этом название библиотеки добавляется в список библиотек в меню IDE. Программист отмечает нужные библиотеки, и они вносятся в список компиляции.

Arduino IDE не предлагает никаких настроек компилятора и минимизирует другие настройки, что упрощает начало работы для новичков и уменьшает риск возникновения проблем; но присутствуют директивы препроцессора, такие как #define, #include, и много других [4].

Также использовались дополнительные библиотеки: UniversalArduinoTelegramBot (для работы с телеграм ботом) [5] и LiLyGoEPD47 (для работы с дисплеем устройства) [6]. ДОПИСАТЬ ЕЩЕ ЛИБ И ПОДРОБНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (ШО И КАК)

Обобщённый алгоритм работы системы приведён ниже:

1. На первом этапе устройство сканирует все файлы в памяти и добавляет их имена в список книг, если формат файла поддерживается;

2. Далее формируется главное меню устройства, в центре которого отображается список из 3 книг, а также указатели для перемещения по списку книг (указатель слева – отображение предыдущих 3 книг из общего списка, справа – следующие 3 книги). Список книг отображается в виде вытянутого по горизонтали прямоугольника, в центре которого указано название книги без учёта формата файла и пути к нему;

3. На следующем шаге пользователь должен при помощи нажатия на соответствующие пункты меню на экране выбрать книгу из отображаемых или сменить страницу для дальнейшего поиска и выбора нужной книги;

4. Далее, когда выбрана необходимая книга, по её полному пути в директории происходит чтение файла;

5. На следующем этапе происходит обработка текста входе которой определяется, сколько слов поместится в одну строку на экране. Определение происходит следующим образом:

5.1. За стартовый индекс начала строки принимается ноль;

5.2. Выбирается N следующих символов. Число N задаётся больше максимального количества символов в строке. Индекс конца строки равен сумме стартового индекса и N;

5.3. Производится проверка поместится ли текст, размещенный между стартовым и конечным индексами;

5.4. Если текст не помещается, тогда происходит смещение конечного индекса таким образом, чтобы сместить конечный индекс ровно на длину одного слова с конца. Далее происходит выполняется возвращение к пункту 5.3;

5.5. Сохранение индексов начала и конца итоговой строки;

5.6. Если индекс конца строки меньше, чем длинна текста книги, тогда стартовый индекс равен конечному. Переход к пункту 5.2;

6. Далее необходимо рассчитать итоговое количество страниц книги, которое равно общему количество строк, деленное на количество строк, которые можно отобразить на экране. Результат округляется в большую сторону;

7. Происходит отображение текста текущей страницы при помощи индексов, подсчитанных в 5 пункте. Также отображается номер текущей страницы относительно количества всех страниц в книге;

8. В случае нажатия на экран происходит переход на следующую или предыдущую страницу. Левая сторона сенсора отвечает за переход назад, а правая – вперёд;

9. В случае нажатия на текущий номер страницы или общее количество страниц происходит возвращение к пункту 1;

10. В случае нажатия на кнопку питания происходит отображение рисунка уведомляющего пользователя об включении/выключении устройства.

## Разработка печатного узла электронная книга на базе ESP32

### Особенности применяемой элементной базы

Правильно выбранная элементная база позволит обеспечить надежное функционирование всего изделия в целом, снизить вероятность возникновения помех, получить высокие эксплуатационные характеристики, уменьшить энергопотребление.

В общем случае критерием выбора элементной базы является соответствие технологических и эксплуатационных характеристик заданным условиям эксплуатации.

В случае, если на исходной схеме электрической принципиальной указывалось наименование для конкретного элемента, выбирался указанный элемент. Иначе выбирался элемент с техническими характеристиками, совпадающими с указанными на исходной схеме.

В результате для разработки печатного узла была использована элементная база, технические характеристики элементов которой приведены далее в этом подпункте. Наименования элементов, соответствующих позиционным обозначениям приведены в перечне элементов схемы электрической принципиальной (приложение А).

Для разработки печатного узла были выбраны резисторы, представленные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Характеристики резисторов печатного узла

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Позиционное обозначение | Тип | Характеристики | Кол., шт. |
| R1-R3 | MCR03EZPJ100 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 100 кОм | 3 |
| R4-R6 | MCR03EZPJ039 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 39кОм | 3 |
| R7 | MCR03EZPJ120 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 120кОм | 1 |

Продолжение таблицы 4.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Позиционное обозначение | Тип | Характеристики | Кол., шт. |
| R8-R11 | MCR03EZPJ002 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 2кОм | 4 |
| R12-R15 | MCR03EZPJ001 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 1кОм | 4 |
| R16 | MCR03EZPJ120 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 120кОм | 1 |
| R17-R22 | MCR03EZPJ002 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 2кОм | 6 |
| R23 | MCR03EZPJ120 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 120кОм | 1 |
| R24-R28 | MCR03EZPJ002 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 2кОм | 5 |
| R29 | MCR03EZPJ001 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 1кОм | 1 |
| R30-R37 | MCR03EZPJ120 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 120кОм | 8 |
| R38-R42 | MCR03EZPJ005 | Рабочая температура:  -55°C…155°C  R = 5кОм | 5 |

К метрическому типоразмеру резисторов MCR03 относится 0603. Размеры резисторов с данным типоразмером приведены в таблице 4.2. Посадочное место изображено на рисунке 4.1.

Таблица 4.2 – Характеристики метрического типоразмера 0603

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| L, мм | W, мм | H, мм | D, мм | T, мм |
| 1.6 ± 0.1 | 0.85 ± 0.1 | 0.45 ± 0.05 | 0.3 ± 0.2 | 0.3 ± 0.2 |

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 4.1 – Посадочное место SMD резисторов 0603 |

Для разработки печатного узла были выбраны конденсаторы, представленные в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Характеристики конденсаторов печатного узла

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Позиционное обозначение | Тип | Характеристики | Кол., шт. |
| C1-C14 | C1608C0G1H102JT | Рабочая температура:  -55°C…125°C  C = 0,1нФ | 14 |
| C15-С20 | C1608C0G1H110JT | Рабочая температура:  -55°C…125°C  C = 1мкФ | 6 |
| C21-C28 | C1608C1G1H185JT | Рабочая температура:  -55°C…125°C  C = 10нФ | 8 |
| C29-С41 | C1608C1G1H285JT | Рабочая температура:  -55°C…125°C  C = 100нФ | 13 |
| C42-С48 | C1608C0G1H147JT | Рабочая температура:  -40°C…85°C  C = 4,7 нФ | 7 |

К метрическому типоразмеру конденсаторов, приведенных в таблице, относится 0603. Размеры резисторов с данным типоразмером приведены в таблице 2.4. Посадочное место изображено на рисунке 4.2.

Таблица 4.4 – Характеристики метрического типоразмера 0603

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| L, мм | W, мм | H, мм | D, мм | T, мм |
| 1.6 ± 0.1 | 0.85 ± 0.1 | 0.45 ± 0.05 | 0.3 ± 0.2 | 0.3 ± 0.2 |

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 4.2 – Посадочное место SMD резисторов 0603 |

Для разработки печатного узла были выбраны диоды, представленные в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Характеристики диодов печатного узла

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Позиционное обозначение | Тип | Характеристики | Кол., шт. |
| VD1 | KM2520SGC01 | Рабочая температура:  -55°C…125°C | 1 |
| VD2-VD4 | 1N5819 | Рабочая температура:  -55°C…125°C | 3 |
| VD5 | KM2520SGC01 | Рабочая температура:  -55°C…125°C | 1 |
| VD6, VD7 | 1N4148 | Рабочая температура:  -55°C…125°C | 2 |
| VD8, VD9 | KM2520SGC01 | Рабочая температура:  -55°C…125°C | 2 |
| VD10, VD11 | *ESD5D5* | Рабочая температура:  -55°C…125°C | 2 |
| VD12 | 1N5819 | Рабочая температура:  -55°C…125°C | 1 |

Для разработки печатного узла были выбраны транзисторы, представленные в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Характеристики транзисторов печатного узла

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Позиционное обозначение | Тип | Характеристики | Кол., шт. |
| VT1 | AO3400 | Рабочая температура:  -40°C…125°C  Vcc = 3В | 1 |
| VT2-VT3 | SI2301 | Рабочая температура:  -40°C…125°C  Vcc = 5В | 2 |
| VT4-VT6 | PMBT3904 | Рабочая температура:  -40°C…125°C  Vcc = 3В | 3 |
| VT7 | SI2301 | Рабочая температура:  -40°C…125°C  Vcc = 5В | 1 |

Размеры транзисторов приведены в таблице 4.7. Данные транзисторы выполнены в корпусах SOT-23, который изображен на рисунке 4.3.

Таблица 4.10 – Размеры транзисторов

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Размер, мм |
| A | 2.93 ± 0.2 |
| B | 1.30 +0.20/-0.15 |
| C | 1.30 ± 0.05 |
| D | 1.45 +0.15/-0.05 |
| E | 2.40 +0.30/-0.20 |
| G | 1.90 ± 0.05 |
| H | 0.95 ± 0.05 |
| J | 0.13 +0.10/-0.05 |
| K | 0.1 ± 0.05 |
| L | 0.55 ± 0.10 |
| M | ± 0.20 ± 0.05 |
| N | 1.0 +0.20/-0.10 |

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 4.3 – корпус SOT-23 |

Для разработки печатного узла были выбраны разъемы, представленные в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Характеристики разъёмов печатного узла

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Позиционное обозначение | Тип | Характеристики | Кол., шт. |
| X1 | Connector, 2011P 48PIN P=2.0 | Рабочая температура:  -25°C…85°C | 1 |
| X2, X3 | Connector, 2011P 2PIN P=2.0 | Рабочая температура:  -25°C…85°C | 2 |
| X4… X6 | MOLEX 53015-0410 | Рабочая температура:  -25°C…85°C | 3 |

Для разработки печатного узла были выбраны микросхемы, представленные в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Характеристики микросхем печатного узла

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Позиционное обозначение | Тип | Характеристики | Кол., шт. |
| DA1, DA2 | CJ79L15 | Рабочая температура:  -45°C…85°C | 2 |
| DD1 | LM358DR2G, SOIC-8 | Рабочая температура: -45°C…85°C | 1 |
| DD2 | 74HC4094D, SOIC-16 | Рабочая температура:  -45°C…85°C | 1 |
| DD3 | ESP32­WROVER­E | Рабочая температура:  -40°C…125°C | 1 |
| DD4 | IP3005A, eSOP8 | Рабочая температура:  -45°C…85°C | 1 |
| DD5 | LT1945, MSOP10 | Рабочая температура:  -45°C…85°C | 1 |
| DD6 | AP2112K, SOT25 | Рабочая температура: -45°C…85°C | 1 |
| DD7 | HX6610S, eSOP8 | Рабочая температура:  -45°C…85°C | 1 |
| DD8 | 1-2295018-2 | Рабочая температура:  -40°C…125°C | 1 |
| DD9 | CP2014, SOIC-24 | Рабочая температура:  -45°C…85°C | 1 |
| DD10 | UMH3N, SOT-363 | Рабочая температура:  -45°C…85°C | 1 |

### Особенности применяемых материалов

Поскольку в задании нет специальных требований к материалу печатной платы, в данном курсовом проекте будет использован двухсторонний фольгированный стеклотекстолит СФ-235Г толщиной 1,5 мм.

Будет использована смешанная технология монтажа печатных плат, которая представляет собой сочетание технологии монтажа в сквозные отверстия и поверхностного монтажа на одной плате.

### Оценка потребляемой мощности

Мощность электрического тока – количество электричества, проходящего через поперечное сечение цепи в течение одной секунды, есть не что иное, как сила тока в цепи. Следовательно, мощность электрического тока будет прямо пропорциональна разности потенциалов (напряжению) и силе тока в цепи. Единица измерения мощности – ватт (Вт).

Мощность определяется по формуле 4.1:

, (4.1)

где – падение напряжения в цепи, В; – сила тока, протекающего в цепи, А.

Оценим суммарную потребляемую мощность элементов, используя формулу 4.2:

, (4.2)

где – мощность, рассеиваемая на -ом элементе, Вт; – количество элементов на схеме.

В таблице 4.1 представлены данные о мощности, рассеиваемой на соответствующих элементах. Будем считать, что конденсаторы и кварцевый резонатор являются идеальными и мощности не потребляют. Некоторые значения максимальной рассеиваемой мощности взяты из официальной документации на соответствующие элементы, оставшиеся рассчитаны по формуле 4.8.

Таблица 4.8 – Расчёт мощностей, потребляемых элементной базой

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Элементы | Позиционные обозначения | Тип | Мощность одного элемента, мВт | Количество, шт. | Общая мощность, мВт |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Диоды | VD2-VD4, VD12 | 1N5819 | 280 | 4 | 1120 |
| Стабилитроны | VD1, VD5, VD8, VD9 | KM2520SGC01 | 1 000 | 4 | 4 000 |

Продолжение таблицы 4.8

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Диодные оптроны | VD6, VD7 | 1N4148 | 150 | 2 | 300 |
| ESD диоды | VD10, VD11 | ESD5D5 | 750 | 2 | 1500 |
| Транзисторы | VT1 | AO3400 | 1 000 | 1 | 1 000 |
| VT2-VT3, VT7 | SI2301 | 350 | 3 | 700 |
| VT4-VT6 | PMBT3904 | 350 | 3 | 700 |
| Резисторы | R1 – R42 | RC0805 | 125 | 42 | 5 250 |
| Микросхемы | DD1 | LM358DR2G | 830 | 1 | 830 |
| DD2 | 74HC4094D | 300 | 1 | 300 |
| DD3 | ESP32­WROVER­E | 650 | 1 | 650 |
| DD4 | IP3005A | 400 | 1 | 400 |
| DD5 | LT1945 | 500 | 1 | 500 |
| DD6 | AP2112K | 200 | 1 | 200 |
| DD7 | HX6610S | 660 | 1 | 660 |
| DD8 | 1-2295018-2 | 780 | 1 | 780 |
| DD9 | CP2014 | 640 | 1 | 640 |
| DD10 | UMH3N | 350 | 1 | 350 |

Исходя из данных, представленных в таблице 4.8, для данной схемы электрической принципиальной суммарная рассеваемая мощность, рассчитанная по формуле 4.2, составляет:

= 19880 Вт.

На основании полученных расчетов принимаем для схемы источник питания с P = 20 Вт.

### Оценка токов, протекающих в некоторых цепях

Для расчета ширины проводников необходимо оценить токи в наиболее нагруженных цепях. Минимальная ширина проводника рассчитывается по формуле 4.3:

, (4.3)

где – максимальная сила тока, протекающий в цепи, мА; – допустимая плотность тока, мА/мм2; – толщина проводника, мм.

### Расчет минимальной ширины проводника для цепи 3,3 В

Для микросхем DD2, DD5, DD6, DD7 сила тока составляет 20 мА, 100 мА и 30 мА соответственно.

Рассчитаем силу тока для транзистора VT4:

Таким же образом рассчитаем силу тока для транзистора VT5:

Исходя из расчетов, произведенных выше, получаем силу тока в цепи 3,3 В равную 151,2 мА. Рассчитаем минимальную ширину проводника для данной цепи по формуле 4.3:

### Расчет минимальной ширины проводника для цепи 5 В

Для микросхем DD1, DD3, DD4, DD5, DD7, DD10 сила тока составляет 20 мА, 50 мА, 95 мА и 100 мА соответственно.

Рассчитаем силу тока для транзистора VT1:

Таким же образом рассчитаем силу тока для транзистора VT2:

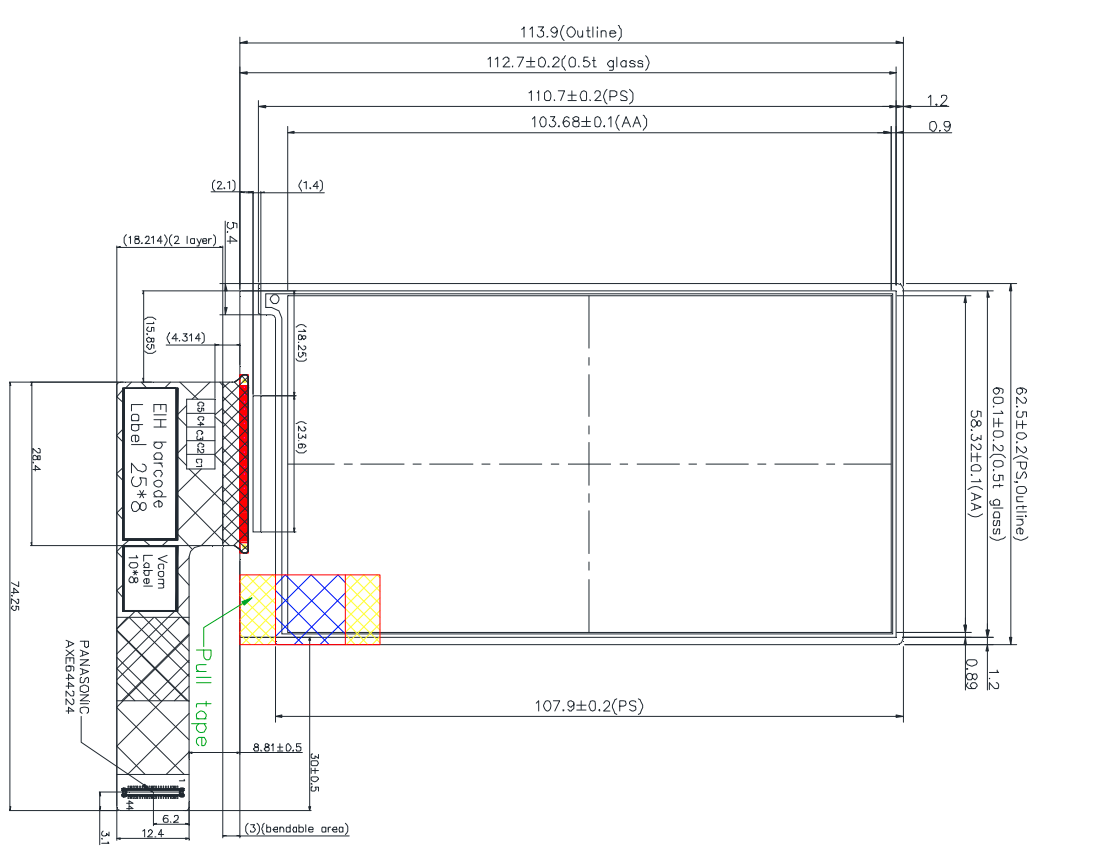
и для транзистора VT3:

Исходя из расчетов, произведенных выше и значений силы тока для цепей 3,3 В получаем силу тока в цепи 5 В равную 533,4 мА. Рассчитаем минимальную ширину проводника для данной цепи по формуле 4.3:

Минимальная ширина проводника цепи земли также составляет 0,76 мм.

### Выбор типоразмера печатной платы

Размер платы выбран с учетом размера дисплея электронной книги. Диагональ дисплея составляет 4.7 дюйма. Экран и его размеры продемонстрированы на рисунке 4.4.



|  |
| --- |
| Рисунок 4.4 – дисплей электронной книги |

### Расчет печатного монтажа

Исходя из выбранной элементной базы, в данном курсовом проекте будет использоваться смешанная технология монтажа печатных плат. Так как используются как элементы поверхностного монтажа, так и выводные, необходимо произвести ряд конструкторских расчётов для определения параметров контактных площадок и монтажных отверстий для их установки.

В качестве метода изготовления ПП был выбран комбинированный позитивный метод, поскольку при своей относительно небольшой стоимости и простой технологии он обеспечивает создание элементов печатного рисунка высокой точности, высокую надёжность изоляции и хорошую адгезию элементов печатного рисунка и диэлектрического основания платы.

Данный метод применяют для изготовления двусторонних и гибких ПП с металлизированными отверстиями на двустороннем фольгированном диэлектрике. Проводящий рисунок получают субтрактивным методом, а металлизацию отверстий осуществляют электрохимическим методом. После экспонирования рисунка сразу проводят сверление отверстий и металлизацию. Затем рисунок схемы и металлизированные отверстия защищают слоем металла, стойкого к травителю для меди, и травят незащищенную медь.

Из пяти классов точности был выбран четвёртый класс точности, предусмотренных ГОСТ 23751-86, руководствуясь соотношением цены, качества и сложности изготовления печатной платы.

Характеристики размеров элементов конструкций четвертого класса точности приведены в таблицах 4.9 – 4.12:

Талица 4.9 – Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Диаметр отверстия d, мм | Наличие металлизации | Предельное отклонение диаметра Δd, мм |
| До 1,0 | Без металлизации | ± 0,05 |
| С металлизацией без оплавления | + 0; – 0,10 |
| С металлизацей и с оплавления | + 0; – 0,13 |
| Свыше 1,0 | Без металлизации | ± 0,10 |
| С металлизацией без оплавления | + 0,05; – 0,15 |
| С металлизацией и с оплавления | + 0,05; – 0,18 |

Таблица 4.10 – Предельные отклонения ширины печатного проводника

|  |  |
| --- | --- |
| Наличие металлического покрытия | Предельное отклонение ширины печатного проводника Δt, мм |
| Без покрытия | ± 0,03 |
| С покрытием | ± 0,05 |

Таблица 4.11 – Позиционные допуски расположения осей отверстий

|  |  |
| --- | --- |
| Размер печатной платы по большей стороне, мм | Значение позиционного допуска расположения осей отверстий Td, мм |
| До 180 включительно | 0,05 |
| Свыше 180 до 360 включительно | 0,08 |
| Свыше 360 | 0,10 |

Таблица 4.12 – Дополнительные параметры

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение допуска, мм |
| Допуск на расположение центров контактных площадок TD, при размере платы до 180 мм | 0,10 |
| Допуск на расположение печатного проводника Tl, для ДПП | 0,03 |

Используя данные, приведенные в таблицах 6.1 – 6.4, произведем расчеты печатного монтажа.

Номинальное значение диаметра монтажного отверстия рассчитывается по формуле 4.3:

, (4.3)

где – максимальное значение диаметра вывода навесного элемента, устанавливаемого на печатную плату; *r* – разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода; – нижнее предельное отклонение номинального значения диаметра отверстия.

Диаметры монтажных отверстий рекомендуется выбирать так, чтобы разница с диаметром вывода ЭРЭ составляла 0,1...0,4 мм. При этом для повышения технологичности необходимо стремиться к сокращению количества различных диаметров.

Диаметр контактных площадок рассчитывается по формуле 4.4:

, (4.4)

где – номинальное значение монтажного отверстия; – верхнее предельное отклонение диаметра отверстия;  *–* гарантийный поясок; – верхнее предельное отклонение диаметра контактной площадки; – величина подтравливания диэлектрика; – позиционный допуск расположения центра контактной площадки; – позиционный допуск расположения оси отверстия; – нижнее предельное отклонение диаметра контактной площадки.

Для выводов с диаметрами 0,5 – 0,7 мм номинальные значения диаметров монтажного отверстия и контактной площадки составляют:

Для выводов с диаметрами 0,78 – 0,9 мм:

Минимальный диаметр переходного отверстия рассчитывается по формуле 4.5:

, (4.5)

где – сила тока цепи, А; – толщина медной фольги, мм; – допустимая токовая нагрузка, А/мм2.

Таким образом минимальный диаметр переходного отверстия составляет:

Размеры контактных площадок для элементов с поверхностным монтажом взяты из технической документации этих элементов.

### Особенности применяемых пакетов САПР

Для проектирования печатной платы были рассмотрены два программных пакета: Altium Designer и OrCAD. Ранее были получены навыки работы в обоих проектах.

Для выполнения данного курсового проекта был выбран пакет Altium Designer. В данном пакете есть возможности создания и редактирования библиотек условно-графических обозначений элементов, которые соответствует используемым стандартам, и посадочных мест компонентов. Также есть возможности создания схемы электрической принципиальной, передачи списка связей со схемы электрической принципиальной на печатную плату. Существует возможность ручной и автоматической трассировок.

В пакете OrCAD также существуют эти возможности, однако Altium Designer более удобен в использовании, поэтому для выполнения курсового проекта был выбран именно он.

Для оформления технической документации был использован пакет AutoCAD. В пакете есть большой функционал возможностей, например:

– автоматическая и быстрая подготовка документации проекта;

– гибкость пользовательского интерфейса.

### Решение задачи топологического синтеза печатной платы с помощью применяемого пакета САПР

Граничные значения основных параметров печатного монтажа, которые могут быть обеспечены при конструировании и производстве для четвёртого класса точности приведены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Граничные значения основных параметров печатного монтажа

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обозначение | Параметр | Значение |
| t, мм | Ширина печатного проводника | 0,15 |
| S, мм | Расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка | 0,15 |
| b, мм | Гарантийный поясок | 0,05 |
| γ | Отношение номинального значения диаметра наименьшего из металлизированных отверстий к толщине печатной платы | 0,25 |

На основании расчётов, были установлены следующие ограничения:

– минимальная ширина проводника: 0,15 мм;

– минимальная ширина проводника для цепи 1,8 В: 0,15 мм;

– минимальная ширина проводника для цепи 3,3 В: 0,25 мм;

– минимальная ширина проводника для цепей 5В и GND: 0,8 мм;

– топология трассировки: самая короткая – соединяет все узлы по кратчайшей траектории;

– минимальный диаметр переходного отверстия: 0,08 мм;

 минимально допустимый зазор между двумя любыми объектами печатного монтажа на сигнальном слое: 0,15 мм;

 минимальное расстояние между двумя контактными площадками: 0,15 мм.

После настройки правил редактора печатных плат производим передачу списка связей из редактора схем в редактор печатных плат и размещаем элементы на печатной плате. Выполняем вручную трассировку цепей питания и земли, оставшиеся цепи трассируем в автоматическом режиме с учетом выставленных конструкторских ограничений. После трассировки производим необходимые корректировки.

### Оценка качества разработанной конструкции

После задания конструкторских ограничений и размещения компонентов была произведена трассировка печатной платы. Цепи питания и земли трассировались вручную, остальные цепи – с использованием автотрассировщика, предоставленного пакетом Altium Designer. Результат проектирования представлен на рисунке 4.5.

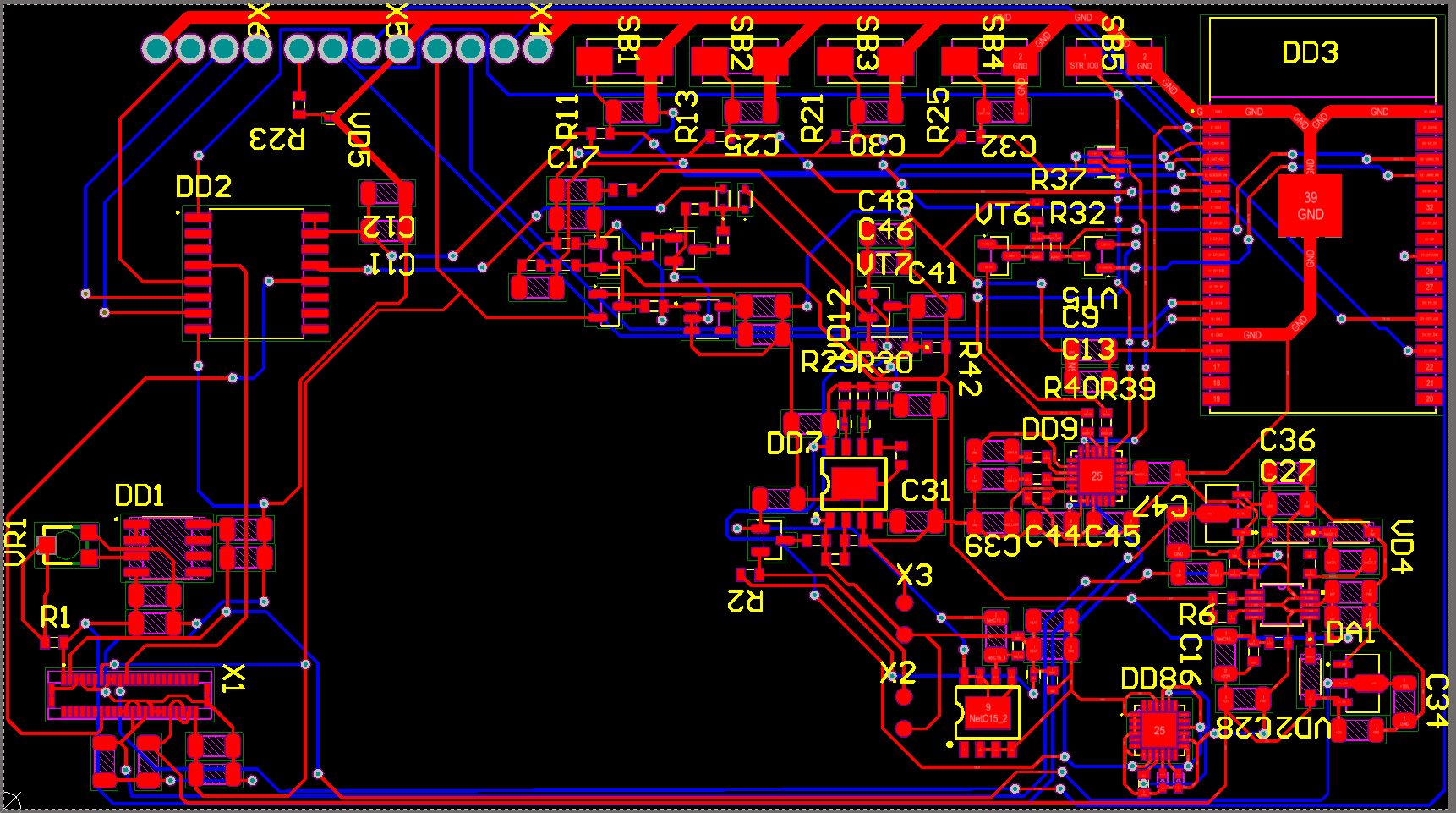


Рисунок 4.5 – Печатная плата

Далее необходимо оценить качество разработанной конструкции. Для этого воспользуемся функцией Design Rule Check, которая позволит нам удостоверится в том, что все выставленные ранее конструкторские ограничения были соблюдены. Результат проверки приведён на рисунке 4.6

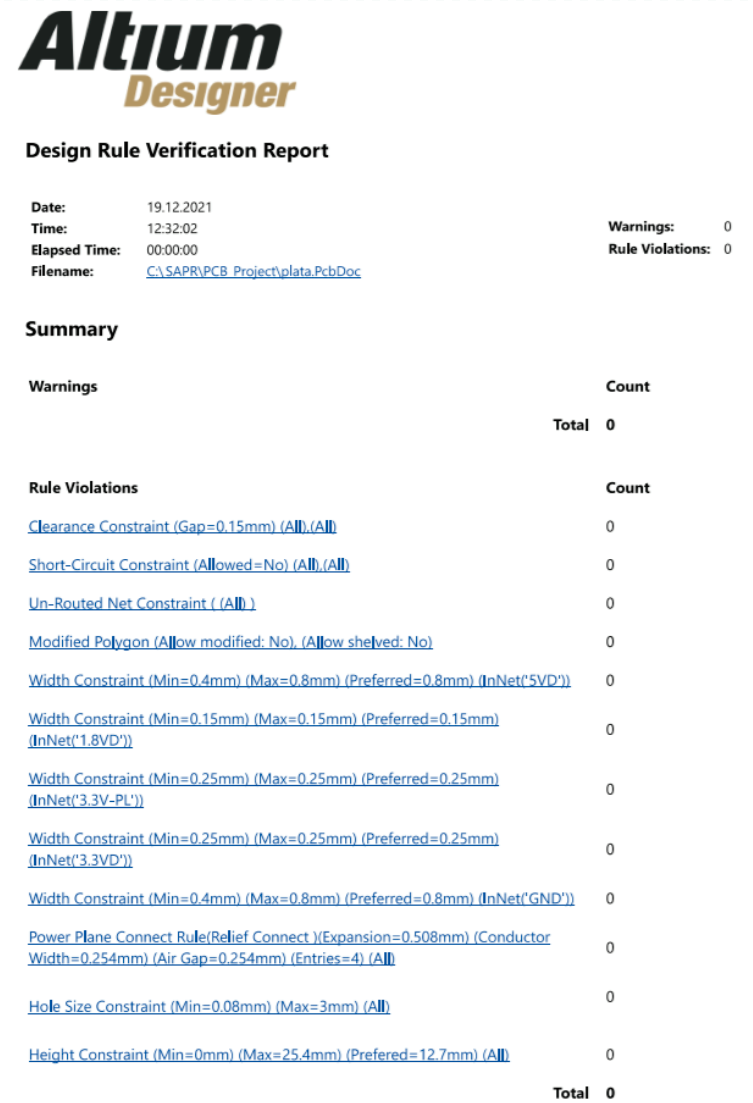


Рисунок 4.6 – Результаты проверки печатной платы

Исходя из результатов проверки, можно сделать вывод, что все конструкторские ограничения были соблюдены, и разработанная печатная плата соответствует техническому заданию.

Чертеж печатной платы представлен в приложении Б. Сборочный чертёж представлен в приложении В.

# Технико-экономическое обоснование эффективности разработки и использования электронной книги на базе ESP32

## Характеристика программно-аппаратного комплекса

Разрабатываемая в дипломном проекте электронная книга представляет собой устройство, состоящее из готовой аппаратной платформы, модуля для подключения SD карты, E-ink экрана и сенсорной панели.

Предполагаемый тип производства будет единичным и будет основываться на заказе конечного потребителя. Потребитель устройства – это пользователь, часто читающий книги в электронном формате. Пользователь получает компактное и легкое устройство, которое можно использовать как дома, так и брать с собой. Устройство способно держать заряд значительно дольше, чем смартфон, а также имеет E-ink экран, который из-за своей специфики меньше нагружает глаза пользователя.

Пользователь получает электронную книгу, которая позволяет выбирать и читать книги в электронном формате. Загрузка книг доступна при помощи telegram бота. Преимущество в том, что пользователь получает недорогое специализированное устройство для чтения книг в электронном формате.

Главным преимуществом разрабатываемого устройства значительно меньшая цена, чем у аналогичных устройств, представленных на рынке на сегодняшний день, и при этом устройство будет иметь более широкий функционал по сравнению с наиболее дешевыми из аналогичных устройств.

## Расчет экономического эффекта от производства программно-аппаратного комплекса

Для определения результата от вложения инвестиций в производство программно-аппаратного комплекса необходимо определить отпускную цену программно-аппаратного комплекса на основе расчета затрат на производство аппаратной части и разработку программной части [ссылка на методу].

### Расчет прямых затрат на комплектующие изделия для производства аппаратной части комплекса

Расчет прямых затрат на комплектующие изделия для производства аппаратной части комплекса осуществляется в соответствии с количеством комплектующих на изделие и рыночными ценами. Коэффициент транспортных расходов равен 1,1. Результаты расчётов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Расчет затрат на комплектующие изделия

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование специальных инструментов, приспособлений, приборов, стендов, устройств и другого специального оборудования | Количество, шт. | Цена, р. | Сумма,  р. |
| 1. Аппаратная платформа LILYGO T5-4.7 inch E-Paper ESP32 | 1 | 89,42 | 89,42 |
| 1. Сенсорная панель LILYGO T5-4.7 inch Capacitive Touch Cover | 1 | 36,82 | 36,82 |
| 1. Разъем для чтения SD карт LILYGO T5-4.7 inch T-FH Interface RF Card Expansion Module | 1 | 7,89 | 7,89 |
| 1. Аккумулятор Panasonic NCR18650B 3350 mAh | 1 | 10,52 | 10,52 |
| Итого | | | 144,65 |
| Всего с учетом транспортных расходов | | | 159,11 |

### Расчет затрат на заработную плату разработчиков программной части комплекса

Для создания и длительной поддержки продукта необходима команда разработчиков из трех человек: бизнес-аналитик, программист, тестировщик.

Величина затрат определяется исходя из численности различных категорий исполнителей, дневных тарифных ставок и должностных окладов.

При расчете заработной платы используется среднемесячная заработная плата в Республике Беларусь для сотрудников различных категорий ИТ-отрасли. Результаты расчётов затрат на заработную плату команды разработчиков приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Расчет затрат на заработную плату команды разработчиков

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Категории исполнителей | Месячный  оклад (тарифная ставка), р. | Часовой  оклад (тарифная ставка), р. | Трудоемкость, ч | Сумма, р. |
| Бизнес-аналитик | 2893 | 17,22 | 24 | 413,28 |
| Программист | 4208 | 25,04 | 80 | 2003,2 |
| Тестировщик | 2805 | 16,69 | 80 | 1335,2 |
| Итого | | | | 3751,98 |

### Расчет общей суммы затрат на разработку программной части программно-управляемого комплекса

### Формирование отпускной цены программно-аппаратного комплекса

### Результат в сфере производства программно-аппаратного комплекса

## Расчет инвестиций в производство программно-аппаратного комплекса

## Расчет показателей экономической эффективности инвестиций в производство программно-аппаратного комплекса

# Анализ результатов аппаратной реализации системы

## Макетирование устройства

Для аппаратной реализации понадобится плата LilyGo-EPD47. На рисунке 6.1 приведено изображение платы.



Рисунок 6.1 - LilyGo-EPD47

Плата состоит из USB интерфейса, uart интерфейса, микроконтроллера ESP32-WROVER-E, схемы питания, 5 кнопок и 4.7 дюймового E-ink дисплея.

## Тестирование устройства

Для упрощения процесса тестирования частота обновления экрана уменьшена до 1 минуты.

При подключении устройства к источнику питания происходит обновления экрана и отображение новых данных. Также для более удобства экран можно обновлять самостоятельно через телеграм бота. На рисунке 6.2 приведен пример обновления через телеграм бота.

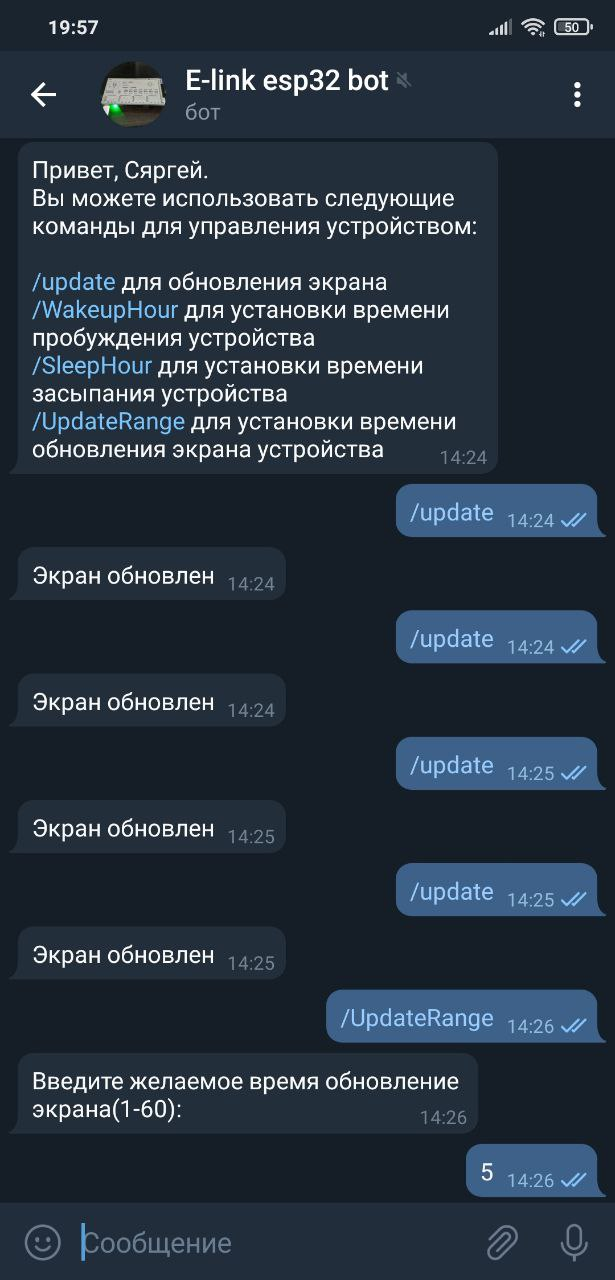


Рисунок 6.2 – Обновление платы через телеграм бота

Таким образом тестировалась получение новых данных со временем.

Также тестировался ввод новых параметров через телеграм бота. Для корректной работы были добавлены обработчики неправильного ввода пользователя. Результаты приведены на рисунке 6.3.

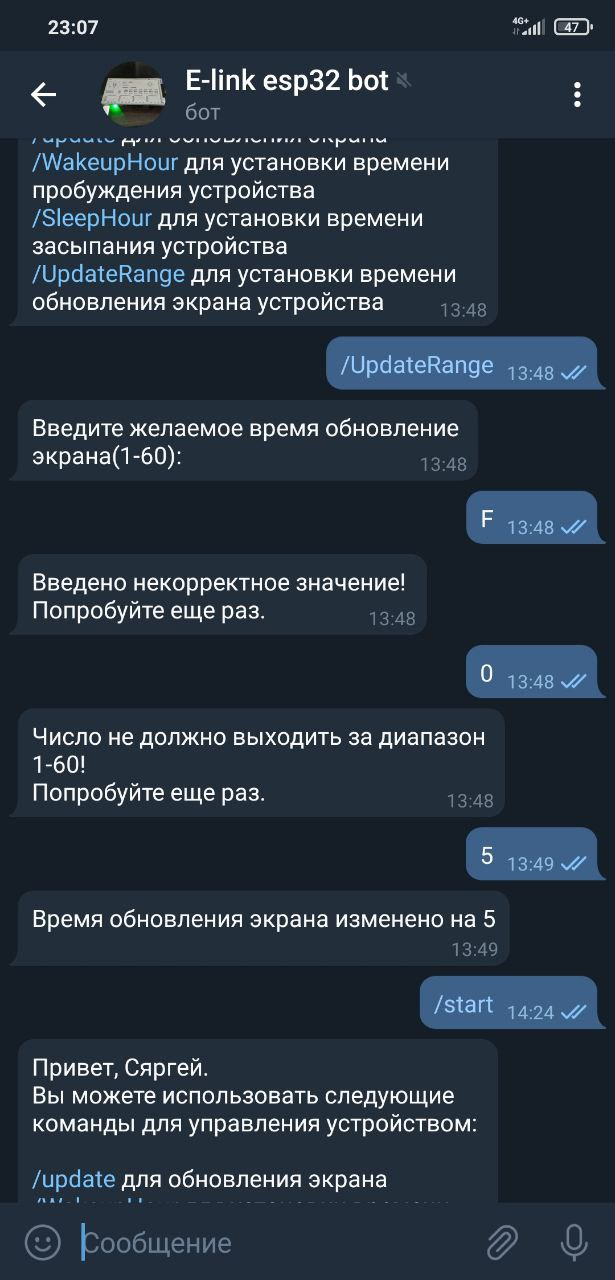
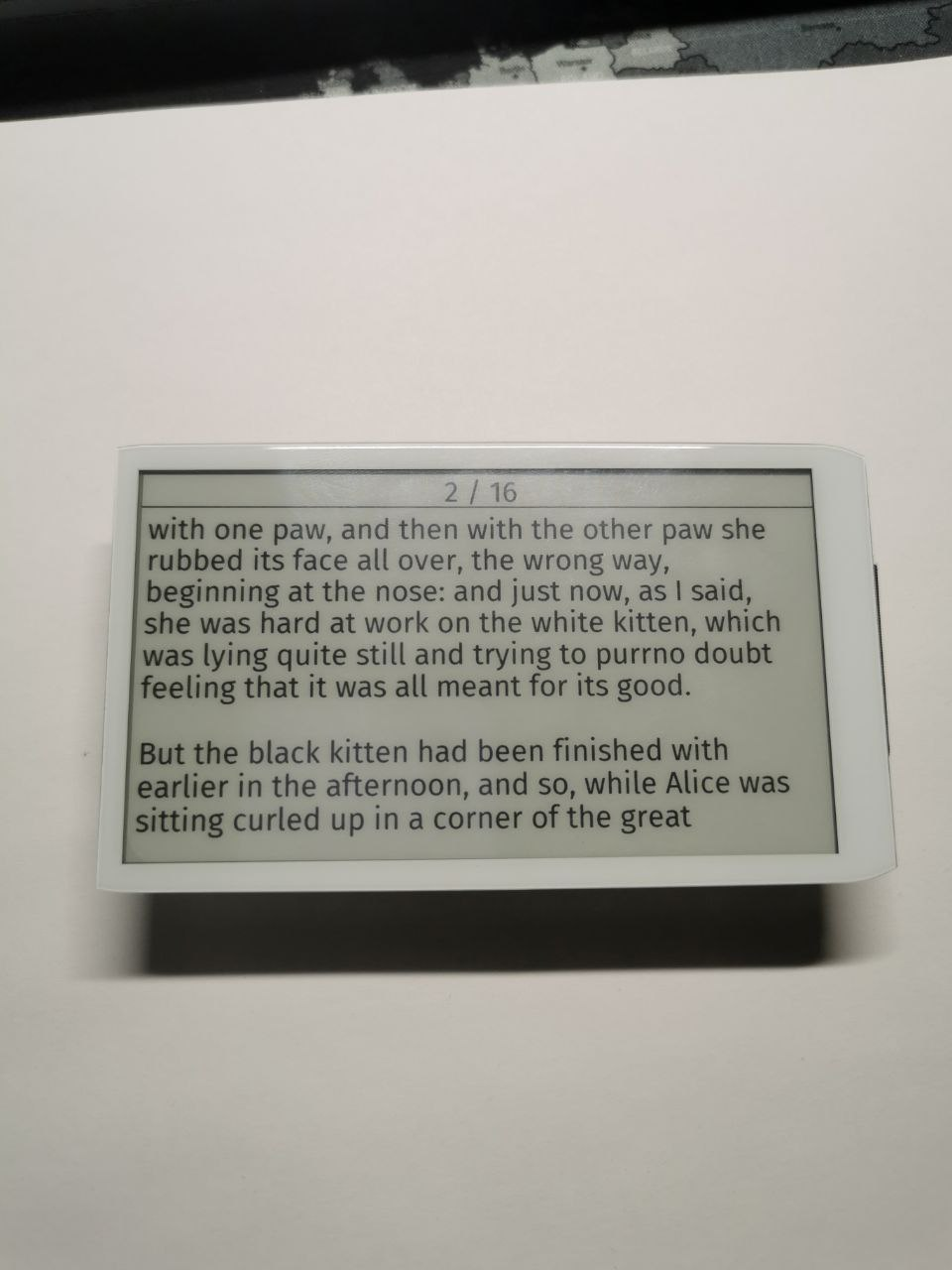


Рисунок 6.3 – Проверка неправильного ввода в телеграм боте

На рисунке 6.4 приведено фото разработанной электронной книги с активным режимом чтения.

Рисунок 6.4 – Пример отображения текста книги

Заключение

В данной работе приведён процесс разработки электронной книги на базе микроконтроллера ESP32 с использованием экрана на электронных чернилах и сенсорной панели. Также приведена структурная схема с кратким описанием взаимодействия элементов в ней. Рассмотрен общий алгоритм функционирования устройства. Также выполнена проверка работоспособности устройства опытным путем.

В ходе выполнения, был создан телеграм бот для удобной настройки электронной книги. Так же были получены навыки взаимодействия с HTTP запросами к различным сервисам для получения информации.

Для большей продолжительности работы устройства была добавлена особенная сборка прошивки LONG\_LIFE\_MODE позволяющая более разумно экономить заряд батареи, но данная сборка лишена возможности взаимодействия с пользователем через телеграм бота, а также не обрабатывает нажатие кнопок.

Список используемых источников

1. Электронная книга (устройство) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/E-reader>
2. Техническое описание E-ink экрана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/LilyGo-EPD47/blob/master/Display_datasheet.pdf>