

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра проектирования информационно-компьютерных систем

О. Ч. Ролич, В. С. Колбун

***МОБИЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ***

*Рекомендовано УМО по образованию в области
информатики и радиоэлектроники
в качестве учебно-методического пособия
для специальности 1-39 03 02 «Программируемые мобильные системы»*

Минск БГУИР 2022

УДК 004.77(075)
ББК 32.973.202я7
Р67

Рецензенты:

кафедра интеллектуальных систем
Белорусского государственного университета
(протокол № 13 от 13.04.2021);

доцент кафедры робототехнических систем
Белорусского национального технического университета
кандидат технических наук, доцент Р. В. Новичихин

Ролич, О. Ч.

Р67 Мобильные вычислительные системы. Курсовое проектирование :
учеб.-метод. пособие / О. Ч. Ролич, В. С. Колбун. – Минск : БГУИР,
2022. – 119 с. : ил.
ISBN 978-985-543-644-8.

Сформулированы основные требования к схемотехническим, *PCB*-дизайнерским и вычислительным частям, входящим в курсовое проектирование по дисциплине «Мобильные вычислительные системы». Представлен перечень тем (более 100) и список вопросов теоретической части задания по курсовому проектированию для каждой темы. Описаны шаги решения поставленных перед студентом задач. Приведена методика разработки электрических структурных и принципиальных схем мобильных микроконтроллерных приборов с примерами и анализом соответствующих фрагментов. Пояснён процесс разработки печатных плат и проиллюстрированы способы моделирования вычислительных алгоритмов и программ управления и связи. Рассмотрены типичные ошибки и проблемы, возникающие у студентов при выполнении курсового проектирования.

УДК 004.77(075)
ББК 32.973.202я7

ISBN 978-985-543-644-8

© Ролич О. Ч., Колбун В. С., 2022
© УО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Тематика, форма организации и общие требования к курсовому проекту по дисциплине «Мобильные вычислительные системы»...	6
1.1 Тематика курсового проектирования.....	7
1.2 Требования к оформлению титульного листа.....	11
1.3 Требования к заданию по курсовому проекту.....	11
1.4 Краткие требования к тексту пояснительной записки.....	13
1.5 Исходные данные к курсовому проекту.....	14
1.6 Требования к программной реализации и моделированию алгоритмов.....	14
2 Краткие требования к оформлению пояснительной записки.....	16
2.1 Оформление рубрикаций, заголовков и содержания.....	16
2.2 Основные правила изложения текста и написания математических формул.....	16
2.3 Оформление иллюстраций и таблиц.....	18
2.4 Оформление перечня элементов.....	19
2.5 Оформление ведомости документов.....	19
3 Требования к оформлению графического материала.....	20
3.1 Общие требования к оформлению чертежей и плакатов.....	20
3.2 Методика оформления и требования к схеме электрической структурной.....	21
3.3 Методика оформления и требования к схеме электрической принципиальной.....	24
3.4 Требования к оформлению чертежей печатных плат.....	26
3.5 Методика построения и требования к схеме алгоритма.....	28
3.6 Методика построения и требования к диаграмме состояний.....	32
4 Классификация тем курсового проектирования по дисциплине «Мобильные вычислительные системы».....	37
4.1 Общий перечень вопросов курсового проектирования и их распределение по классам и темам.....	38
4.2 Мобильные приборы систем управления, телемеханики и телеметрии.....	51
4.3 Мобильные кодеки и приборы логического анализа сигналов цифровых интерфейсов связи.....	54
4.4 Мобильные приборы считывания, анализа, обработки и воспроизведения образов.....	56
4.5 Мобильные приборы измерения и контроля.....	58
4.6 Мобильные приборы моделирования <i>USB</i> -устройств.....	60
4.7 Мобильные модули для распределённых систем и параллельных вычислений.....	61
4.8 Мобильные приборы навигационных систем.....	62
4.9 Универсальные отладочные стенды.....	65

5	Методика разработки схемы электрической принципиальной.....	68
5.1	Принципиальные электрические схемы питания и заряда литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов.....	70
5.2	Варианты условных графических обозначений микроконтроллеров на принципиальных электрических схемах.....	71
5.3	Схемы питания и тактирования микроконтроллеров.....	73
5.4	Принципиальные схемы управления модулями связи, считывания данных и навигации на базе интерфейса <i>UART</i>	76
5.5	Принципиальные схемы связи приборов по интерфейсу <i>I2C</i>	79
5.6	Принципиальные схемы управления модулями ввода-вывода и хранения информации на базе интерфейса <i>SPI</i>	79
5.7	Принцип подключения датчиков к шине <i>1-WIRE</i>	81
5.8	Подключение цифровой видеокамеры.....	82
5.9	Варианты аудиоинтерфейсов.....	83
5.10	Принципиальные схемы <i>Ethernet</i> -адаптеров.....	84
5.11	Схемотехнические решения управления <i>USB</i> -интерфейсом.....	86
6	Методика проектирования печатных плат.....	88
6.1	Создание структуры проекта печатной платы.....	88
6.2	Создание библиотеки элементов.....	89
6.3	Создание библиотеки посадочных мест.....	90
6.4	Проектирование электрической схемы.....	91
6.5	Перенос информации о проекте из схемы на печатную плату.....	93
6.6	Определение структуры платы и требований к параметрам печатной платы посредством правил.....	94
6.7	Размещение элементов на плате.....	96
6.8	Трассировка проводников, добавление полигонов металлизации.....	97
6.9	Оформление документации на печатную плату.....	100
6.10	Подготовка файлов для производства печатной платы.....	101
7	Методика компьютерного моделирования электрических схем приборов на микроконтроллерах.....	102
7.1	Компьютерные модели электронных средств пользовательского интерфейса.....	102
7.2	Компьютерные модели <i>UART</i> -подобных интерфейсов.....	104
7.3	Компьютерная модель организации связи по <i>SPI</i>	105
7.4	Компьютерная модель организации связи по <i>I2C</i>	106
	Заключение.....	108
	Приложение А Образец задания по курсовому проекту.....	109
	Приложение Б Образец титульного листа.....	111
	Приложение В Пример схемы электрической принципиальной декодера звука.....	112
	Приложение Г Пример сборочного чертежа.....	113
	Приложение Д Пример вида сбоку печатной платы.....	114
	Приложение Е Пример спецификации декодера звука.....	115
	Список использованных источников.....	117

ВВЕДЕНИЕ

Курсовое проектирование как одна из форм текущей аттестации студента является обязательным элементом подготовки специалистов с высшим образованием и предварительным этапом к дипломному проектированию. Оно представляет собой самостоятельный труд, состоящий в решении учебной или реальной задачи по изучаемой дисциплине, отражает способности владения студентом базовыми знаниями, его творческие возможности, аккуратность, целеустремлённость, умение думать и анализировать, излагать мысли в научно-техническом стиле и доводить дело до логического завершения [1].

Цель курсового проектирования по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» заключается в получении студентом практических навыков разработки мобильных приборов и модулей вычислительных систем, их системно-технического проектирования, моделирования, программирования, статистических испытаний и комплексном анализе работоспособности.

Процесс разработки мобильных приборов и систем с характеристиками автономности, переносимости, возможной подвижности, лёгкости в перестройке структуры и портативности, разделён на две части: проектную и вычислительную. В современном контексте «вычислительные системы» предполагают использование микропроцессорной техники, поэтому под «системой» подразумевается множество взаимосвязанных микропроцессорных модулей, в совокупности наделяющих её принципиально новыми свойствами и функциями, не присущими ни одному из модулей, её составляющих.

Среди задач общего плана, решаемых в курсовом проекте по дисциплине «Мобильные вычислительные системы», выделяются следующие:

- 1 Общетеchnическое обоснование разработки.
- 2 Разработка структурной электрической схемы мобильного прибора.
- 3 Разработка принципиальной электрической схемы прибора.
- 4 Разработка модели и алгоритмов функционирования прибора.
- 5 Разработка конструкции проектируемого прибора.
- 6 Расчёт конструктивно-технологических параметров прибора.

Конкретные задачи определяются спецификой темы и отражаются в заполненном преподавателем бланке задания по курсовому проекту, образец которого представлен в приложении А. Решение задач сопровождается программным, графическим и макетным материалом, подкрепляемым пояснительной запиской, где автор-студент последовательно и логично обосновывает методы решения, поясняя его взаимно дополняющими способами: вербально, таблично, графически посредством диаграмм и схем. Это формирует навыки по оформлению текстовой и графической документации согласно требованиям государственных стандартов и стандарта предприятия «Дипломные проекты (работы). Общие требования. СТП 01–2017».

Данное учебно-методическое пособие соответствует Положению об организации и проведении курсового проектирования в БГУИР и уточняет специфику курсового проектирования по дисциплине «Мобильные вычислительные системы».

1 ТЕМАТИКА, ФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ И ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МОБИЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ»

Предлагаемый перечень тем курсовых проектов по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» представлен далее в подразделе 1.1. Темы проектов охватывают компетенции обучения, связанные с системотехникой, цифровой схемотехникой, проектированием печатных плат, конструированием и моделированием устройств, приборов и распределённых систем, программированием микроконтроллеров, обработкой сигналов и многомерных массивов, анализом данных, распознаванием образов, идентификацией объектов.

Форма организации курсового проектирования по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» принципиально не отличается от формы организации курсового проектирования по иным дисциплинам БГУИР. Она подробно описана в Положении об организации и проведении курсового проектирования в БГУИР и в разделе 1 пособия [1].

Курсовой проект состоит из двух самостоятельных частей: пояснительной записки и графического материала, но может дополнительно включать макеты, модели, образцы. Пояснительная записка и графический материал выполняются только с использованием средств вычислительной техники и оформляются в соответствии с требованиями стандартов единой системы конструкторской (ЕСКД) и программной (ЕСПД) документации: ГОСТ 2.004, 2.104, 2.105, 2.106, 2.109, 2.123, 2.201, 2.302, 2.303, 2.307, 2.321, 2.417, 2.605, 2.701, 2.702, 2.709, 2.710, 2.721, 2.730, 2.743, 7.1, 7.9, 7.32, 8.417, 19.701, 5651, 15150, 23751, 23752, ГОСТ Р 53386, ГОСТ ИЕС 61293, стандарта БГУИР и данного учебно-методического пособия.

Согласно пункту 1.2.4 СТП 01–2017 БГУИР в пояснительной записке к курсовому проекту, выполненной на листах формата А4 с применением печатающих и графических компьютерных устройств, разрешается исключать рамки и элементы оформления листов по ЕСКД. Пояснительная записка должна быть переплетена или помещена в стандартную папку для курсового проекта.

Согласно пункту 1.2.5 СТП 01–2017 БГУИР пояснительная записка к курсовому проекту включает следующие разделы: титульный лист; реферат; задание по курсовому проекту; содержание; введение; разделы, содержание которых определяется заданием на курсовой проект; заключение; список использованных источников; приложения: перечень элементов, спецификацию, ведомость документов (или ведомость курсового проекта). В данном учебно-методическом пособии внимание акцентируется на нюансах, связанных с оформлением перечисленных разделов в контексте дисциплины «Мобильные вычислительные системы».

Детальные требования к тексту пояснительной записки и её оформлению, требования, предъявляемые к графическому материалу, приведены соответственно в подразделе 1.4 и разделах 2, 3, 5 и 6 данного учебно-методического пособия, а также в стандарте БГУИР.

1.1 Тематика курсового проектирования

1.1.1 Курсовые проекты по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» предназначены для приобретения навыков в решении научно-практических задач по разработке мобильных портативных приборов на базе современных микроконтроллерных архитектур *ARM Cortex-M* (точнее, микроконтроллеров с архитектурами *ARM Cortex-M0/M0+/M3/M4* различных мировых производителей) и *Tensilica Xtensa LX106/L106/LX6* с поддержкой стандартных проводных и беспроводных интерфейсов связи.

1.1.2 Темы курсовых проектов разрабатываются и утверждаются кафедрой проектирования информационно-компьютерных систем, обеспечивающей изучение дисциплины «Мобильные вычислительные системы», до начала семестра, в котором предусмотрен курсовой проект по учебной дисциплине. Количество утверждённых базовых тем, достаточное для выдачи в учебной группе каждому студенту индивидуального задания.

1.1.3 В предлагаемых курсовых проектах выделяются следующие основные группы тем, более подробно изложенные в разделе 4: приборы систем управления и телемеханики; кодеки и приборы логического анализа сигналов цифровых интерфейсов связи; приборы считывания, анализа, обработки и воспроизведения образов; приборы измерения и контроля; приборы моделирования *USB*-устройств; модули для распределённых систем и параллельных вычислений; навигационные приборы; универсальные отладочные стенды.

1.1.4 По дисциплине «Мобильные вычислительные системы» сформирован базовый перечень следующих тем курсовых проектов:

- 1 *Web*-сервер системы «Умный дом» с *GPRS*-интерфейсом.
- 2 *Web*-сервер системы «Умный дом» с *Ethernet*-интерфейсом.
- 3 Логический анализатор пакетов интерфейса *USB*.
- 4 Логический анализатор интерфейса *IrDA*.
- 5 Логический анализатор изображений осциллограмм интерфейса *IrDA*.
- 6 Логический анализатор пакетов интерфейса *Ethernet*.
- 7 Логический анализатор осциллограмм интерфейса *USART*.
- 8 Логический анализатор осциллограмм интерфейса *I2C*.
- 9 Логический анализатор осциллограмм интерфейса *SPI*.
- 10 Логический анализатор осциллограмм интерфейса *I2S*.
- 11 Логический анализатор осциллограмм *CAN*-интерфейса.
- 12 Мобильный декодер штрих-кодов.
- 13 Мобильный декодер *QR*-кодов.
- 14 Мобильный сканер *BAR*- и *QR*-кодов.
- 15 Мобильное ведомое *USB HID*-устройство.
- 16 Мобильное ведомое *USB CDC*-устройство.
- 17 Мобильное ведомое *USB MSC*-устройство.
- 18 Мобильное ведомое *USB* аудиоустройство.
- 19 Мобильное ведомое *USB* видеоустройство.
- 20 Мобильное ведущее *USB HID*-устройство.

- 21 Мобильное ведущее *USB CDC*-устройство.
- 22 Мобильное ведущее *USB MSC*-устройство.
- 23 Мобильный детектор движения.
- 24 Мобильный проигрыватель аудиофайлов.
- 25 Мобильный проигрыватель видеофайлов.
- 26 Мобильный клиент-проигрыватель аудиофайлов с *GPRS*-каналом.
- 27 Мобильный клиент-проигрыватель аудиофайлов на базе *Ethernet*.
- 28 Мобильный клиент-проигрыватель видеофайлов с *GPRS*-каналом.
- 29 Мобильный клиент-проигрыватель видеофайлов на базе *Ethernet*.
- 30 Мобильный анализатор спектра аудиофайлов.
- 31 Мобильный анализатор спектра видеофайлов.
- 32 Мобильный цифровой фильтр аудиофайлов.
- 33 Мобильный цифровой фильтр видеофайлов.
- 34 Мобильный детектор аудиообразов.
- 35 Мобильный детектор видеообразов.
- 36 Мобильный статистический анализатор аудиоданных.
- 37 Мобильный статистический анализатор видеоданных.
- 38 Мобильный синтезатор векторных аудиообразов.
- 39 Мобильный синтезатор векторных видеообразов.
- 40 Транспьютерный модуль с *GPRS*-каналом связи.
- 41 Транспьютерный модуль с *Ethernet*-интерфейсом.
- 42 Мобильный сканер *RFID*-меток на базе модуля *EM-18*.
- 43 Мобильный регистратор аудиосигналов.
- 44 Мобильный регистратор видеосигналов.
- 45 Мобильная *IP*-видеокамера на базе *ARM Cortex-M4*.
- 46 Мобильный регистратор данных *IP*-видеокамеры.
- 47 Мобильный прибор распознавания образов в аудиопотоке.
- 48 Мобильный прибор распознавания образов в видеопотоке.
- 49 Мобильный цветовой анализатор видеообразов.
- 50 Мобильный прибор распознавания автомобильных номеров.
- 51 Мобильный информатор.
- 52 Мобильный прибор оптического считывания цифровых показаний измерительной техники.
- 53 Мобильный прибор с поддержкой интерфейсов *BLE5.0* и *NFC*.
- 54 Мобильный прибор с поддержкой *IoT*-технологии.
- 55 Мобильный прибор оптического считывания стрелочных показаний измерительной техники.
- 56 Мобильный сканер *UHF RFID*-меток на базе модуля *YR903*.
- 57 Мобильный прибор *GPS*-навигации.
- 58 Мобильный прибор инерциальной навигации.
- 59 Мобильный прибор светомузыкальной индикации.
- 60 Мобильный датчик параметров микроклимата с поддержкой *mesh*-сети с *BLE5.0*.
- 61 Мобильный прибор обмена данными через *WiFi* по протоколу *MQTT*.

62 Мобильный прибор обмена данными через *WiFi* по протоколу *MODBUS RTU*.

63 Мобильный прибор обмена данными через *WiFi* по протоколу *MODBUS TCP*.

64 Мобильный прибор обмена данными через *WiFi* по протоколу МЭК-104.

65 Мобильный прибор обмена данными через *Ethernet* по протоколу *MQTT*.

66 Мобильный прибор обмена данными через *Ethernet* по протоколу *MODBUS RTU*.

67 Мобильный прибор обмена данными через *Ethernet* по протоколу *MODBUS TCP*.

68 Мобильный прибор обмена данными через *Ethernet* по протоколу МЭК-104.

69 Мобильный *LAN*-расширитель на базе *Tensilica Xtensa*.

70 Мобильная *IP*-видеокамера на базе *Tensilica Xtensa*.

71 *Web*-сервер системы «Умный дом» с *WiFi*-интерфейсом.

72 Мобильный клиент-проигрыватель видеофайлов с *WiFi*-интерфейсом.

73 Мобильный прибор *TLS*-шифрования на базе *ARM Cortex-M4*.

74 Мобильный прибор *TLS*-шифрования на базе *Tensilica Xtensa*.

75 Мобильный сканер *NFC*-меток на базе *ARM Cortex-M4*.

76 Мобильный сканер *NFC*-меток на базе *Tensilica Xtensa*.

77 Мобильный тепловизор на базе *ARM Cortex-M4*.

78 Мобильный тепловизор на базе *ARM Cortex-M4* с *WiFi*-каналом связи.

79 Мобильный тепловизор на базе *Tensilica Xtensa* с *WiFi*-каналом связи.

80 Мобильный прибор измерения электрической ёмкости на базе таймера 555.

81 Прибор измерения электрической ёмкости на базе микроконтроллерного АЦП.

82 Универсальный отладочный стенд на базе *ARM Cortex-M4*.

83 Универсальный учебный отладочный стенд с беспроводными интерфейсами.

84 Мобильный прибор с *CAN*-интерфейсом на базе *ARM Cortex-M4*.

85 Мобильный прибор с *CAN*-интерфейсом на базе *Tensilica Xtensa*.

86 Мобильный анализатор пакетов данных *CAN*-интерфейса с радиоканалом связи.

87 Мобильный прибор восстановления изображения по отдельным фрагментам на базе *Tensilica Xtensa* с *WiFi*-каналом связи.

88 Мобильный электронный ценник с радиоканалом связи.

89 Мобильный электронный ценник с инфракрасным каналом связи.

90 Мобильная базовая станция системы управления электронными ценниками с радиоканалом связи.

91 Мобильная базовая станция системы управления электронными ценниками с инфракрасным каналом связи.

92 Мобильный трекер-ошейник.

93 Мобильный трекер системы мониторинга перемещения подконтрольных объектов.

94 Базовая станция системы мониторинга перемещения подконтрольных объектов.

95 Мобильный прибор виброакустической диагностики с поддержкой *mesh*-сети на базе *BLE5.0*.

96 Мобильный прибор тепловой диагностики с поддержкой *mesh*-сети и *BLE5.0*.

97 Мобильный прибор интегрированной виброакустической и тепловой диагностики на базе *Tensilica Xtensa* с *WiFi*-каналом связи.

98 Мобильный прибор распознавания типа движения по сигналам датчиков инерциальной навигации на базе *ARM Cortex-M4*.

99 Мобильный прибор распознавания типа движения по сигналам датчиков инерциальной навигации на базе *Tensilica Xtensa*.

100 Мобильный *USB*-принтер.

101 Мобильный прибор измерения освещённости с беспроводным каналом связи.

102 Мобильный универсальный термометр с беспроводным каналом связи.

103 Мобильный ультразвуковой дальномер с беспроводным каналом связи.

104 Мобильный трекер багажа.

105 Мобильный прибор встраивания аудиоинформации в шум.

106 Мобильный прибор эквализации гистограмм выборок аудиопотока.

107 Мобильный прибор эквализации гистограмм яркостного компонента кадров видеопотока.

1.1.5 Представленный перечень тем может ежегодно незначительно меняться и дополняться согласно решению кафедры.

1.1.6 Исходя из Положения об организации и проведении курсового проектирования в БГУИР, студент вправе либо выбрать тему курсового проекта из числа предложенных преподавателем (кафедрой), либо самостоятельно предложить тему курсового проекта с обоснованием её целесообразности.

1.1.7 В случае самостоятельного предложения студентом темы он уточняет с руководителем задачи курсового проекта, исходные данные, оформляет задание по работе в соответствии с формой приложения А с учётом календарного плана.

Пояснения к заданиям по темам курсового проекта отражены в разделе 4 данного учебно-методического пособия.

1.1.8 Задание должно соответствовать требованиям и условиям, описанным в пунктах 2.8–2.10 Положения об организации и проведении курсового проектирования в БГУИР, и в разделе 1 пособия [1]. Задание распечатывается на одном листе с обеих сторон, подписывается студентом и руководителем работы, датируется днём выдачи, регистрируется преподавателем и утверждается заведующим кафедрой.

1.2 Требования к оформлению титульного листа

1.2.1 Образец титульного листа, с которого начинается пояснительная записка, представлен в приложении Б.

1.2.2 На титульном листе образца вместо «учёная_степень» записывается учёная степень руководителя курсового проекта, а вместо «учёное_звание» – его учёное звание. Правило указания учёной степени и учёного звания руководителя описано в пункте 2.1.2 пособия [1].

1.2.3 Также на титульном листе вместо «И. О. Фамилия_рук_1», «И. О. Фамилия_рук_2», «ТЕМА_КУРСОВОГО_ПРОЕКТА», «№_темы_порядковый» и «И. О. Фамилия_студента» ставятся соответственно инициалы и фамилия первого и второго руководителей, наименование темы соответствует выданному заданию, трёхзначный порядковый номер темы курсового проекта, например, 003, и наконец, инициалы и фамилия студента.

1.2.4 В связи с интеграцией в курсовом проекте нескольких специализаций (по цифровой схмотехнике, программированию, моделированию и конструированию электронных устройств) руководителей предполагается двое.

1.2.5 Обозначение пояснительной записки с учётом трёхзначного порядкового номера темы курсового проекта, например, темы с номером 019 выглядит следующим образом: БГУИР КП 1-39 03 02 019 ПЗ.

1.2.6 Остальные требования к оформлению титульного листа представлены в пунктах 2.1.3–2.1.6 пособия [1] и в пунктах 1.2.6, 1.2.7, 2.2.8 СТП 01–2017 БГУИР.

1.3 Требования к заданию по курсовому проекту

1.3.1 Задание по курсовому проекту заполняется стандартно по форме, пример которой приведён в приложении А.

1.3.2 Согласно примеру задания, его структура состоит из восьми пунктов. Основными из них являются: исходные данные к проекту (пункт 3), содержание расчётно-пояснительной записки (пункт 4), перечень графического материала (пункт 5) и календарный график работы на весь период проектирования (пункт 8).

1.3.3 В пункте 3 «Исходные данные к проекту» указываются назначение проектируемого прибора, его электрические параметры, общие технические условия и конструкторские требования.

1.3.4 Пункт 4 «Содержание расчётно-пояснительной записки» наиболее объёмный в задании и содержит вопросы по основной его части. В этом пункте, кроме проектной оболочки в виде титульного листа, реферата, задания, содержания, введения, заключения, списка использованных источников и приложений, отражена сущность проекта. Она заключается:

- в аналитическом обзоре теоретических основ курсового проекта, принципов построения современных мобильных портативных приборов, функционирования отдельных узлов, элементов, интерфейсов связи;

- в изучении и систематизации современных структурных и архитектурных решений, микропроцессорной базы аналогов и прототипов по теме курсо-

вого проекта, методов моделирования приборов и способов их программирования, алгоритмов обработки данных и автоматизированного анализа, технологий и компьютерных систем проектирования электрических структурных и принципиальных схем, печатных плат, механической конструкции прибора, пользовательского интерфейса;

- в разработке алгоритмов и диаграмм функционирования прибора;
- в расчёте конструктивно-технологических параметров электронного модуля прибора.

1.3.5 В пункте 5 «Перечень графического материала» перечислены чертежи и плакаты, обязательные к разработке в соответствии с разделом 1 и пунктом 2.8 Положения об организации и проведении курсового проектирования в БГУИР и подразделом 1.2 стандарта БГУИР. Графический материал перечисляется с точным указанием вида, формата и количества листов, а также точным наименованием каждого чертежа и плаката. Всего в перечне должно быть указано не менее трёх листов в пересчёте на формат А3. Обязательный к разработке графический материал также используется студентом в процессе защиты курсового проекта, т. к. отражает последовательность и логику работы студента над проектом.

1.3.6 В пункте 8 «Календарный график работы на весь период проектирования» руководителем устанавливается календарный план работы, которого следует придерживаться студенту для обеспечения ритмичности проектирования, с учётом примерного процентного соотношения выполнения этапов.

1.3.7 В назначении прибора (подпункт 3.1 задания) кратко формулируется его целевое использование, например, «воспроизведение аудиофайла SD-карты» для темы 24 или «генерация аудиопотока с функционально заданной спектрограммой» для темы 38.

1.3.8 В подпункте 3.2 «Электрические параметры» указываются требования по питанию прибора, способах зарядки встроенной аккумуляторной батареи, предельному току потребления.

1.3.9 В подпункте 3.4 «Конструкторские требования» перечисляются ограничения по габаритным размерам и массе проектируемого прибора.

1.3.10 Остальные параметры и требования соответствуют образцу задания в приложении А. Следует иметь в виду, что некоторые стандарты, указанные в образце задания, со временем могут меняться, поэтому для подтверждения актуальности требований задание должно быть согласовано с руководителями или с консультантами по проекту.

1.3.11 При распечатывании задания необходимо помнить, что оно печатается на одном листе с обеих сторон, подписывается студентом и руководителями проекта, датируется днём выдачи, регистрируется преподавателем и утверждается заведующим кафедрой. Лицевая и оборотная страницы листа задания не нумеруются, но включаются в общее количество страниц пояснительной записки (см. также пункт 1.2.9 СТП 01 – 2017 БГУИР).

1.4 Краткие требования к тексту пояснительной записки

В данном подразделе кратко перечислены основные требования, предъявляемые к пояснительной записке в целом и к её составным текстовым частям: реферату; содержанию; перечню условных обозначений, символов и терминов (при необходимости); введению; изложению основного текста; заключению; списку использованных источников; приложениям.

1.4.1 В соответствии с пунктом 1.2.4 СТП 01 – 2017 БГУИР пояснительная записка выполняется на листах формата А4 с применением компьютера и печатающего устройства. Из оформления листов пояснительной записки разрешается исключать рамки и иные оформительские элементы по ЕСКД.

1.4.2 Общее количество листов пояснительной записки без учёта приложений справочного или информационного характера, рисунков, таблиц и формул, как правило, составляет 40–60 страниц печатного текста, набранного согласно требованиям пунктов 2.1.1 – 2.1.3 СТП 01 – 2017 БГУИР.

1.4.3 Реферат пояснительной записки, следующий по порядку непосредственно за титульным листом, оформляется в соответствии с ГОСТ 7.9–95 или согласно пункту 1.2.8 СТП 01 – 2017 БГУИР или подразделу 2.2 пособия [1].

При написании реферата важно помнить, что в качестве ключевых слов должны использоваться слова и короткие фразы, несущие в себе главную смысловую нагрузку пояснительной записки.

В формулировании предмета проектирования как конкретного аспекта явления, находящегося в фокусе проекта, и объекта проектирования в виде сущности (инструментария воздействия на предмет или методов и алгоритмов его изучения), на которую направлен процесс познания, рекомендуется обратиться за пояснениями к источникам [2, 3].

1.4.4 Правила оформления и образец содержания пояснительной записки приведены в пункте 2.2.7 стандарта БГУИР и в подразделе 2.4 источника [1].

1.4.5 Перечень условных обозначений, символов и терминов рекомендуется вводить в случае их частого использования в пояснительной записке с учётом общего количества различных терминов, сокращений и аббревиатур не менее семи. Перечень условных обозначений, символов и терминов оформляется согласно подразделу 6.14 ГОСТ 7.32–2017, т. е. в виде списка терминологических статей, располагающегося столбцом без знаков препинания в конце, где слева без абзацного отступа в алфавитном порядке приводятся термины, а справа через тире – их определения.

1.4.6 Требования к введению и рекомендуемое его содержание перечислены в пункте 1.2.11 стандарта БГУИР и в подразделе 2.5 пособия [1].

1.4.7 Изложение основного текста пояснительной записки осуществляется согласно требованиям пункта 1.2.12 стандарта БГУИР или подраздела 2.6 пособия [1]. Стиль изложения текста должен быть строгим, научно-техническим, а повествование в безличной форме.

Правила оформления пояснительной записки указаны в ГОСТ 2.105–95, в разделе 2 стандарта БГУИР, разделе 3 пособия [1].

1.4.8 Заключение к пояснительной записке оформляется в соответствии с требованиями пункта 1.2.15 стандарта БГУИР или подраздела 2.7 пособия [1]. На основании результатов непосредственного процесса проектирования и статистических испытаний моделей проекта заключение должно сочетать в себе выводы как отчётного (в виде «изучено», «проанализировано», «разработано» и т. д.), так и конкретного (например, «гистограмма плотности распределения квантованных уровней сигнала шума *MEMS*-акселерометра имеет форму, близкую к симметричному колоколообразному виду, который аппроксимируется гауссианом») характера.

1.4.9 Полный перечень требований к оформлению списка использованных источников представлен в ГОСТ 7.1 – 2003 и в подразделе 2.8 стандарта БГУИР.

1.4.10 Правила оформления приложений изложены в ГОСТ 2.105 – 95, в подразделе 2.7 стандарта БГУИР, подразделе 2.9 и приложении В пособия [1].

1.5 Исходные данные к курсовому проекту

1.5.1 В качестве исходных данных к курсовому проекту по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» выступают условия, налагающие ограничения на среднее и пиковое энергопотребление разрабатываемого прибора, способы его энергоснабжения и энергообеспечения, функциональные возможности, массогабаритные параметры, автономность, мобильность, устойчивость к воздействиям окружающей среды.

1.5.2 Исходя из задания по курсовому проекту перед студентом обозначаются архитектурное ядро и микропроцессорная база прибора, цельная структура проектного решения и пользовательского интерфейса, методы вычислений и моделирования, методики расчётов.

1.6 Требования к программной реализации и моделированию алгоритмов

1.6.1 Программа курсового проекта разрабатывается на процедурном, модульном или объектно-ориентированном языке программирования.

1.6.2 Программа должна отражать глубину и математический фундамент алгоритмов обработки данных, базироваться на вычислительных аппаратах и моделях, математически обоснованных в пояснительной записке и представленных в схемах алгоритмов. Количество символов (иным словом, блоков) в схеме алгоритма должно быть не менее пятнадцати, с обязательным наличием ветвлений.

1.6.3 В общем программа должна выполняться в структуре проектируемого прибора с учётом заданной его микропроцессорной архитектуры.

1.6.4 Некоторые сложные вычислительные алгоритмы могут моделироваться и отлаживаться на ином, не указанном в задании микропроцессорном ядре с использованием высокоуровневых языков программирования и программно-математических сред. Но как минимум один согласованный с руководителем достаточно сложный с вычислительной точки зрения алгоритм проекта

должен быть разработан под заданную архитектуру, смоделирован и представлен схемой алгоритма в графической части, детально описан в пояснительной записке и продемонстрирован комиссии на защите.

1.6.5 Моделирование аппаратных интерфейсов и части вычислительных алгоритмов проекта допустимо как натурным способом с применением отладочных средств, так и с использованием компьютерных и онлайн-сред, например, *Proteus*.

1.6.6 В моделировании проектируемого прибора следует учесть возможность анимационного отображения процессов обработки и анализа массивов данных, заключающегося в визуальном движении объектов пользовательского интерфейса, изменении графиков, таблиц, изображений, «подсвечивании» наиболее информативных частей.

1.6.7 Наряду с программированием вычислительных алгоритмов в приборостроении и моделировании микропроцессорных устройств актуально применение и событийно-управляемого программирования. Парадигма событийно-управляемого программирования находит отражение в виде диаграммы состояний, которая позволяет описать возможные последовательности состояний и переходов, в совокупности характеризующих поведение программы прибора в течение её жизненного цикла [1]. Диаграмма состояний также отражает динамическое поведение программы на основе спецификации реакций на восприятие конкретных событий. Для полноценного описания работы микропроцессорного прибора диаграмма состояний, изображающая взаимосвязи триггеров (обработчиков) пользовательских событий как воздействий на соответствующие компоненты графического интерфейса и аппаратных прерываний базового микропроцессора, должна включать в себя не менее десяти составных блоков.

2 КРАТКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

В данном разделе кратко перечислены основные требования к оформлению рубрикаций, заголовков, содержания, математических формул, иллюстраций и таблиц, ссылок на литературные источники при изложении текста.

При оформлении пояснительной записки необходимо руководствоваться следующими нормативными документами: ГОСТ 2.105–95, ГОСТ 2.106–96, ГОСТ 2.321–84, ГОСТ 8.417–2002; разделом 2 стандарта БГУИР; разделом 3 пособия [1].

2.1 Оформление рубрикаций, заголовков и содержания

2.1.1 Основные правила оформления рубрикаций, заголовков и содержания пояснительной записки курсового проекта отражены в ГОСТ 2.105–95, подразделе 2.2 стандарта БГУИР, подразделе 3.1 пособия [1].

2.1.2 В соответствии со спецификой курсового проекта по дисциплине «Мобильные вычислительные системы», связанной с наличием элементов схемотехники и проектированием печатных плат, в содержание пояснительной записки между листингом программного кода и ведомостью документов (см. пример в пункте 3.1.8 пособия [1]) необходимо вставить перечень элементов и спецификацию в качестве обязательных приложений. Требования к оформлению перечня элементов и спецификации перечислены соответственно в подразделах 2.4 и 3.4 данного учебно-методического пособия.

2.1.3 При оформлении многострочных заголовков разделов или подразделов допускается выравнивание их строк либо по первой цифре номера заголовка согласно ГОСТ 2.105–95, либо по первой букве заголовка в соответствии с приложением Л стандарта БГУИР или приложения Д пособия [1].

2.2 Основные правила изложения текста и написания математических формул

При изложении текста пояснительной записки и написании математических формул необходимо руководствоваться подразделами 4.2 ГОСТ 2.105–95 и 2.3, 2.4 стандарта БГУИР. Следует обратить внимание на перечисленные ниже наиболее часто игнорируемые студентами правила.

2.2.1 В тексте документа не допускается (см. пункт 4.2.3 ГОСТ 2.105–95) применение оборотов разговорной речи, техницизмов, профессионализмов и произвольных словообразований, а также для одного и того же понятия различных научно-технических терминов, близких по смыслу, т. е. синонимов, иностранных слов и терминов при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке.

2.2.2 Согласно пункту 4.2.4 ГОСТ 2.105–95 недопустимо применение математических знаков «-» (минус) и «+» (плюс) в тексте пояснительной записки,

за исключением формул, таблиц и рисунков. В тексте следует писать слова «минус» и «плюс».

2.2.3 При использовании простых перечислений, состоящих из слов и словосочетаний, каждый элемент перечисления записывается с новой строки, начиная с абзацного отступа и знака «тире», а в конце ставится точка с запятой (см. пункты 2.3.5 стандарта БГУИР или 3.2.7 пособия [1]).

2.2.4 При сложном перечислении, состоящем из нескольких предложений, каждый элемент перечисления нумеруется, пишется с прописной буквы, начиная с абзацного отступа, а в конце ставится точка (см. пункты 2.3.7 стандарта БГУИР или 3.2.9 пособия [1]).

Таким образом, если хотя бы один пункт перечисления состоит из нескольких предложений, оно автоматически становится сложным, и оформлять подобное перечисление необходимо как сложное.

2.2.5 В тексте пояснительной записки обязательно должны присутствовать ссылки на использованные литературные источники. Ссылки ставятся в конце предложения с заимствованной из соответствующего источника информацией, оформляются в квадратных скобках с указанием номера источника или их перечнем через запятую либо тире. Последовательность ссылок определяется порядком их следования при изложении текста пояснительной записки от её начала. Плотность ссылок на использованные источники не должна превышать трёх на абзац. В тексте пояснительной записки все ссылки записываются арабскими цифрами в квадратных скобках в возрастающем порядке. Ссылки должны быть приведены на все без исключения источники из списка использованных источников, следующего после заключения к пояснительной записке.

2.2.6 Ссылки на порядковые номера формул (сквозные или в пределах раздела пояснительной записки) приводятся в круглых скобках с обязательным указанием одного из слов: «формула», «уравнение», «выражение», «равенство», «функция» и т. п.

2.2.7 Латинские символы в математических формулах изображаются курсивно, греческие символы и кириллица – прямо. Исключение составляют стандартные тригонометрические функции и иные устойчивые обозначения научных понятий: \sin , \cos , tg , ctg , \lim , \max , \min .

2.2.8 После формулы следует помещать перечень и расшифровку имеющихся в ней параметров, которые не были пояснены ранее. Перечень параметров формулы начинается со слова «где», которое приводится с новой строки без абзацного отступа; после слова «где» двоеточие не ставится. В этой же строке помещается первый поясняющий символ. Символы необходимо отделять от расшифровок посредством тире, выравнивая перечень по первому символу параметра предыдущей и, соответственно, первой строки. Каждая расшифровка заканчивается точкой с запятой. Размерность символа или коэффициента указывается в конце расшифровки и отделяется запятой.

2.2.9 Запрещается начинать формулой подпункт, пункт, подраздел или раздел пояснительной записки. Завершать их формулами также настоятельно не рекомендуется. Следует обозначать вводную и завершающую текстовые части.

2.3 Оформление иллюстраций и таблиц

Правила оформления иллюстраций (рисунков) и таблиц приведены в подразделах 4.3 и 4.4 ГОСТ 2.105–95, а также 2.5 и 2.6 СТП 01–2017 БГУИР. Ниже следуют наиболее важные из них – правила, в которых ошибки встречаются чаще всего.

2.3.1 Каждый рисунок должен быть оригинальным, не повторяющимся на протяжении всей пояснительной записки. Рисунки могут быть схожими, но никак не идентичными. Но и незначительные их отличия должны быть осмысленными и обоснованными.

2.3.2 Рисунок должен располагаться после абзаца, в котором имеется на него первая ссылка.

2.3.3 Допускается размещение на отдельном листе нескольких рисунков, но помещать данный лист необходимо за страницей со ссылкой на последний из размещённых рисунков.

2.3.4 Подрисуночная подпись, сопровождающая иллюстрацию, должна содержать слово «Рисунок» без сокращения и его порядковый номер (сквозной или в пределах раздела пояснительной записки) арабскими цифрами. Наименование, которое обязана иметь иллюстрация, записывается после номера рисунка через тире с прописной буквы. Точка после номера и наименования рисунка не ставится.

2.3.5 Подпись иллюстраций, расположенных в приложениях, должна содержать слово «Рисунок», буквенное обозначение приложения и порядковый номер иллюстрации в приложении, между которыми ставится точка, например, «Рисунок А.1».

2.3.6 Цифры, буквы и другие условные обозначения позиций на рисунке приводятся без скобок, отделяя их от расшифровок знаками тире.

2.3.7 Если обозначения, используемые в иллюстрации, разъясняются в тексте пояснительной записки, то их расшифровки в подрисуночных подписях не требуются. Не разрешается часть деталей иллюстрации пояснять в тексте, а другую – расшифровывать в подрисуночной подписи.

2.3.8 Иллюстрации необходимо выполнять с помощью компьютерной техники. Разрешение каждой иллюстрации по горизонтали и вертикали должно быть не менее 300 dpi. Допускается цветное оформление иллюстраций.

2.3.9 Таблица помещается под текстом, в котором впервые дана на неё ссылка, или на следующей странице, а при необходимости – в приложении к пояснительной записке.

2.3.10 Таблицы каждого приложения обозначаются отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения.

2.3.11 Запрещается начинать с таблицы или иллюстрации подпункт, пункт, подраздел или раздел пояснительной записки. Завершать их таблицами и иллюстрациями также настоятельно не рекомендуется. До и после таблиц и иллюстраций следует обозначать вводный и поясняющий текст.

2.4 Оформление перечня элементов

Перечень элементов и электронных компонентов обусловлен схемотехнической составляющей курсового проекта по дисциплине «Мобильные вычислительные системы», в один из этапов которого входит разработка схемы электрической принципиальной заданного прибора.

2.4.1 Перечень элементов представляется в виде самостоятельного документа на отдельных листах формата А4 и помещается в пояснительной записке перед ведомостью документов.

2.4.2 Перечень элементов схем электрических принципиальных оформляется либо в соответствии с подразделом 5.7 ГОСТ 2.701–2008, либо согласно пункту 1.2.18 и приложению Г стандарта БГУИР.

2.4.3 Элементы в перечне располагаются в порядке латинского алфавита.

2.5 Оформление ведомости документов

2.5.1 В оформлении ведомости документов, являющейся последним обязательным листом пояснительной записки, в курсовом проекте по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» допустим один из двух вариантов:

- форма ведомости из приложения Д стандарта БГУИР;
- ведомость с формой стандарта 2.106–96.

2.5.2 В случае внедрения результатов курсового проектирования в учебный, производственный или иной процесс, при наличии соответствующего акта о внедрении, он подшивается к пояснительной записке и дополнительно указывается в ведомости документов.

2.5.3 Касательно кодов классификационной характеристики в рамках курсового проекта по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» в связи с его схемотехнической спецификой следует иметь в виду, что в чертежах печатных плат используется фиксированный код 75872х. Класс 75 означает «Детали электрорадиоэлектронные», подкласс 8 – «Платы печатные», группа 7 – «Платы печатные на жёстком основании», подгруппа 2 – «Платы печатные на жёстком основании с печатанными проводниками, двусторонние», вид х обозначается цифрой от 2 до 5 и определяется шириной печатной платы, варьирующейся в диапазоне от 20 до 125 мм [4].

Также в зависимости от темы курсового проекта наиболее вероятно использование одного из следующих двух классов кодов классификационной характеристики [4]:

- 42 «Устройства и системы контроля и регулирования параметров технологических процессов, средства телемеханики, охранной и пожарной сигнализации», подклассы 421, 424–426;
- 46 «Средства радиоэлектронные управления, связи, навигации и вычислительной техники», подклассы 463–469.

3 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Основные требования к графическому материалу курсового проекта и правила его оформления приведены в ГОСТ 2.701, 19.701, разделе 3 стандарта БГУИР и разделе 4 пособия [1], а также, исходя из специфики проекта по дисциплине «Мобильные вычислительные системы», в ГОСТ 2.123, 2.417, 2.702, 2.709, 2.721, 2.730, 2.743, ГОСТ ИЕС 61293–2016.

В графическую часть курсового проекта по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» входят: схема электрическая структурная, схема электрическая принципиальная, чертёж платы печатной, схема алгоритма и диаграмма состояний. Общий объём графической части указывается в задании.

3.1 Общие требования к оформлению чертежей и плакатов

3.1.1 Чертежи и плакаты выполняются с использованием устройств компьютерной печати и оформляются горизонтально на листах чертёжной бумаги формата А2 или А3 с расположением основной надписи в правом нижнем углу. На плакатах, выполняемых по ГОСТ 2.605–68, основная надпись помещается на оборотной стороне.

3.1.2 Основная надпись оформляется согласно ГОСТ 2.104–2006 или подразделу 3.1 стандарта БГУИР, или подразделу 2.10 пособия [1]. Классификационная характеристика в основной надписи выбирается в соответствии с пунктом 2.5.3 данного учебно-методического пособия.

3.1.3 На чертежах и схемах должны быть представлены все данные, необходимые для однозначной передачи информации: условные графические обозначения элементов, их буквенно-цифровые позиционные обозначения, символы физических параметров в характерных точках схемы, цепи питания, поясняющие надписи.

3.1.4 Данные об элементах, устройствах и используемых материалах должны быть указаны в перечнях, оформленных в виде отдельных документов спецификации и помещённых в пояснительную записку перед ведомостью документов курсового проекта.

3.1.5 Элементы, устройства, составные части технической системы на схемах изображаются в виде условных графических обозначений, установленных ГОСТ 2.701, 2.702, 2.709, 2.721, 2.743.

3.1.6 Непосредственную основу чертежей и плакатов составляют линии. Линиями изображаются функциональные, электрические и логические взаимосвязи, условные границы устройств и функциональных групп, символов и блоков схем и диаграмм. Оформлению линий посвящены ГОСТ 2.303–68, ГОСТ 2.721–74, подразделы 5.5 ГОСТ 2.701–2008 и 3.2 стандарта БГУИР.

3.1.7 Линии связи и условные графические обозначения выполняются линиями одной и той же толщины: сплошной тонкой линией толщиной b , равной

0,3–0,4 мм, сплошной утолщённой линией толщиной $2b$ или сплошной толстой линией толщиной $3b$ или $4b$.

3.1.8 Место соединения тонких линий изображается точкой.

3.1.9 Группу сплошных тонких линий рекомендуется объединять в линию групповой связи, изображаемую сплошной утолщённой или толстой линией. Слияние линий связей осуществляется под углом 90 или 45°.

3.1.10 Группа линий связи, имеющих общее функциональное назначение, показывается в однолинейном и многолинейном изображениях.

При однолинейном изображении на тонкую или утолщённую линию под углом 45° (т. е. в направлении от первой к третьей тригонометрической четверти) наносится штрих, над которым помещается число, указывающее количество линий связи в группе. Если количество линий связи в группе не превышает четырёх, возможна замена числа линий соответствующим количеством штрихов на тонкой или утолщённой линии.

При многолинейном изображении указываются все линии связи, причём для визуального восприятия схемы расстояние между двумя соседними линиями должно быть не менее 1 мм.

3.1.11 Направление, в котором распространяется информация или сигналы, показывается на линиях связи стрелками с развалом 60°.

3.2 Методика оформления и требования к схеме электрической структурной

3.2.1 Структурная схема отражает общий принцип работы прибора и должна давать наглядное представление о последовательности взаимодействия его функциональных блоков.

3.2.2 Оформление схемы электрической структурной проводится согласно ГОСТ 2.701, 2.702, 2.710 и подразделу 3.7 стандарта БГУИР.

3.2.3 На структурной схеме в самом общем виде представляются взаимосвязи функциональных блоков прибора с учётом направления передачи сигналов и типов используемых физических интерфейсов.

3.2.4 На простых структурных схемах функциональные блоки располагаются в виде цепочки в соответствии с ходом рабочего процесса в направлении слева направо.

3.2.5 Реальное расположение составных частей прибора в структурной схеме не учитывается и способы (протоколы) связи не раскрываются.

3.2.6 Функциональные блоки на структурной схеме изображаются в виде прямоугольников или условных графических обозначений. Размеры прямоугольников не нормируются, но, согласно пункту 5.4.2 ГОСТ 2.701–2008, они привязываются к модульной сетке.

На структурной схеме, как правило, выделяется модульная сетка нескольких видов, в частности, мелкая и крупная. К мелкой сетке, составляющей модульную основу схемы, привязываются линии связи и непосредственно крупная сетка. К крупной сетке осуществляется привязка функциональных блоков

и координатной сетки так, чтобы каждый блок однозначно определялся координатами его расположения с целью предоставления возможности ссылки на него в разделе обоснования и описания структурной схемы пояснительной записки.

3.2.7 Направления хода процессов и передачи сигналов в приборе обозначаются стрелками с развалом 60° на линиях связи его структурной схемы.

3.2.8 При изображении функциональных блоков в виде прямоугольников их наименования, типы, обозначения, передаточные функции, переходные характеристики, диаграммы вписываются внутрь прямоугольников. Каждое наименование пишется строчными буквами, начиная с прописной.

3.2.9 Допускается указывать тип элемента или обозначение документа (государственный стандарт, технические условия и пр.), на основании которого элемент применён.

3.2.10 На схеме допускается указывать технические характеристики функциональных частей, поясняющие надписи и диаграммы, определяющие последовательность процессов во времени, а также параметры в характерных точках (величины токов, напряжений, формы и величины импульсов и др.). Данные помещаются рядом с графическими обозначениями или на свободном поле схемы.

3.2.11 Структурная схема прибора строится на основе подпункта 4.2.2 «Теоретические сведения и принципы функционирования отдельных узлов прибора» задания по курсовому проекту с учётом технических документов на каждый указанный в задании узел, модуль, элемент.

Пример структурной схемы по теме «Программно-аппаратное средство интегрированного виброакустического и теплового диагностирования узлов автомобильной техники» представлен на рисунке 1. На нём имеется координатная сетка, которая однозначно задаёт позицию *H5* (или *G5*, или *H6*) базового микроконтроллера, дисплея *B5*, контроллера сенсорной панели *B6*, непосредственно сенсорной панели *B8* и т. д.

3.2.12 Схема электрическая структурная должна компоноваться с коэффициентом заполнения не менее 0,7 таким образом, чтобы в ней отсутствовали крупные неиспользуемые площади.

3.2.13 Количество блоков в схеме электрической структурной должно быть не менее десяти.

3.2.14 Схема электрическая структурная имеет код вида схемы «Э1». Он фигурирует в графе обозначения документа основной надписи.

3.3 Методика оформления и требования к схеме электрической принципиальной

3.3.1 Принципиальная схема является наиболее полной электрической схемой прибора. На ней изображаются все электрические элементы, компоненты и модули, необходимые для поддержания электрических процессов в решении поставленной задачи и для обеспечения физического и канального уровней интерфейсов взаимодействия, все межэлементные связи, а также элементы подключения в виде разъёмов и зажимов, которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

3.3.2 Схема электрическая принципиальная оформляется по ГОСТ 2.701–2008, ГОСТ 2.702–2011, ГОСТ 2.709–89, ГОСТ 2.710–81, ГОСТ 2.721–74, ГОСТ 2.730–73, ГОСТ 2.743–91 и подразделам 3.3–3.6 и 3.9 стандарта БГУИР.

3.3.3 Электрические элементы на схеме изображаются условными графическими обозначениями, начертание и размеры которых установлены в стандартах ГОСТ 2.701–2008, ГОСТ 2.721–74, ГОСТ 2.730–73, ГОСТ 2.743–91 и приведены в подразделах 3.3–3.6 стандарта БГУИР.

3.3.4 Согласно пункту 5.4.2 ГОСТ 2.701–2008 все размеры условного графического обозначения элемента допускается пропорционально изменять. При этом установленные пропорции изменений размеров должны относиться ко всем элементам схемы.

3.3.5 Схемы выполняются для приборов, находящихся в отключенном состоянии.

3.3.6 Условные графические обозначения элементов и устройств могут выполняться совмещённым или разнесённым способом.

При необходимости подчеркнуть конструктивную целостность элемента применяется совмещённый способ выполнения его условного графического обозначения. При этом составные части элемента изображаются на схеме так, как они располагаются в изделии, т. е. в непосредственной близости друг к другу либо как единое целое. Так, на рисунке 2, а отдельные части дисплея и сенсорной панели представлены в совмещённом виде дисплейного модуля.

При необходимости подчеркнуть функциональность отдельных частей элемента применяется разнесённый способ (см. рисунок 2, б). При этом условные графические обозначения составных частей элемента располагаются в разных местах схемы.

3.3.7 Обозначения элементов указываются сверху или справа от их изображений. При разнесённом способе выполнения позиционные обозначения проставляются около каждой составной части элементов схемы.

3.3.8 Кроме изображения схемы, в её состав входят надписи, характеризующие входные и выходные цепи, позиционные обозначения и перечень элементов. Всем изображённым на схеме элементам и устройствам присваиваются условные буквенно-цифровые позиционные обозначения в соответствии с ГОСТ 2.710–81.

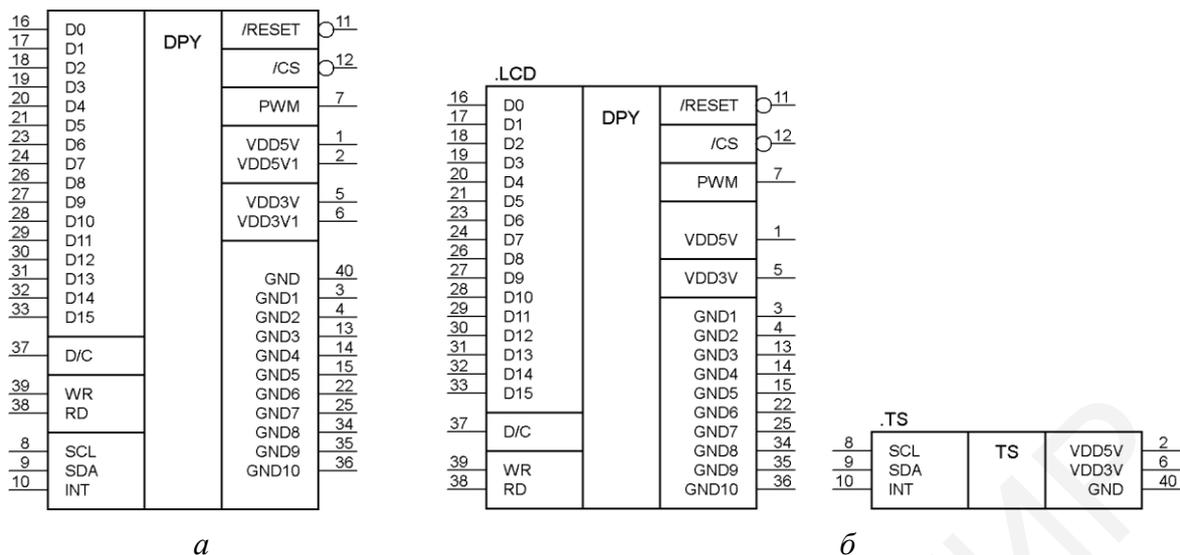


Рисунок 2 – Условное графическое обозначение дисплейного модуля *DM-LCD35RT* в совмещённом (а) и в разнесённом (б) видах

3.3.9 В буквенно-цифровом позиционном обозначении элемента, предназначенном для записи в сокращённой форме сведений о нём, необходимо придерживаться ГОСТ 2.710–81, в частности, его пунктов 2.2.11, 2.2.12, и подраздела 3.10 стандарта БГУИР. Из трёх частей буквенно-цифрового позиционного обозначения первые две – вид и номер – являются обязательными.

Вид определяет группу элементов: *R* – резисторов, *C* – конденсаторов, *L* – индуктивностей, *V* – диодов, транзисторов и иных полупроводниковых приборов, *D* – микросхем, *X* – разъёмов, *H* – дисплеев, *B* – преобразователей неэлектрических величин в электрические, *W* – антенн. Для уточнения вида в буквенно-цифровом позиционном обозначении используются дополнительные буквы.

Буквенные коды видов элементов перечислены в таблице 3.21 стандарта БГУИР. По отношению к схемам приборов курсовых проектов по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» из этого перечня вероятно не будут использованы элементы с кодами *E* (осветительные устройства и нагревательные элементы), *F* (разрядники и предохранители), *P* (измерительные приборы), *Q* (выключатели автоматические и разъединители), *T* (трансформаторы), *U* (устройства связи и преобразования одного вида величин в другой вид). Из коммутационных устройств понадобятся только выключатель/переключатель *SA* и выключатель кнопочный *SB*, из антенн – только *WA*, из соединителей – только *XP*, *XS*, *XW*, из фильтров – только фильтр кварцевый *ZQ*.

3.3.10 Присвоение порядковых номеров элементам, начиная с единицы, в пределах группы элементов с одинаковым буквенным кодом проводится в соответствии с последовательностью их расположения на схеме сверху вниз в направлении слева направо, как, например, *R1*, *R2*, ..., *C1*, *C2* в схеме приложения В. Буквы и цифры позиционного обозначения выполняются чертёжным шрифтом *GOST type B* или *Times New Roman* одного размера.

3.3.11 Позиционные обозначения проставляются на схеме рядом с условными графическими обозначениями элементов с правой стороны или над ними.

3.3.12 Схема электрическая принципиальная должна компоноваться с коэффициентом заполнения не менее 0,8 таким образом, чтобы в ней отсутствовали крупные неиспользуемые площади.

3.3.13 Схема электрическая принципиальная имеет код вида схемы «ЭЗ», который фигурирует в графе обозначения документа основной надписи.

3.4 Требования к оформлению чертежей печатных плат

Печатная плата представляет собой панель или пластину, состоящую из множества послойно расположенных токопроводящих рисунков, чередующихся со слоями диэлектрика. Основное назначение печатных плат заключается в электрическом соединении изделий электронной техники в соответствии с принципиальной схемой печатного узла и их надёжном креплении.

Конструкторская часть курсовых проектов по темам учебной дисциплины «Мобильные вычислительные системы» выполняется на базе двухслойных печатных плат, чертежи которых относятся к графической части проектов.

Основные требования к оформлению чертежей печатных плат перечислены в ГОСТ 2.123–93 и ГОСТ 2.417–91. Следующие положения представляют выдержки правил выполнения чертежей печатных плат из этих стандартов.

3.4.1 В комплектность конструкторских документов на печатные платы, согласно пункту 4.1 ГОСТ 2.123–93, входят:

- базовый чертёж печатной платы как детали; документ не имеет кода; основное его содержание состоит в постоянных данных для всех исполнений типоразмера: изображении печатной платы, материала, габаритных размеров, размеров отверстий, шероховатости и некоторых других требований; данный чертёж выполняется на каждый типоразмер для двусторонней печатной платы;

- чертёж исполнения детали; в основное содержание документа входят переменные данные, относящиеся к конкретному исполнению: изображение печатной платы, отверстия и их размеры, технические требования, проводящий рисунок и т. д.; для двусторонней печатной платы данный чертёж выполняется на каждое исполнение проводящего слоя; в курсовом проекте чертёж печатной платы объединяет постоянные и переменные данные базового чертежа и чертежа исполнения;

- для многослойной печатной платы сборочный чертёж с кодом документа «СБ»; изображаются переменные данные, относящиеся к конкретному исполнению: упрощённое изображение двусторонней печатной платы, отверстия, технические требования, проводящий рисунок.

3.4.2 Согласно пункту 4.8 ГОСТ 2.123–93 в состав постоянных данных, помещаемых на базовом чертеже, могут быть включены: изображение печатной платы; размеры и прочие указания для механической обработки; указания о материале; разметка для установки электрического соединителя; крепежные отверстия для установки печатной платы в сборочной единице; контрольные эле-

менты, предназначенные для контроля и проведения испытаний печатной платы; технические требования; проводящий рисунок; маркировка позиционных обозначений электрорадиоизделий, место обозначения печатной платы; место обозначения сборочной единицы; место порядкового номера изменения.

3.4.3 В соответствии с пунктом 4.9 ГОСТ 2.123–93 в состав переменных данных, помещаемых на чертеже исполнения, могут быть включены: упрощённое изображение печатной платы; проводящий рисунок печатной платы; маркировка позиционных обозначений электрорадиоизделий; обозначение печатной платы; обозначение сборочной единицы; таблица переходных и монтажных отверстий; технические требования.

3.4.4 Согласно пункту 7 ГОСТ 2.417–91 размеры на чертеже печатной платы должны быть указаны одним из следующих способов: в соответствии с требованиями ГОСТ 2.307–2011; нанесением координатной сетки в прямоугольной системе координат; нанесением координатной сетки в полярной системе координат; комбинированным способом при помощи размерных и выносных линий и координатной сетки в прямоугольной или полярной системе координат; в виде таблицы координат элементов проводящего рисунка (проводников, контактных площадок и т. п.).

3.4.5 При нанесении размеров с помощью координатной сетки линии сетки должны нумероваться (см. пункт 8 ГОСТ 2.417–91). Шаг нумерации, который может быть выражен в миллиметрах или в количестве линий сетки, определяется с учётом конструктивной плотности и масштаба изображения.

3.4.6 Допускается выделение отдельных линий координатной сетки, чередующихся через определённые интервалы.

3.4.7 Координатную сетку следует наносить на всё поле чертежа, на часть поверхности печатной платы или рисками по периметру контура печатной платы. Допускается наносить на чертеже отдельные линии координатной сетки, чередующиеся через определённые интервалы. При этом в технических требованиях чертежа следует помещать указания типа: «Линии координатной сетки нанесены через одну».

3.4.8 Согласно пункту 12 ГОСТ 2.417–91 за начало отсчёта в прямоугольной системе координат на главном виде чертежа печатной платы следует принимать: центр крайнего левого или правого нижнего отверстия; левый или правый нижний угол печатной платы. На чертежах круглых печатных плат за начало отсчёта в прямоугольной системе координат рекомендуется принимать центр печатной платы.

3.4.9 В полярной системе координат шаг координатной сетки задаётся по углу и диаметру.

3.4.10 Исходя из пункта 17 ГОСТ 2.417–91, участки печатной платы, которые не допускается занимать печатными проводниками и контактными площадками, на чертеже необходимо обводить штрихпунктирной утолщённой линией.

3.4.11 В соответствии с пунктом 21 ГОСТ 2.417–91 сведения о диаметрах отверстий, их условных обозначениях, диаметрах контактных площадок, наличии металлизации, количестве отверстий следует объединять в таблицу.

3.4.12 В технических требованиях чертежа допускаются пояснения о взаимодействии элементов. Например, «проводники образуют четыре короткозамкнутые двадцатипятивитковые обмотки с шагом расположения полувитка, составляющим двенадцать делений и равным $43^{\circ} 12'$ ».

3.4.13 Исходя из пункта 4.3 ГОСТ 2.123–93, в состав комплекта конструкторских документов на печатные платы допускается включать программные документы, полученные в результате автоматизированного проектирования, а также документы, необходимые для производства печатных плат.

3.4.14 В соответствии с пунктом 30 ГОСТ 2.417–91 при автоматизированном и полуавтоматизированном конструировании допускается выпуск чертежей печатных плат без изображения проводящего рисунка, включая в комплект конструкторской документации документы, определяющие конструкцию и способ изготовления печатных плат и их составных частей, на стандартных электронных носителях. В качестве второго и последующих листов чертежа допускается использование изображений слоёв печатной платы на фотоплёнке, фотобумаге или других материалах. Документы на информационных носителях записываются в спецификацию сборочной единицы.

3.4.15 Согласно пункту 3 ГОСТ 2.417–91 чертежи печатных плат имеют наименование «Плата печатная».

Более подробный материал по проектированию и примерам оформления печатных плат, в том числе и их сборок как деталей (см. ГОСТ 2.109–73), представлен в разделе 6 «Методика проектирования печатных плат» данного учебно-методического пособия.

3.5 Методика построения и требования к схеме алгоритма

3.5.1 Алгоритмы решения поставленной задачи или наиболее фундаментальных её функций с учётом заданной или аналогичной микропроцессорной базы стандартно изображаются в виде схем алгоритмов.

3.5.2 Требования к построению и оформлению схем алгоритмов приведены в ГОСТ 19.701–90, ГОСТ 2.605–68, подразделах 3.12 и 3.19 стандарта БГУИР, а их основные выдержки и методика построения – в подразделе 4.3 пособия [1].

3.5.3 В соответствии с ГОСТ 2.605–68, в частности, пунктом 1.4 и подразделом 3.19 стандарта БГУИР схема алгоритма как составная часть графического материала курсового проекта представляется в виде плаката с наименованием-заголовком в верхней средней его части (см. рисунок 3).

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

СХЕМА АЛГОРИТМА РАБОТЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО СРЕДСТВА

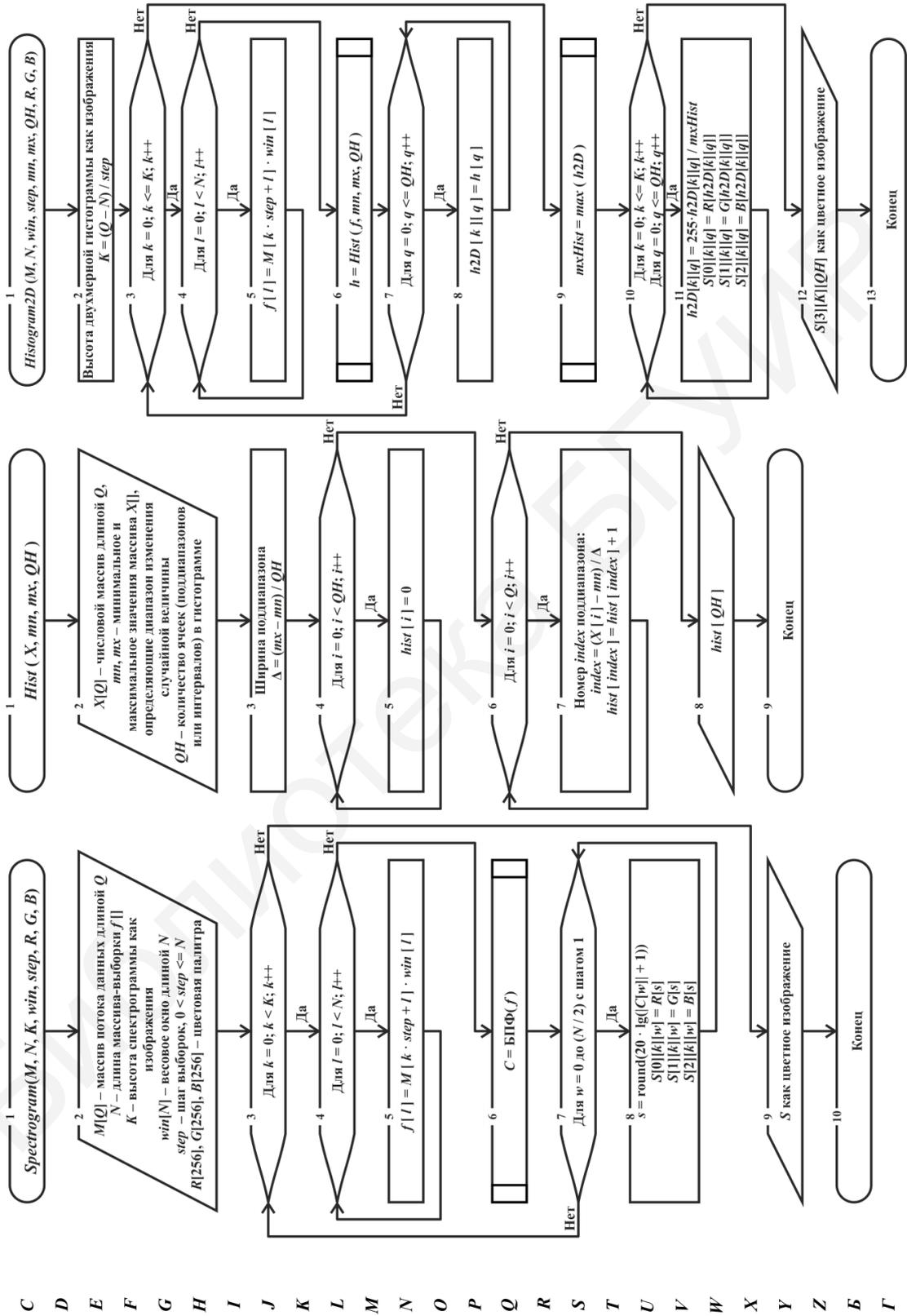


Рисунок 3 – Пример оформления схемы алгоритма

3.5.4 Непосредственную схему алгоритма рекомендуется оформлять согласно подразделу 4.3 источника [1]. При этом дополнительно следует иметь в виду пункты 4.2.4 и 4.2.5 ГОСТ 19.701–90, гласящие, что «линии в схемах должны подходить к символу либо слева, либо сверху, а исходить либо справа, либо снизу; линии должны быть направлены к центру символа; при необходимости линии в схемах следует разрывать для избежания излишних пересечений или слишком длинных линий, а также если схема состоит из нескольких страниц».

3.5.5 Символы и линии схемы алгоритма должны быть привязаны к модульным сеткам: линии – к базовой сетке мелкого калибра, символы – к вспомогательной сетке крупного калибра. Каждый символ должен иметь однозначные координаты его расположения с целью предоставления возможности ссылки на него в подразделе обоснования и описания схемы алгоритма пояснительной записки.

При отсутствии явных координат модульной сетки на плакате символы схемы алгоритма нумеруются непосредственно, и координаты зоны символа или его порядковый номер проставляются в верхней части в разрыве контура символа, как это показано на рисунке 3.

3.5.6 Основное требование к сущности алгоритма состоит в том, что алгоритм должен отражать глубину и математическую основу решения поставленных задач обработки данных, базироваться на вычислительных методах, моделях и операциях, описанных в соответствующих подразделах пояснительной записки.

3.5.7 Схема алгоритма должна обладать признаками читабельности (т. е. подчиняться концепции структурного программирования и состоять из структурных блоков типа «последовательное действие», «условие», «выбор», «цикл») и логической завершённости, подразумевающей, в частности, возможность отслеживания путей изменений значений встречаемых в схеме переменных от момента их инициализации до завершения алгоритма [5].

3.5.8 Количество символов в схеме алгоритма должно быть не менее пятнадцати, с обязательным наличием ветлений.

3.5.9 Схеме алгоритма как плакату присваивается двухбуквенный код «ПЛ». Угловая основная надпись (угловой штамп) размещается на оборотной стороне плаката, допускается выполнение углового штампа в виде отдельного документа соответствующего размера с последующим аккуратным его наклеиванием на оборотной стороне.

3.5.10 Обоснование схемы алгоритма и детальные пояснения к каждому её символу приводятся в подразделе «Разработка схемы алгоритма функционирования прибора» пояснительной записки к курсовому проекту.

Ниже следует пример описания схемы алгоритма работы прибора (программно-аппаратного средства), изображённого на рисунке 3.

Спектральный анализ потока данных основывается на схеме преобразования сигналов рисунка 4 и обработке спектрограммы, алгоритм вычисления которой состоит из следующих шагов:

1 Символ $G4$ – задание длины N периодических выборок $f[N]$ данных из потока $M[Q]$ ($N = 2^p$, p – натуральное число, $5 < p < 14$), вертикального размера K изображения спектрограммы, шага $step$ следования выборок, определяющего степень их пересечения ($0 < step \leq N$), массива $win[N]$ весового окна (прямоугольного, Хемминга, Ханна, Блэкмана и др.), цветовой RGB -палитры $R[256]$, $G[256]$, $B[256]$, состоящей соответственно из красного, зелёного и синего цветовых компонентов и предназначенной для подчёркивания распределения яркости и контуров в изображении спектрограммы с целью упрощения её последующего визуального анализа.

2 Символы $L4$ и $N4$ – формирование очередной k -й выборки $f[N]$ данных из потока $M[Q]$ с умножением её на весовую функцию $win[N]$.

3 $Q4$ – быстрое преобразование Фурье (БПФ) скорректированной выборки $f[]$.

4 Символы $S4$ и $V4$ – вычисление логарифмической амплитудно-частотной характеристики с наложением цветовой палитры $R[]$, $G[]$, $B[]$ как операции табличного преобразования: $S[0][k][w] = R[\text{round}(20 \cdot \lg(|C[w]| + 1))]$, $S[1][k][w] = G[\text{round}(20 \cdot \lg(|C[w]| + 1))]$, $S[2][k][w] = B[\text{round}(20 \cdot \lg(|C[w]| + 1))]$, где $C[w]$ – результат БПФ, $|C[w]|$ – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), $\text{round}()$ – функция округления аргумента до целого значения. На рисунке 4 данный шаг схематично обозначен операциями «АЧХ», « $20 \cdot \lg(\text{АЧХ})$ » и «Применение цветовой палитры».

Проводя аналогию со спектральным анализом, в статистическом анализе понятия «окно» не существует. Это означает, что на практике применяется только прямоугольное окно. Поэтому с целью унификации алгоритмов статистического и спектрального анализа как наиболее популярных инструментов предлагается использовать окно и в статистическом анализе.

С учётом окна алгоритм вычисления двумерной гистограммы распределения плотности уровней квантования в потоке данных будет выглядеть так, как показано на рисунке 3 символами $S16$ – $G16$. Отдельные операторы алгоритма рисунка 3 (символов $S16$ – $G16$) и синтаксис выражений ориентированы на C -подобные языки программирования.

В алгоритме, описанном символами $S16$ – $G16$ рисунка 3, моделируемый поток данных представлен массивом $M[Q]$ достаточно большой (от нескольких

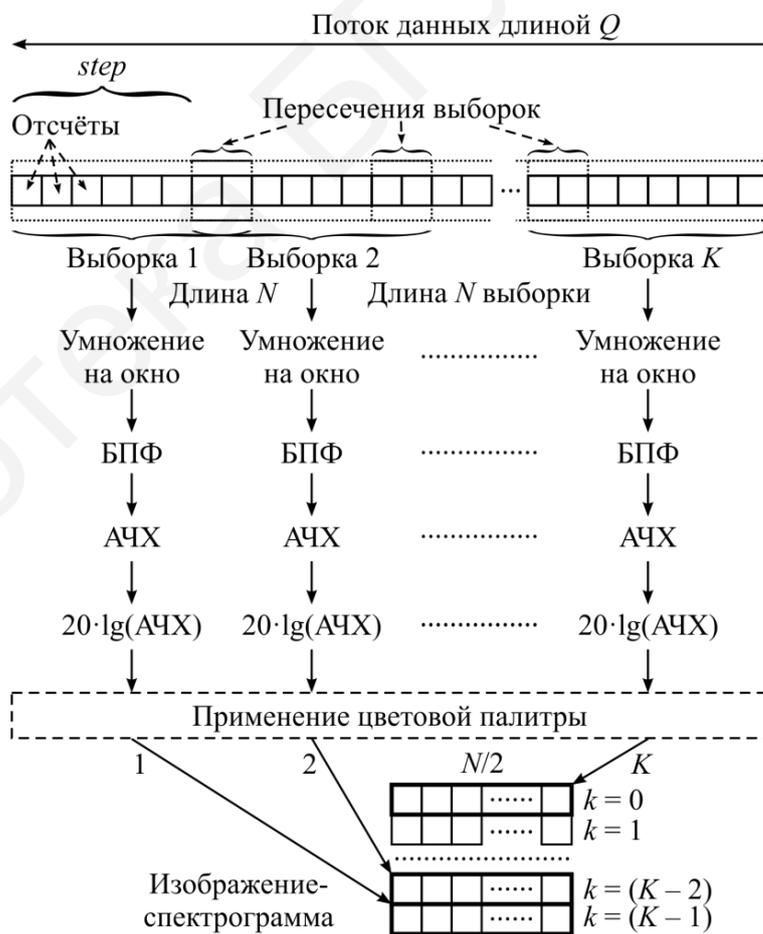


Рисунок 4 – Схема преобразования сигналов

десятков тысяч до сотен тысяч элементов) длины Q . Кроме массива $M[]$, моделирующего поток данных, в качестве входных параметров алгоритма выступают: mx и mn – максимальное и минимальное значения массива $M[]$, определяющие диапазон изменения уровня квантования; N – длина массива $f[]$ выборки; $step$ – шаг выборок, определяющий их степень перекрытия, $0 < step \leq N$; $win[N]$ – окно как массив длиной N ; QH – количество уровней кванто-

вания, определяющее длину массива одномерной гистограммы их плотности; $R[256]$, $G[256]$, $B[256]$ – цветовая палитра.

Алгоритм возвращает цветное изображение $S[3][K][QH]$ двухмерной гистограммы с учётом палитры. Три слоя массива $S[][][]$ определяют соответственно красный (первый слой, индекс «0» в символе $W16$ алгоритма), зелёный (второй слой, индекс «1» в символе $W16$ алгоритма) и синий (третий слой, индекс «2» в символе $W16$ алгоритма) компоненты в виде двухмерных матриц беззнаковых однобайтных целых значений в цветовой системе $RGB888$.

Действие окна на входную выборку отражено в символе $L16$ через умножение потоковых данных на элементы массива-окна $win[]$.

В символах $M16$ и $S16$ вызываются стандартные функции $hist()$ вычисления классической одномерной гистограммы плотности уровней квантования (алгоритм с элементами $C10–Y10$ рисунка 3) и $max()$ определения максимального значения в массиве $h2D[K][QH]$ двухмерной гистограммы без учёта цветовой палитры.

3.6 Методика построения и требования к диаграмме состояний

3.6.1 Методика построения, основные правила оформления и требования к диаграмме состояний как модели поведения прибора, позволяющей описать основные состояния его программы, возможные переходы между ними в процессе функционирования и вызывающие данные переходы события, описаны в подразделе 4.4 источника [1], ГОСТ 19.701–90, ГОСТ 2.605–68.

3.6.2 Диаграмма состояний представляется в виде плаката с наименованием-заголовком в верхней средней его части и основной надписью с обратной стороны плаката.

3.6.3 Как и схема алгоритма, диаграмма состояний должна обладать признаками читабельности и логической завершённости (см. также пункт 3.5.7 данного учебно-методического пособия).

3.6.4 В подтверждение пункта 1.6.7 данного учебно-методического пособия диаграмма состояний должна включать в себя не менее десяти блоков и основных символов.

3.6.5 Дополнительно к правилам, перечисленным в подразделе 4.4 пособия [1], следует отметить следующее.

В схемах следует избегать пересечения линий, т. к. они не имеют логической связи между собой (см. пункт 4.2.2 ГОСТ 19.701–90). Во избежание излишних пересечений или слишком длинных линий их следует разрывать, устанавливая внешний соединитель в начале разрыва и внутренний в конце (см. пункт 4.2.5 ГОСТ 19.701–90).

3.6.6 Диаграмма состояний имеет научно-теоретическую основу. Она непосредственно связана с теорией автоматов и теорией систем массового обслуживания, где над дугами переходов между состояниями указываются интенсивности или вероятности переходов.

Ниже, на рисунке 5 представлен пример диаграммы состояний программно-аппаратного средства для темы «Мобильное программно-аппаратное средство интегрированного виброакустического и теплового диагностирования узлов автомобильной техники» и образец её описания в соответствующем подразделе пояснительной записки.

Состояния программно-аппаратного средства обусловлены следующими основными режимами его работы: инициализация; предложение пользователю выбора типа анализируемых сигналов (тепловых или виброакустических); статистический анализ тепловых сигналов болометра; предложение пользователю выбора вида анализируемых виброакустических сигналов; спектрально-статистический анализ вибрационных сигналов, а именно, сигналов *MEMS*-акселерометра; спектрально-статистический анализ сигналов микрофона; переключение окна (прямоугольного, Хэмминга, Ханна, Блэкмана) для анализа сигналов; переключение способа анализа из спектрального в статистический или наоборот; запись сигналов в файл на внешнем *flash*-носителе или внутренней *SD*-карте.

Некоторые из перечисленных режимов являются потоковыми, а соответствующие состояния устойчивыми, и переход между ними или выход из них осуществляется по определённым событиям. Так, для перехода программно-аппаратного средства в состояние статистического анализа тепловых сигналов болометра необходимо свершение события нажатия пользователем кнопки «Тепловые сигналы» в исходном состоянии предложения пользователю выбора типа анализируемых сигналов (тепловых или виброакустических).

Кроме статистического анализа тепловых сигналов болометра и предложения пользователю выбора типа анализируемых сигналов (тепловых или виброакустических), устойчивыми состояниями в разрабатываемом программно-аппаратном средстве являются: предложение пользователю выбора вида виброакустических сигналов для анализа; спектрально-статистический анализ вибрационных сигналов; спектрально-статистический анализ сигналов микрофона; переключение окна для анализа сигналов; запись сигналов в файл.

Выход из неустойчивых состояний осуществляется автоматически по их завершении. В разрабатываемом программно-аппаратном средстве неустойчивых состояний два: инициализация и переключение способа анализа (спектральный ↔ статистический).

В диаграмме состояний на рисунке 5 выделяются всего девять состояний, семь из которых устойчивых, а два неустойчивых.

Диаграмма начинается с неустойчивого состояния инициализации (символ 1), в котором проводится настройка основных портов ввода-вывода, дисплея и сенсорной панели, виртуальных страниц пользовательского интерфейса в памяти микроконтроллера, а также отображение стартовой страницы интерфейса пользователя.

По окончании инициализации программно-аппаратное средство автоматически переходит в состояние «Тепло/виброакустика» (символ 2) с двумя пользовательскими кнопками на дисплейном модуле, позволяющими выбрать тип анализируемых сигналов: тепловых или виброакустических.

При нажатии кнопки «Тепловые сигналы» программно-аппаратное средство переключается в состояние статистического анализа сигналов тепловизионного сенсора (символ 4), в котором отображаются кадры болометра, вычисляются и строятся на дисплее их одномерные и двумерные гистограммы. Данное состояние устойчивое, и возврат из него в состояние «Тепло/виброакустика» (символ 2) осуществляется нажатием кнопки «Назад » в виде стрелки влево.

Нажатие кнопки «Виброакустические сигналы» в состоянии «Тепло/виброакустика» (символ 2) инициирует переход программно-аппаратного средства в устойчивое состояние «Акселерометры/микрофон» (символ 3). В этом состоянии на дисплее отображаются две пользовательские кнопки «Сигналы акселерометров» и «Сигналы микрофона», нажатие которых переводит программно-аппаратное средство соответственно в состояния анализа сигналов одного из *MEMS*-акселерометров (символ 5) и единственного *MEMS*-микрофона (символ 6).

Устойчивые состояния символов 5 и 6 являются родственными (или схожими), т. к. они принципиально не отличаются друг от друга, за исключением того, что в состоянии «Анализ сигналов x , y , z акселерометра» визуализируется аналитический ансамбль в виде сигналов, амплитудно-частотных характеристик, спектрограмм и гистограмм для трёх осей x ,

у, z отдельного датчика вибрации, а в состоянии анализа сигналов микрофона отображаются единственный сигнал, гистограмма, амплитудно-частотная характеристика и спектрограмма потока данных от MEMS-микрофона. Кроме этого, для нескольких подключённых к прибору акселерометров организовано переключение к очередному из них посредством кнопки «Следующий 0», что на диаграмме состояний представлено петлевидной стрелкой с сопутствующим событием «Кнопка 0», также продублированными для акцентирования внимания на рисунке 6. Таким образом, программно-аппаратное средство отображает на дисплее аналитический ансамбль в виде спектрограмм или гистограмм по одному для каждого датчика вибрации – MEMS-акселерометра.



Рисунок 6 – Фрагмент диаграммы состояний с петлевидной стрелкой в режиме анализа сигналов акселерометра

Переключение способа анализа сигналов виброакустических датчиков из спектрального в статистический и наоборот осуществляется триггерной кнопкой, срабатывающей в неустойчивом состоянии символа 8 диаграммы. По завершении переключения способа анализа программно-аппаратное средство автоматически возвращается в то состояние (анализа сигналов акселерометра или микрофона), которое инициировало переход в состояние символа 8.

Возврат из состояний анализа сигналов виброакустических датчиков (символов 5 и 6) на шаг назад, т. е. в состояние «Акселерометры/микрофон» (символ 3) происходит кнопкой «Назад ←».

Исходя из разработанной диаграммы состояний программно-аппаратного средства, невозможно осуществить прямой переход из состояния анализа сигналов микрофона в состояние статистического анализа сигналов тепловизионного сенсора. Это можно выполнить с применением кнопки «Назад ←» по пути «Анализ сигналов микрофона» (символ 6) → «Акселерометры/микрофон» (символ 3) → «Тепло/виброакустика» (символ 2) → «Статистический анализ сигналов тепловизионного сенсора» (символ 4).

В состояниях 4–6 анализа тепловых и виброакустических сигналов при нажатии кнопки выбора формы окна анализа осуществляется переход в устойчивое состояние символа 7 диаграммы. В состоянии символа 7 пользователь выбирает тип окна анализа (как правило, прямоугольное, Хэмминга, Ханна или Блэкмана) и настраивает его параметры. Выход из данного состояния в соответствующее и породившее переход в символ 7 состояние из множества 4–6 проводится по окончании выбора окна анализа и нажатии пользователем кнопки «OK».

Имея в своём составе USB-порт, посредством которого организован внешний интерфейс, и SD-карту, программно-аппаратное средство позволяет сохранить на внешнем flash-носителе или внутренней SD-карте файл сигнала в соответствующем формате: *bin* – для сигналов MEMS-акселерометра, *wav* – для сигнала MEMS-микрофона, *avi* – для сигнала тепловизионного сенсора. Для этого в состояниях 4–6 анализа тепловых и виброакустических сигналов применяется триггерная кнопка начала (она же используется и для завершения) записи сигналов в файл, которая переводит прибор в устойчивое состояние сохранения сигнала

в файле с соответствующим форматом на *flash*-носителе (символ 9). Данное состояние сохранения сигнала активно до повторного нажатия пользователем этой же кнопки либо до заполнения *flash*-носителя.

Детальнее механизм перехода в состояние 9 диаграммы реализуется следующим образом. При нажатии кнопки записи сигналов в файл с учётом наличия *flash*-носителя в *USB*-порту или *SD*-карты в картоприёмнике начинается запись файла на внешний *USB*-носитель. Цвет кнопки при этом меняется, а процесс записи индицируется выражением «Идёт запись файла...» с динамически меняющимся количеством отточий после неё. Завершение записи файла на диск проводится повторным нажатием данной кнопки, цвет которой автоматически меняется на исходный. Имя создаваемого файла имеет фиксированную структуру и зависит от состояния прибора, породившего переход в 9-й символ диаграммы состояний. Так, в состоянии записи сигналов *MEMS*-акселерометра фиксированная часть имени файла представлена видом «*aN-nnn.bin*», где символ «*a*» означает «*accelerometer*», *N* – одноциферный порядковый номер акселерометра как датчика вибрации ($N = 1, 2, \dots, 9$), *nnn* – трёхциферный порядковый номер файла, *bin* – расширение файла, определяющее бинарный формат хранения данных внутри него. В состояниях записи сигналов *MEMS*-микрофона и тепловизионного сенсора имена записываемых файлов приобретают вид «*m1-nnn.wav*» и «*t1-nnn.avi*» соответственно от «*microphone*» и «*thermo*». Так как и микрофон, и тепловизионный сенсор присутствуют в программно-аппаратном средстве в единственном экземпляре, то и одноциферный их порядковый номер равен единице; одномерный сигнал микрофона сохраняется в файле стандартного *wav*-формата, а двухмерный видеопоток от тепловизионного сенсора – в *avi*-файле с алгоритмом компрессии «*Motion JPEG*» или без компрессии в формате «*Motion BMP*». В случае отсутствия или отключения, или переполнения внешнего носителя связанная с ним кнопка сохранения сигналов становится неактивной.

Возврат в соответствующее состояние 4–6, инициировавшее переход в состояние 9 сохранения сигналов в файл на *flash*-носителе или *SD*-карте, осуществляется нажатием кнопки завершения записи сигналов в файл или, в значительно более редких случаях, переполнения внешнего (или внутреннего) носителя.

Прекращение работы программно-аппаратного средства осуществляется из любого устойчивого состояния по событию выключения тумблера питания или снижения заряда аккумуляторной батареи до минимального порогового уровня.

4 КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МОБИЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ»

Раздел посвящён классификации перечисленных в пункте 1.1.4 данного учебно-методического пособия тем курсовых проектов и выделению для приборов соответствующих классов базовых фрагментов структурных электрических схем, а также вычислительных и аналитических функций.

В соответствии с целевым назначением разрабатываемого прибора и предлагаемым в пункте 1.1.4 перечнем тем в курсовом проектировании по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» выделяются следующие тематические классы:

- 1 Приборы систем управления, телемеханики и телеметрии.
- 2 Кодеки и приборы логического анализа сигналов цифровых интерфейсов связи.
- 3 Приборы считывания, анализа, обработки и воспроизведения образов.
- 4 Приборы измерения и контроля.
- 5 Приборы моделирования *USB*-устройств.
- 6 Модули для распределённых систем и параллельных вычислений.
- 7 Приборы навигационных систем.
- 8 Универсальные отладочные стенды.

Распределение предлагаемых студентам и приведённых в пункте 1.1.4 тем по вышеперечисленным тематическим классам отражено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение тем курсовых проектов пункта 1.1.4 по классам

Название тематического класса	Номера тем по пункту 1.1.4
1 Приборы систем управления, телемеханики и телеметрии	1, 2, 14, 42, 53, 54, 56, 61–68, 71, 73–76, 84, 85, 88–91, 94
2 Кодеки и приборы логического анализа сигналов цифровых интерфейсов связи	3–11, 86
3 Приборы считывания, анализа, обработки и воспроизведения образов	12, 13, 23–39, 43–52, 55, 59, 70, 72, 77–79, 87, 98, 99, 105–107
4 Приборы измерения и контроля	60, 80, 81, 95–97, 101–103
5 Приборы моделирования <i>USB</i> -устройств	15–22, 100
6 Модули для распределённых систем и параллельных вычислений	40, 41, 69
7 Приборы навигационных систем	57, 58, 92, 93, 104
8 Универсальные отладочные стенды	82, 83

Исходя из приведённой таблицы, процентное соотношение тематических классов курсовых проектов выражается пропорцией 25 : 10 : 39 : 8 : 8 : 3 : 5 : 2. Из неё видно, что значительная часть тем курсовых проектов связана с приборами считывания, анализа, обработки и воспроизведения образов (39 %) и приборами систем управления, телемеханики и телеметрии (24 %).

В связи с тем что микроконтроллер, составляющий основу любого проекта, представляет собой универсальный прибор, работающий по программе, решающей конкретную задачу, следует отметить условность предлагаемого деления на тематические классы. В самом деле, некоторые темы пункта 1.1.4 находятся в пограничном состоянии и могут быть отнесены к нескольким тематическим классам одновременно. Но на их окончательное распределение влияет структура прибора. Так, несмотря на схожие задачи тем с номерами 12, 13 и 14, они отнесены к разным классам (темы 12 и 13 к одному, а тема 14 к другому классу). Это обусловлено использованием в темах 12 и 13 готовых датчиков, полноценно выполняющих часть аналитических функций решаемой задачи. А в теме 14 аналогичную функциональность обработки и анализа многомерных сигналов необходимо самостоятельно проработать и отлаживать в контексте заданной микроконтроллерной архитектуры.

4.1 Общий перечень вопросов курсового проектирования и их распределение по классам и темам

В пункте 4.2.2 задания по курсовому проектированию (см. приложение А) представлен перечень теоретико-практических вопросов, необходимых для изучения студентом с целью решения поставленной перед ним задачи разработки прибора. В зависимости от темы количество вопросов пункта 4.2.2 задания варьируется в примерном диапазоне от 20 до 50. Ряд вопросов, в основном связанных с архитектурой микроконтроллерной техники, пересекается и присутствует в заданиях различных тем.

Независимо от темы проекта в структуру пункта 4.2.2 задания входят:

- изучение теоретических основ по теме проекта;
- обзор уровней модели *OSI* применяемых в проекте интерфейсов связи;
- сравнительный анализ принципов работы и структурных решений аналогичных приборов и прототипов;
- управление портами *GPIO* ввода-вывода общего назначения в контексте заданного микроконтроллерного ядра;
- управление специализированными портами и интерфейсами заданного микроконтроллерного ядра;
- обзор аппаратно-программных средств создания пользовательского интерфейса, в том числе графического *GUI*; *GUI* в основном выполнен на базе дисплейного модуля *HY32D* с видеопроцессором *ILI9341* и одного из контроллеров сенсорной панели: *ADS7846*, *XPT2046*, *STMPE811QTR*;
- анализ структурных и схемных решений, а также алгоритмов функционирования заданных периферийных микросхем проектируемого прибора;
- управление *SD*-картой как базового носителя информации в различных режимах её работы с анализом форматов файлов хранения сигналов и массивов;
- изучение интерфейсов загрузки программ и внутрисхемной отладки;
- анализ схемных решений питания прибора и зарядки аккумуляторов *Li-Ion* или *Li-Pol*.

Полный перечень вопросов из приложения А пункта 4.2.2 «Теоретические сведения и принципы функционирования отдельных узлов прибора» заданий по курсовому проектированию по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» и их распределение по выделенным в начале раздела 4 данного учебно-методического пособия тематическим классам приведён в таблице 2.

Таблица 2 – Общий перечень вопросов пункта 4.2.2 заданий по курсовым проектам и их распределение по тематическим классам

№ п/п	Вопрос пункта 4.2.2 задания	Номера тем с данным вопросом	Номера тематических классов по таблице 1
1	2	3	4
1	<i>JPEG</i> -алгоритм компрессии и декомпрессии изображений	19, 25, 28, 29, 44–46, 52, 55, 70, 72, 77–79, 87–91, 102, 107	1, 3–5
2	Аберрации оптических систем	50–52, 55, 87	3
3	Алгоритм выделения в линейном буфере видеокадров	77–79, 96, 97	3, 4
4	Алгоритм декодирования <i>AT</i> -команд в текстовом сообщении	1, 26, 28, 40, 61–64, 71, 72, 78, 82, 92–94, 104	1, 3, 6–8
5	Алгоритм декодирования текстовых сообщений функциями библиотеки « <i>string.h</i> »	1, 2, 14, 26–29, 40–42, 56, 57, 61–69, 71, 72, 75, 76, 78, 82, 83, 88–94	1, 3, 6–8
6	Алгоритм формирования очереди принимаемых через <i>Ethernet</i> сообщений заданного телематического протокола	2, 65–68, 73, 74, 90, 91	1
7	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса 1- <i>WIRE</i>	60, 92, 93, 96, 97, 102	4, 7
8	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>BLE</i> (<i>Bluetooth Low Energy</i>)	14, 42, 53, 54, 56, 60, 83, 86, 94–96, 101–104	1, 2, 4, 8
9	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>CAN</i>	11, 82, 84–86	1, 2, 8
10	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>CAN-TTL</i>	11, 82, 84–86	1, 2, 8
11	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>DCMI</i>	5, 12, 13, 15, 19, 23, 31, 33, 35, 37, 44, 45, 48–52, 55, 70, 82, 87, 107	2, 3, 5, 8

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
12	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>Ethernet</i>	2, 6, 27, 29, 41, 45, 46, 65–69, 73, 74, 82, 90, 91	1, 2, 3, 6
13	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>FMC</i>	1–15, 19–44, 46–52, 55, 57–59, 61–68, 71–73, 75, 77, 78, 82, 84, 90, 98, 105, 106	1–3, 5–8
14	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>I2C</i>	1–15, 18–99, 101–107	1–8
15	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>I2S</i>	10, 18, 24, 26, 27, 30, 32, 34, 36, 38, 43, 47, 51, 59, 82, 83, 87, 92, 95, 97, 105–107	2, 3, 5, 7
16	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>IrDA</i>	4, 5, 83, 89, 91	1, 2, 8
17	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>JTAG</i> загрузки машинного кода и внутрисхемной отладки	69, 70, 74, 76, 79, 85–87, 91, 97, 99, 106, 107	1–4, 6
18	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>MII</i>	2, 6, 27, 29, 41, 45, 46, 65–69, 73, 74, 82, 90, 91	1, 2, 3, 6, 8
19	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>NFC</i>	53, 75, 76	1
20	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>RMI</i>	2, 6, 27, 29, 41, 45, 46, 65–69, 73, 74, 82, 90, 91	1, 2, 3, 6, 8
21	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>RS-232</i>	16, 82	5, 8
22	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>RS-485</i>	69, 82	6, 8
23	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>SAI</i>	10, 18, 24, 26, 27, 30, 32, 34, 36, 38, 43, 47, 51, 59, 82, 83, 87, 92, 95, 97, 105–107	2, 3, 5, 7
24	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>SDIO</i>	3–13, 15, 17, 19, 23–38, 43, 44, 46–52, 55, 57–59, 70, 72–74, 77, 79, 82, 84–87, 90, 91, 94, 95, 97–99, 104–107	1–5, 7, 8
25	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>SPI</i>	1–15, 17–19, 22–34, 36–44, 46–99, 101–107	1–8
26	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>SWD</i> загрузки машинного кода и внутрисхемной отладки	1–68, 71–73, 75, 77, 78, 80–84, 88–90, 92–96, 98, 100–105	1–8
27	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>WiFi</i>	42, 61–64, 69–72, 78, 79, 82, 86, 87, 94, 97, 104	1, 2, 3, 4, 6
28	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>UART</i>	1, 14, 16, 21, 26, 28, 40, 42, 56, 57, 61–64, 69–71, 72, 74–79, 82, 85–87, 91–94, 97, 99, 103, 104, 106, 107	1–8
29	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>USART</i>	7	2
30	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>USB</i>	3, 15–22, 52, 55, 75, 77, 82–84, 100–103	1–5, 8

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
31	Анализ уровней модели <i>OSI</i> для интерфейса <i>Zigbee</i>	53, 54, 56, 83, 86, 96, 101–103	1, 2, 4, 8
32	Аппаратная генерация меандра на входе интегрирующей цепи	81	4
33	Архитектура и микропроцессорная база современных <i>LAN</i> -расширителей с поддержкой интерфейсов <i>WiFi</i> , <i>Ethernet</i> , <i>RS-485</i>	69	6
34	Методика асинхронного декодирования сообщений	1, 2, 14, 26 – 29, 40 – 42, 56, 57, 61–69, 71, 72, 75, 76, 78, 82, 83, 88 – 94	1, 3, 6–8
35	Методика генерирования заданной произвольной импульсной последовательности средствами <i>DMA</i> , связанного с таймером общего назначения	6, 58, 59, 80–83, 92, 93, 100	2–5, 7, 8
36	Методика настройки и управления совместной работой <i>DMA</i> с таймером <i>TIM</i> общего назначения	6, 58, 59, 80–83, 92, 93, 100	2–5, 7, 8
37	Методика настройки и управления совместной работой <i>DMA</i> с АЦП микроконтроллера	81	4
38	Методика организации пользовательского интерфейса прибора	1–15, 19–44, 46–87, 95–99, 101–103, 105–107	1–8
39	Методы расчёта <i>RLC</i> -фильтров	53, 54, 83, 85, 87, 88, 90, 97, 101–103, 106	1, 3, 4, 8
40	Настройка таймера <i>TIM</i> общего назначения в режим аппаратного частотомера входной импульсной последовательности	80	4
41	Номенклатура, устройство и принципы работы шаговых двигателей и вибрационных микродвигателей	93, 100	5, 7
42	Применение <i>DMA</i> в формировании очереди длительностей выходных импульсов таймера 555 на основе его взаимодействия с таймером общего назначения	80	4
43	Принцип действия сенсорной кнопки	83	8
44	Принцип работы контроллера <i>TSC</i> сенсорных кнопок микроконтроллера <i>STM32WB55</i>	83	8
45	Принципы действия и стандартные схемные решения импульсных и линейных стабилизаторов напряжения	82	8
46	Принципы модуляции и демодуляции инфракрасных сигналов	4, 5, 83, 89, 91	1, 2, 8
47	Протоколы <i>RC</i> и <i>NEC</i> инфракрасной связи	4, 5, 83, 89, 91	1, 2, 8
48	Способы и сигналы управления шаговыми двигателями и вибрационными микродвигателями	93, 100	5, 7
49	Структура, логика работы и стандартные схемные решения для микросхем <i>TP4056</i> , <i>LTC4058</i> , <i>BQ24295</i> и <i>BQ25890</i> зарядки <i>Li-Ion</i> и <i>Li-Pol</i> аккумуляторных батарей	1–14, 20–87, 90–99, 101–107	1–8

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
50	Структура, регистровая модель и логика работы акселерометров <i>MPU6050/9250</i> , <i>LIS302</i> , <i>LIS3D</i>	58, 82, 83, 88, 89, 92, 93, 97–99	1, 3, 4, 7, 8
51	Структура, регистровая модель и логика работы аудиокодека <i>CS43L22</i>	18, 24, 26, 27, 30, 32, 34, 38, 43, 47, 51, 82, 83, 105, 106	3, 5, 8
52	Структура, регистровая модель и логика работы датчика <i>BH1750</i> освещённости	60, 92, 101, 104	4, 7
53	Структура, регистровая модель и логика работы датчика <i>Si7020-A20</i> влажности и температуры	60, 83, 102	4, 8
54	Структура, регистровая модель и логика работы радиомодуля <i>RFM22B-S2</i>	83	8
55	Структура и логика работы <i>GPS</i> -модуля <i>U-BLOX NEO-M8M</i>	57, 92, 93	7
56	Структура и логика работы <i>USB</i> -коммутатора <i>HD3SS6126RUAR</i>	82	8
57	Структура и логика работы драйверов <i>ADM2482EBRWZ</i> и <i>ADM3493</i> интерфейса <i>RS-485</i>	69, 82	6, 8
58	Структура и логика работы датчика <i>DS18B20</i> температуры	60, 92, 93, 96, 97, 102	4, 7
59	Структура и логика работы датчиков <i>MS5540-CM</i> или <i>BMP280</i> давления, <i>MLX90614</i> инфракрасной термометрии	60	4
60	Структура и логика работы демодулятора <i>IS1U60L</i> инфракрасного сигнала	4, 5, 83, 89, 91	1, 2, 8
61	Структура и логика работы дисплейного модуля <i>OEL9M0087</i>	83	8
62	Структура и логика работы микрофона <i>MP45DT02</i>	18, 30, 32, 34, 36, 43, 47, 59, 82, 83, 92, 95, 97, 105, 106	3, 5, 7, 8
63	Структура и характеристика микроконтроллера <i>STM32WB55</i> с интегрированными ядрами <i>ARM Cortex-M4</i> и <i>ARM Cortex-M0</i> и встроенным радиоканалом 2,4 ГГц	83, 102, 103	4, 8
64	Тактовые микрокнопки <i>IT-0343</i> , <i>IT-1102W</i>	83	8
65	Теоретические основы проектирования СВЧ-антенн на печатных платах	53, 54, 83, 85, 87, 88, 90, 97, 101–103, 106	1, 3, 4, 8
66	Форматы файлов хранения изображений	1–15, 19–91, 95–99, 101–103, 105–107	1–8

Вопросы таблицы 2, связанные с конкретными электронными компонентами и схемотехническими решениями, в основном обусловлены учебной базой кафедры проектирования информационно-компьютерных систем, в частности, структурой и составом учебного стенда АКСОНИМ АХ-SOM-01 на основе микроконтроллера *STM32F407VGT6* с ядром *ARM Cortex-M4* [6–8]. Вследствие

этого микроконтроллерное ядро *ARM Cortex-M4* присутствует в подавляющем большинстве (83 %) заданий по курсовому проектированию.

Согласно распределению частоты встречаемости вопросов таблицы 2, в пункте 4.2.2 заданий по курсовому проектированию наибольшее их количество принадлежит типу «интерфейсов связи» и «регистровым моделям интерфейсов связи». Процентное соотношение встречаемости базовых микроконтроллерных интерфейсов *I2C*, *SPI*, *UART* равно 97 : 94 : 36. Интерфейс *I2C*, участвующий как минимум в управлении контроллером заряда аккумулятора (93 %), упоминается практически в каждом проекте. *SPI* как один из интерфейсов управления *SD*-картой (61 %), а в некоторых случаях, и как интерфейс управления контроллером сенсорной панели, упоминается в заданиях немного реже. Интерфейс *UART* в проектах связан в основном с загрузкой файла машинных кодов в микроконтроллерное ядро *Tensilica Xtensa*.

Достаточно высокая встречаемость (67 %) параллельного интерфейса *FMC* внешней памяти обусловлена графическим пользовательским интерфейсом *GUI* на базе дисплейного модуля с собственной статической видеопамью. Из-за наличия встроенной памяти дисплейный модуль в основном управляется по *FMC*, и лишь в некоторых случаях по *SPI* с применением дополнительных сдвиговых регистров типа *HC595*, которые преобразуют последовательные *SPI*-данные в параллельные.

Для некоторых иных интерфейсов распределение встречаемости в заданиях курсовых проектов выглядит следующим образом: аудиоинтерфейс *SAI* – 21 %; видеоинтерфейс цифровой камеры *DCMI* – 20 %; *USB* – 20 %; *PHY Ethernet* – 16 %.

4.1.1 Упоминаемые в заданиях интерфейсы связи требуют от студента их детального анализа в контексте модели *OSI* (см. вопросы 7–31 таблицы 2). Особенным образом необходимо рассматривать её «младшие» шесть уровней: физический, канальный, сетевой, транспортный, сеансовый и представления данных. На канальном уровне следует уделить внимание способам кодирования битов информации в рамках анализируемого интерфейса и форматам битовых посылок, на транспортном уровне – возможным транзакциям и протоколам, преимущественно стандартным, надёжного взаимодействия и достоверной передачи информации.

4.1.2 Касательно транспортного уровня в вопросе 6 «Алгоритм формирования очереди принимаемых через *Ethernet* сообщений заданного телематического протокола» таблицы 2 под «заданным протоколом» понимается зависящий от темы курсового проекта один из реализуемых средствами *Ethernet* протоколов: *RTU*, *TCP*, *MQTT*, *MODBUS RTU*, *MODBUS TCP*, МЭК-104, *HTTP*.

Использование в проектах «конкурирующих» интерфейсов *SWD* и *JTAG* загрузки программного кода во *flash*-память программ микроконтроллера и внутрисхемной пошаговой отладки распределено в процентном соотношении 88 : 12.

4.1.3 Структурно интерфейс загрузки программ и внутрисхемной пошаговой отладки в курсовых проектах представлен одним из трёх вариантов:

1 Для микроконтроллеров с *ARM*-архитектурой – стандартно интерфейс *SWD* с двумя основными линиями *SWCLK* тактирования и *SWDATA* данных и двумя дополнительными линиями 3,3 В и *GND* внешнего питания [8]. Структурная связь интерфейса *SWD* с микроконтроллером изображена на рисунке 7.

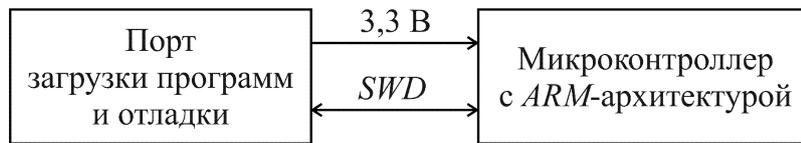


Рисунок 7 – Структурная связь с микроконтроллером порта *SWD* загрузки программ и пошаговой отладки

2 Для микроконтроллеров с архитектурой *Tensilica Xtensa* – *JTAG*, позволяющий как загружать программу во *flash*-память программ, так и пошагово её отлаживать. Стандартно совместно с питанием *JTAG* использует сигналы *TMS* (или *MTMS*), *TCK* (или *MTCK*), *TDO* (или *MTDO*), *TDI* (или *MTDI*), а также линию *TRST* сброса микроконтроллера [9]. Структурная связь интерфейса *JTAG* с микроконтроллером изображена на рисунке 8.

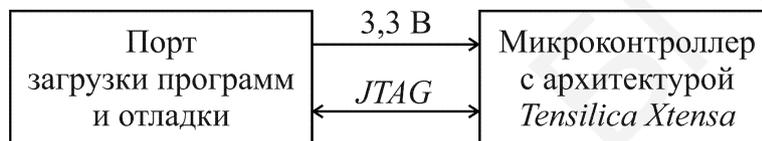


Рисунок 8 – Структурная связь с микроконтроллером порта *JTAG* загрузки программ и пошаговой отладки

3 Для микроконтроллеров с архитектурой *Tensilica Xtensa* – *UART*, предоставляющий лишь возможность загрузки программы без последующей её пошаговой отладки. Отладка средствами *UART* осуществляется посылкой микроконтроллером отладочных сообщений в *UART*-порт в режиме реального времени. Это требует предусмотрения данных сообщений во время разработки программы. Структурная связь интерфейса *UART* с микроконтроллером в процессе загрузки в него программы изображена на рисунке 9, где пара сигналов *ESP/EN* и *GPIO0* определяют режим работы микроконтроллера и позволяют его ввести в режим загрузки программы [10].



Рисунок 9 – Структурная связь с микроконтроллером порта *UART* загрузки программ и пересылки отладочных сообщений

4.1.4 Подавляющее большинство проектов ориентировано на пользователя-человека. Поэтому почти в каждом задании фигурирует вопрос № 38 «Методика организации пользовательского интерфейса прибора» (см. таблицу 2). Пользовательский интерфейс в составе дисплея и сенсорной панели структурно организован тремя вариантами, схематично изображёнными на рисунках 10–12:

1 На базе дисплейного модуля *DM-LCD35RT*, управляемого по *FMC*, и контроллера *STMPE811* сенсорной панели, управляемого посредством *I2C* [7].

2 На базе дисплейного модуля *HY32D*, управляемого по *FMC*, и одного из контроллеров *ADS7846* или *XPT2046* сенсорной панели, управляемого посредством *SPI* (см. рисунок 11) [11].

3 На базе дисплейного модуля *HY32D*, управляемого по *SPI* через каскад промежуточных сдвиговых регистров *HC595*, и контроллера *ADS7846* или *XPT2046* сенсорной панели с интерфейсом *SPI* (см. рисунок 12).

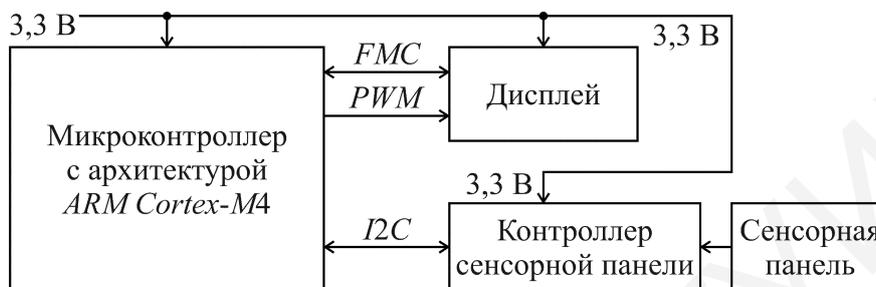


Рисунок 10 – Фрагмент структурной схемы подключения дисплейного модуля *DM-LCD35RT* к микроконтроллеру посредством *FMC*

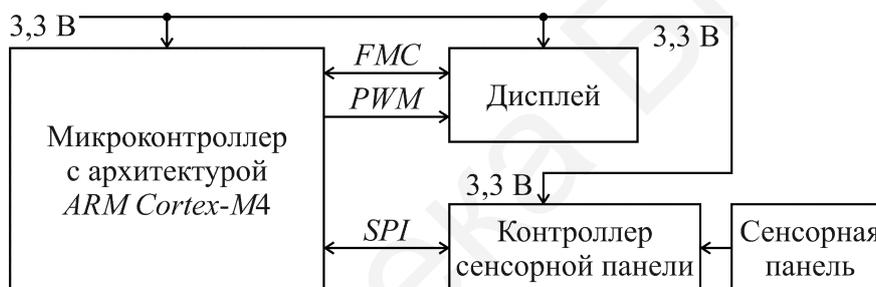


Рисунок 11 – Фрагмент структурной схемы подключения дисплейного модуля *HY32D* к микроконтроллеру посредством *FMC*

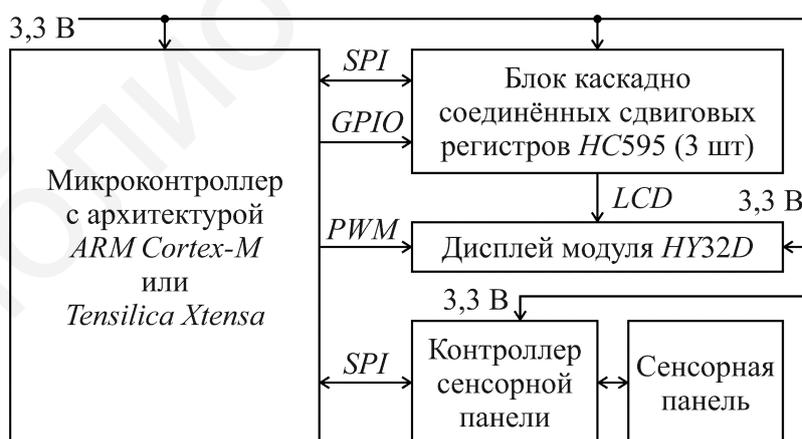


Рисунок 12 – Фрагмент структурной схемы подключения дисплейного модуля *HY32D* к микроконтроллеру через *SPI* посредством каскада сдвиговых регистров *HC595*

Питание микроконтроллеров курсовых проектов и большинства периферийных микросхем осуществляется источником напряжения 3,3 В.

Линия *PWM* на рисунках 10–12 – это линия управления подсветкой дисплея посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Данную линию

рекомендуется использовать как вывод таймера общего назначения микроконтроллера, функционирующего в режиме аппаратной ШИМ.

Из общей микроконтроллерной базы (см. таблицу 2) интерфейс *FMC* присутствует только у микроконтроллера *STM32F407* с архитектурой *ARM Cortex-M4*. Поэтому основным блоком рисунков 10 и 11, в отличие от рисунка 12, является микроконтроллер с архитектурой *ARM Cortex-M4*.

Линии интерфейса *GPIO* ввода-вывода общего назначения применяются на рисунке 12 в качестве сигналов дополнительного управления (например, сигнала */CS* (или */SS*)) каскадом сдвиговых регистров *HC595*.

4.1.5 Кроме вопросов загрузки программы в микроконтроллер и её отладки, анализа наиболее распространённых микроконтроллерных интерфейсов *I2C*, *SPI*, *UART*, *SWD*, а также организации *GUI*, все тематические классы работают с файловой системой, реализованной на *SD*-карте.

Подключение *SD*-карты к микроконтроллеру осуществляется посредством одного из двух интерфейсов: относительно медленного *SPI*, но имеющегося в наличии у любого микроконтроллера, и высокоскоростного *SDIO*, присутствующего как у микроконтроллера *STM32F407*, так и у микроконтроллеров с архитектурой *Tensilica Xtensa* [7, 10]. Структурная связь *SD*-карты с микроконтроллером показана на рисунке 13. Конкретная реализация интерфейса *SD*-карты (*SPI* или *SDIO*) зависит от используемого микроконтроллера, поставленного преподавателем задания либо непосредственного выбора студентом.

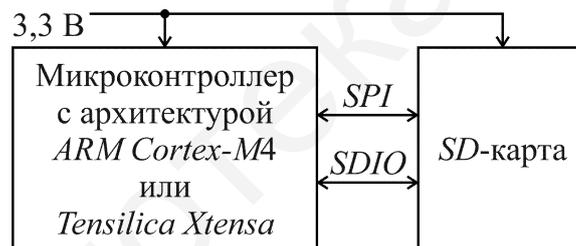


Рисунок 13 – Структурная связь *SD*-карты с микроконтроллером

4.1.6 Ещё один структурный фрагмент, присущий всем тематическим классам курсового проектирования, связан с внутренним питанием разрабатываемого прибора от аккумулятора *Li-Ion* или *Li-Pol* и его зарядом. В этом случае предлагается выбор из двух вариантов заряда аккумулятора с помощью специализированного контроллера, а именно, с информационным интерфейсом и без него.

В первом случае использования информационного интерфейса *I2C* микроконтроллер имеет возможность чтения текущих уровня и тока заряда аккумулятора, напряжения на нём и иных важных характеристик. Структурно данный вариант представлен на рисунке 14. В качестве специализированного контроллера применяется микросхема *BQ24295* или *BQ25890* [12–14]. Эти микросхемы позволяют информировать о процессе заряда *HOST*-машину, в частности, компьютер, не только по *I2C*, но и по *USB*-интерфейсу, а также оптимальным образом управляют током заряда.

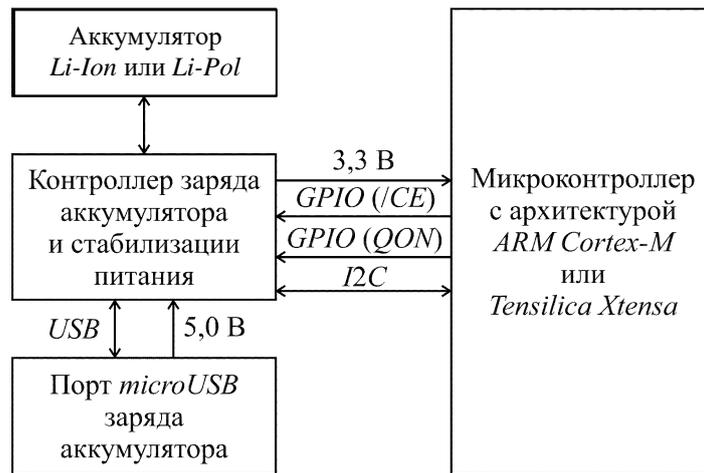


Рисунок 14 – Фрагмент структурной схемы заряда аккумулятора с информационным интерфейсом I2C

Во втором случае схема управления зарядом аккумулятора более простая, формирующая два дискретных сигнала. Один из них /CHRG отвечает за процесс заряда, второй /FINISH – за его завершение. Подобная схема имеет структуру, представленную на рисунке 15, и строится на микросхеме TP4056 или LTC4058 [15].

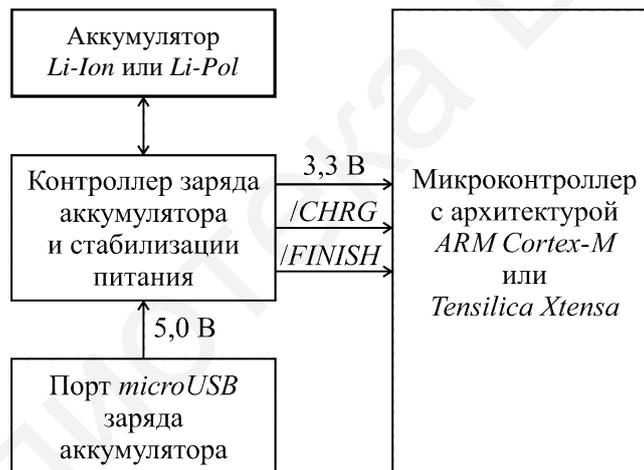


Рисунок 15 – Фрагмент структурной схемы заряда аккумулятора без информационного интерфейса

Информацию о текущем состоянии аккумулятора (токе и уровне заряда, электрической ёмкости аккумулятора) данные микросхемы не выдают.

Касательно элементной базы курсовых проектов по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» в таблице 3 приведён полный перечень основных используемых в проектировании элементов.

Таблица 3 – Перечень основных электронных элементов курсовых проектов по дисциплине «Мобильные вычислительные системы»

Элемент	Описание
1	2
ADM2482EBRWZ	Драйвер RS-485 с гальванической развязкой
ADM3251EARWZ	Драйвер RS-232 с гальванической развязкой

Продолжение таблицы 3

<i>ADS7846, XPT2046</i>	Контроллер сенсорной панели с интерфейсом <i>SPI</i>
<i>AMG8833</i>	<i>I2C</i> -болومتر разрешением 8 × 8 пикселей
<i>BD5230</i>	Супервизор напряжения
<i>BH1750</i>	Цифровой датчик освещённости с <i>I2C</i> -интерфейсом
<i>BL1602, LCM1602, SC1602</i>	Символьный дисплей на базе видеопроцессора <i>SPLC780D/HD44780</i>
<i>BMP280</i>	Цифровой датчик давления с <i>I2C</i> - и <i>SPI</i> -интерфейсами
<i>BQ24295</i>	Контроллер заряда аккумулятора <i>Li-Ion</i> или <i>Li-Pol</i>
<i>BQ25890</i>	Контроллер заряда аккумулятора <i>Li-Ion</i> или <i>Li-Pol</i>
<i>CS43L22</i>	Аудиопроцессор
<i>DM-LCD35RT</i>	<i>TFT</i> -дисплей с видеопроцессором <i>SSD2119</i> и контроллером <i>STMPE811QTR</i> сенсорной панели
<i>DS1307</i>	Микросхема <i>RTC</i> часов реального времени
<i>DS18B20</i>	Датчик температуры с интерфейсом <i>1-WIRE</i>
<i>E3000H</i>	Сканер штрих-кодов и <i>QR</i> -кодов
<i>E73 (2G4M08S1C)</i>	Микроконтроллерный модуль на базе <i>nRF52840</i>
<i>EM-18</i>	125 кГц <i>RFID</i> -считыватель
<i>EMI2121, USB6B1</i>	Фильтр с защитой от электростатического разряда
<i>ESP32</i>	Микроконтроллер с ядром <i>Xtensa LX6</i>
<i>ESP32-WROOM-32</i>	Микроконтроллерный модуль на базе <i>ESP32</i>
<i>ESP8266</i>	Микроконтроллер с ядром <i>Xtensa LX106</i>
<i>ESP8266MOD, ESP-12F</i>	Микроконтроллерный модуль на базе <i>ESP8266</i>
<i>GD25Q32, W25Q80NE</i>	<i>SPI flash</i> -память для <i>ESP</i> -микроконтроллеров
<i>GDE021A1</i>	<i>ePD</i> -дисплей типа «электронная бумага»
<i>HC-05</i>	<i>Bluetooth</i> -адаптер
<i>HC-SR04, US-100, URM37</i>	Ультразвуковой дальномер
<i>HC595</i>	Сдвиговый регистр с регистром-защёлкой
<i>HD3SS6126RUAR</i>	<i>USB 3.0</i> мультиплексор-демультиплексор
<i>HY32D</i>	<i>TFT</i> -дисплей с видеопроцессором <i>SSD1289/ILI9325/ILI9341</i> и контроллером <i>XPT2046/ADS7846</i> сенсорной панели
<i>IS1U60L</i>	Демодулятор инфракрасного сигнала с напряжением питания до 6 В
<i>KIT-14654, LEPTON FLIR</i>	<i>SPI</i> -болومتر (тепловизионный сенсор) разрешением 80 × 60 пикселей
<i>LAN8710, LAN8720</i>	10/100 Мб <i>PHY-Ethernet</i> драйвер
<i>LIS302, LIS3D</i>	<i>MEMS</i> -акселерометр
<i>LTC4058</i>	Контроллер заряда аккумулятора <i>Li-Ion</i> или <i>Li-Pol</i>
<i>LV1000</i>	Сканер штрихкода
<i>MAX660</i>	Инвертор напряжения

Продолжение таблицы 3

1	2
<i>MCP23008-E/SO</i>	8-разрядный <i>I2C/SPI</i> -расширитель
<i>MCP2551</i>	<i>CAN</i> -драйвер с рабочим напряжением 5,0 В
<i>MCP2562</i>	<i>CAN</i> -драйвер с рабочим напряжением 1,8–5,5 В
<i>MicroSD</i>	Картоприёмник <i>microSD</i> -карты
<i>MiniSIM</i>	Картоприёмник <i>miniSIM</i> -карты
<i>MLX90614B</i>	Датчик инфракрасной термометрии с <i>I2C</i> -интерфейсом
<i>MLX90640</i>	<i>I2C</i> -болومتر разрешением 32 × 24 пикселей
<i>MP45DT02</i>	Цифровой <i>MEMS</i> -микрофон с <i>I2S</i> -интерфейсом
<i>MPU6050</i>	Интегрированный с гироскопом <i>MEMS</i> -акселерометр
<i>MPU9250</i>	Интегрированный с гироскопом и магнетометром <i>MEMS</i> -акселерометр
<i>MS5540-CM</i>	Миниатюрный датчик давления с <i>I2S</i> -интерфейсом
<i>MT3608</i>	Повышающий <i>DC-DC</i> преобразователь
<i>NanoSIM</i>	Картоприёмник <i>nanoSIM</i> -карты
<i>NEO-M8M</i>	<i>GPS</i> -модуль
<i>nRF24L01+</i>	Модуль беспроводной связи с радиоканалом 2,4 ГГц
<i>nRF52832</i>	Микроконтроллер с ядром <i>ARM Cortex-M4</i>
<i>nRF52833</i>	Микроконтроллер с ядром <i>ARM Cortex-M4</i>
<i>OV2640</i>	<i>UXVGA</i> -сенсор цифровой видеокамеры
<i>OV7670</i>	<i>VGA</i> -сенсор цифровой видеокамеры
<i>OV9655</i>	<i>SXGA</i> -сенсор цифровой видеокамеры
<i>PCF8574</i>	8-разрядный <i>I2C</i> -расширитель
<i>RFM22B-S2</i>	Модуль беспроводной связи с радиоканалом 433 МГц
<i>RTL8710</i>	Модуль беспроводной связи с радиоканалом 2,4 ГГц
<i>SA555DR</i>	Таймер 555
<i>Si7020-A20</i>	Датчик влажности и температуры с <i>I2C</i> -интерфейсом
<i>SIM5320</i>	<i>GSM</i> -модем
<i>SKB501</i>	Микроконтроллерный модуль на базе <i>nRF52840</i>
<i>SKY66112</i>	2,4 ГГц <i>ZigBee/Thread/Bluetooth</i> -радиоусилитель
<i>SMT-0540-T-2-R</i>	Звуковой излучатель типа « <i>buzzer</i> »
<i>SN65HVD233</i>	<i>CAN</i> -драйвер с рабочим напряжением 3,3 В
<i>SP3232EEY</i>	Драйвер <i>RS-232</i> с рабочим напряжением 3,0–5,5 В
<i>STM32F030</i>	Микроконтроллер с ядром <i>ARM Cortex-M0</i>
<i>STM32F103</i>	Микроконтроллер с ядром <i>ARM Cortex-M3</i>
<i>STM32F407VGT6</i>	Микроконтроллер с ядром <i>ARM Cortex-M4</i>
<i>STM32L053</i>	Микроконтроллер с ядром <i>ARM Cortex-M0+</i>
<i>STM32WB55</i>	Микроконтроллер с ядрами <i>ARM Cortex-M4</i> и <i>ARM Cortex-M0</i>
<i>STMPS2141</i>	Одноканальный переключатель питания

Продолжение таблицы 3

1	2
<i>STMPE811</i>	Контроллер сенсорной панели с интерфейсом <i>I2C</i>
<i>TESEO-LIV3R</i>	Модуль спутниковой навигации
<i>TP4056</i>	Контроллер заряда аккумулятора <i>Li-Ion</i> или <i>Li-Pol</i>
<i>TTP223</i>	Контроллер сенсорной кнопки
<i>VS838, RPM7236-H8</i>	Демодулятор инфракрасного сигнала напряжением питания 3–5 В
<i>WS2812, WS2814</i>	Адресуемый светодиод светодиодной ленты
<i>YR903</i>	<i>UHF RFID</i> -считыватель

4.1.7 Элементная база определяется пунктом 4.2.2 задания по курсовому проекту (см. приложение А). Его вопросы выбираются из таблицы 2 согласно номеру темы. В нём, как правило, приводится необходимый перечень используемых элементов. В случае неопределённости студент вправе выбрать элемент на своё усмотрение, но по согласованию с руководителем. Выбранные элементы участвуют в разработке полной структурной электрической, а впоследствии и принципиальной электрической схем прибора.

4.1.8 В разработке структурной электрической схемы важным этапом является обоснование интерфейсов связи её блоков (или символов). Они определяются из документации (*datasheet*) на элементы путём внимательного её анализа с учётом знаний физического уровня базовых интерфейсов, применяющихся в микропроцессорной технике: *UART, I2C, SPI, USB, DCMI, I2S, RMI* и др. С одной стороны, интерфейсы элемента «красной строкой» прописываются в его документации. С другой стороны, они идентифицируются количеством и множеством имён сигнальных линий, которые уникальны для каждого интерфейса и также указываются в документации на элемент.

4.1.9 Непосредственно в пояснительной записке в разделе разработки структурной электрической схемы прибора, в подразделе обоснования её базовых блоков (или символов) следует писать: «согласно заданию по курсовому проектированию в разрабатываемом приборе применяются следующие элементы». Далее необходимо перечислить базовые элементы прибора с основной информацией из документации (*datasheet*) на них: назначением, внешним видом элемента (микросхемы или модуля) с расположением и именами выводов, рабочими интерфейсами связи, уровнями сигналов, форматами посылок. В подразделе обоснования связей структурной схемы мобильного прибора следует ссылаться на обоснование базовых блоков с акцентированием внимания на интерфейсы и протоколы взаимодействия. Пояснения необходимо сопровождать соответствующими фрагментами структурной схемы. Полная структурная электрическая схема изображается отдельным чертежом формата А3 графической части курсового проекта.

Далее приводятся фрагменты структурных электрических схем частей приборов, уникальных для каждого тематического класса.

4.2 Мобильные приборы систем управления, телемеханики и телеметрии

Телемеханика и телеметрия обеспечивает дистанционное исследование и управление процессами, передачу полученных сигналов и информации на расстояния. Приборы систем телемеханики используют соответствующие протоколы для передачи сигналов в виде числовых массивов, текстовых, аудио- и видеосообщений.

В модели *OSI* протоколы телемеханики представлены канальным, сетевым, транспортным, сеансовым и представительским уровнями. Они могут быть реализованы средствами любого интерфейса связи. Но наиболее распространёнными современными интерфейсами телемеханики являются проводные *Ethernet* и *CAN*, и беспроводные *WiFi*, *GSM*, *GPRS*, *3G*, *LTE*, *BLE*, *NB-IOT*, и некоторые другие. Поэтому перечисленные интерфейсы фигурируют в темах 1, 2, 53, 54, 61–68, 71, 73, 74, 84, 85, 90, 91, непосредственно относящихся к данному тематическому классу, а также в темах 6, 26–29, 40, 41, 45, 46, 69, 70, 72, 78, 79, 82, 83, 86, 87, 92–97 смежных тематических классов. Кроме того, в темах 14, 42, 53, 56, 75, 76, 88, 89 передача сигналов осуществляется дистанционно по радиоканалу с несущими частотами 125 кГц, 13,56 МГц, 433 МГц, 2,4 ГГц или инфракрасному каналу с частотой модуляции стандартно принадлежащей диапазону 36–44 кГц. Но наиболее распространёнными интерфейсами, встречающимися в темах курсовых проектов тематического класса «Приборы систем управления, телемеханики и телеметрии», являются *Ethernet* (встречаемость $\approx 63\%$) и *WiFi* (встречаемость $\approx 26\%$).

4.2.1 Ethernet-связь в курсовых проектах обеспечивается драйверами LAN8710 и LAN8720, преобразующими RMI-интерфейс микроконтроллера в Ethernet. Фрагмент структурной схемы подключения *Ethernet*-драйвера к микроконтроллеру приведён на рисунке 16.

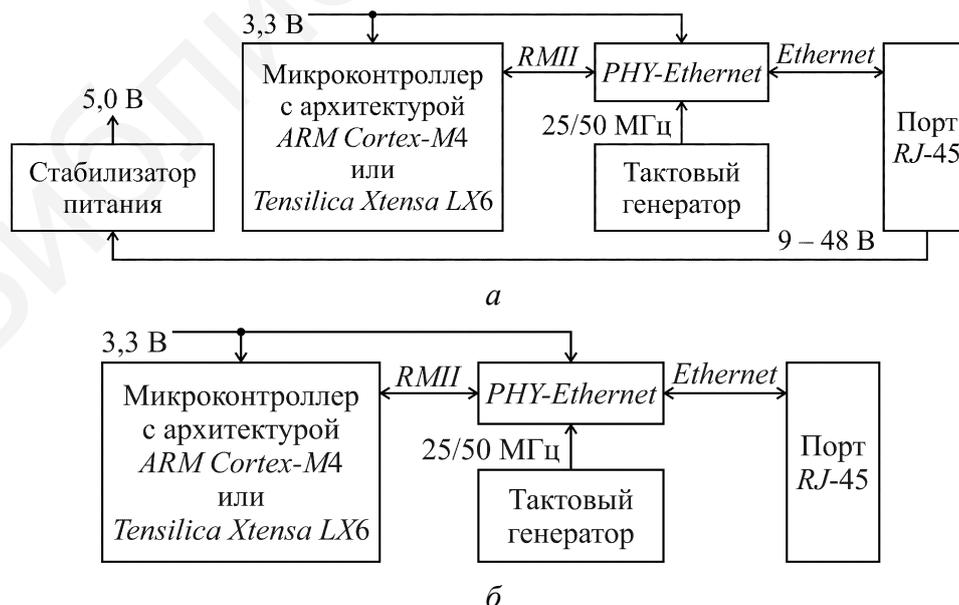


Рисунок 16 – Фрагмент структурной схемы связи драйвера *PHY Ethernet* с микроконтроллером на базе *PoE PD* (а) и без *PoE* (б)

На рисунке 16, *a* предусмотрен вариант реализации технологии *PoE PD* (*Power over Ethernet, Powered Device*). Упрощённый вариант *PoE PSE* (*Power Sourcing Equipment*), использующийся в теме 46, т. е. в приборе, запитывающем внешнее устройство, в частности, *IP*-видеокамеру через *Ethernet*, изображён на рисунке 17. Упрощённость данной схемы обуславливается отсутствием блока автоматического определения поддержки внешним устройством технологии *PoE* и, соответственно, постоянством напряжения *PoE*, равным 12,0 В.

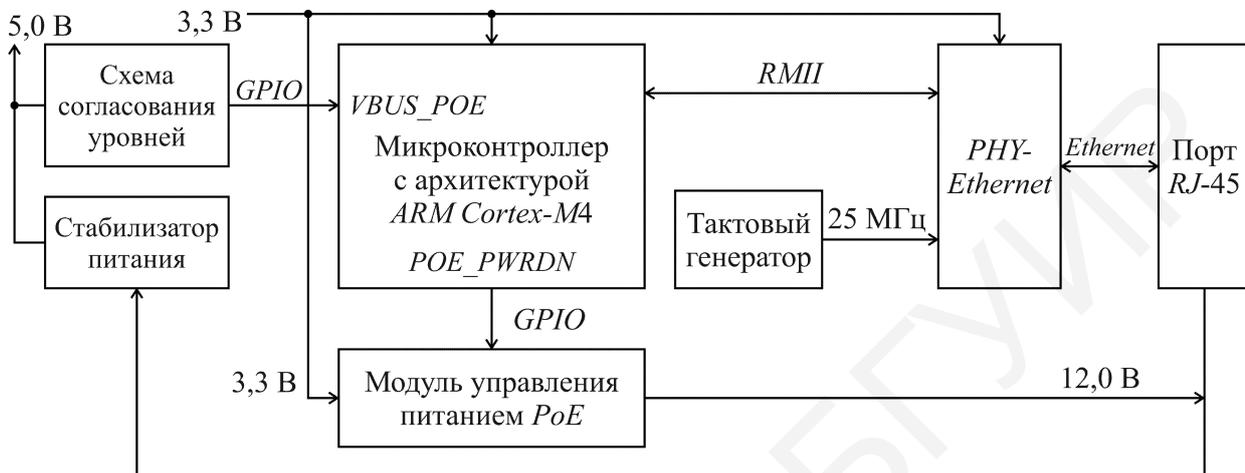


Рисунок 17 – *PoE PSE*

4.2.2 *WiFi*-интерфейс курсовых проектов приборов систем управления, телемеханики и телеметрии реализуется средствами модулей *RTL8710* и *ESP8266*, которые управляются *AT*-командами по *UART/SPI/I2C*, но чаще всего по *UART* (рисунок 18). *WiFi*-интерфейс для микроконтроллеров *ESP32* с архитектурой *Tensilica Xtensa* и *nRF528xx* от *Nordic Semiconductor* реализуется программным способом благодаря встроенному в них радиомодулю с несущей частотой 2,4 ГГц.



Рисунок 18 – Фрагмент структурной схемы управления *WiFi*-адаптерами

4.2.3 В целом по *UART* управляются и иные модули: *GSM*, *GPRS*, *GPS*, *RFID*, *Bluetooth*, *BAR* и *QR*. Место *UART* в структурной схеме подключения к микроконтроллеру модулей считывания кодов *RFID*-меток (*EM-18* с несущей частотой 125 кГц (тема 42), *PN532_NFC_RFID_Module* с частотой 13,56 МГц (темы 75 и 76) и *YR903* с частотой 860–960 МГц (тема 56)), *Bluetooth*-модуля *HC-05/06/07* (темы 14 и 42), а также считывателей *BAR*- и *QR*-кодов (тема 14) приведено на рисунке 19.

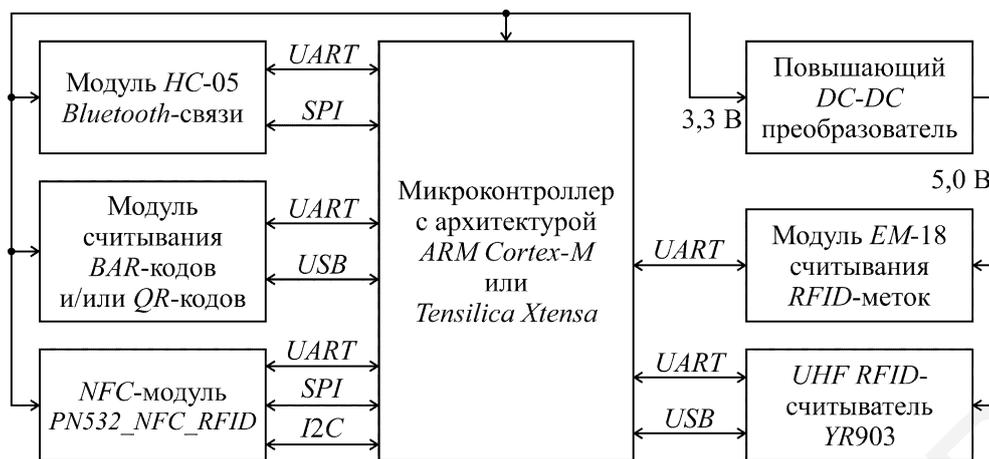


Рисунок 19 – Фрагмент структурной схемы подключения к микроконтроллеру различных модулей считывания по *UART*

4.2.4 Модуль *nRF24L01+* и *ePD*-дисплей типа «электронная бумага», применяемые в курсовых проектах с темами 88–90 систем управления ценообразованием, имеют интерфейс *SPI* связи, по которому они подключаются к микроконтроллеру (рисунок 20). Линии *GPIO* ввода-вывода общего назначения на рисунке 20 используются в качестве сигналов дополнительного управления, например, в качестве сигнала */CS* активации.

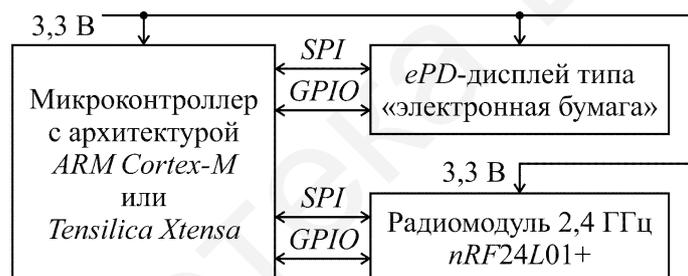


Рисунок 20 – Фрагмент структурной схемы подключения к микроконтроллеру радиомодуля *nRF24L01+* и *ePD*-дисплея типа «электронная бумага»

4.2.5 В темах 89, 91 применяется инфракрасный канал с интерфейсом *IrDA* связи базовой станции системы управления ценообразованием с электронными ценниками. Применение *IrDA* в контексте структурной электрической схемы прибора изображено на рисунке 21.

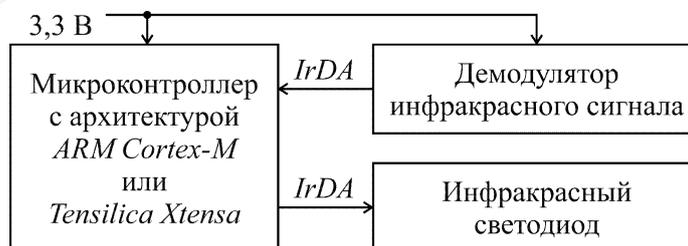


Рисунок 21 – Фрагмент структурной схемы применения *IrDA*

4.2.6 Связь по проводному *CAN*-интерфейсу в системах телематики и телеметрии тем 84 и 85 обеспечивается драйвером *MCP2551*, *MCP2562* или *SN65HVD233* с приведённым на рисунке 22 подключением к микроконтроллеру.

В связи с тем, что *CAN*-драйвер преобразует интерфейс *CAN-TTL* с *TTL*-уровнями кодирования информации в стандартный *CAN*-интерфейс с кодированием информационных битов разностью напряжений в линиях *CANH* и *CANL*, подключение данного драйвера возможно к микроконтроллеру со встроенным интерфейсом *CAN-TTL*. Из полного перечня основных электронных элементов, приведённых в таблице 3, таковыми микроконтроллерами являются *STM32F103*, *STM32F407*, *ESP32*.

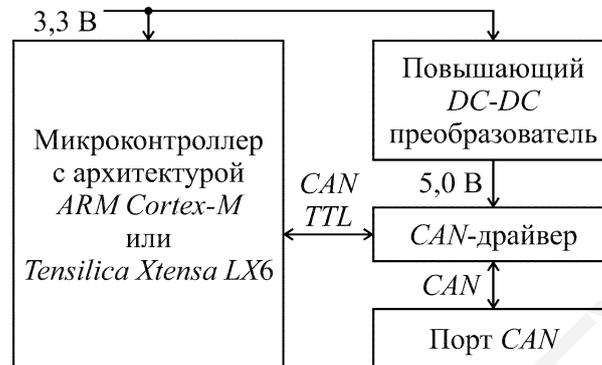


Рисунок 22 – Фрагмент структурной схемы подключения *CAN*-драйвера

На рисунках 17, 19 и 22 модуль управления питанием или повышающий *DC-DC* преобразователь выполнен на базе микросхемы *MT3608*.

4.3 Мобильные кодеки и приборы логического анализа сигналов цифровых интерфейсов связи

4.3.1 Цель логического анализа состоит в декодировании данных, передаваемых по интерфейсам связи, с учётом автоматической идентификации их (интерфейсов) типов. В соответствии с целью предметом логического анализа являются осциллограммы сигналов закодированных данных, а объектом – физический, канальный, сетевой, транспортный и сеансовый уровни различных интерфейсов связи [1].

4.3.2 К данному тематическому классу относятся темы 3–11, 86. В них тип интерфейса задан. Студенту необходимо детально проанализировать его в контексте модели *OSI*, в особенности на двух её «нижних» уровнях, и спроектировать аппаратно-программный модуль в виде прибора считывания и, исходя из известного способа кодирования информации и формата посылок для заданного интерфейса, декодирования передаваемых по линиям связи битового потока.

4.3.3 При проектировании приборов логического анализа неотъемлемой частью выступают выводы микроконтроллера, связанные с таймером общего назначения, – так называемые «выводы захвата». Они применяются в измерении длительности каждого импульса в линиях анализируемого интерфейса. Массив измеренных таким образом длительностей используется впоследствии в процессе декодирования.

Структурно связь интерфейса с таймером общего назначения может означаться так, как показано на рисунке 23.

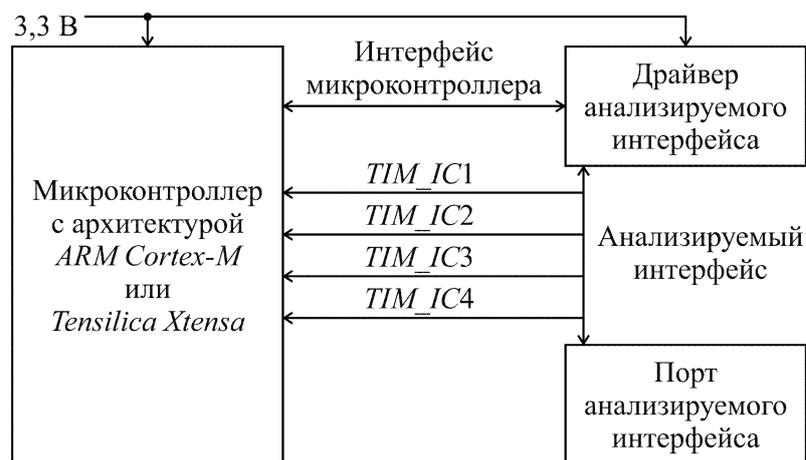


Рисунок 23 – Связь линий *TIM_IC* таймера общего назначения с анализируемым интерфейсом

На рисунке 23 *TIM (Time Intervals Measurement)* указывает на использование линий, имеющих аппаратную связь с таймером общего назначения, как минимум, через прерывания, а лучше, средствами блока *DMA* прямого доступа к памяти (вопрос 36 таблицы 2) или непосредственно таймера (см. схожий вопрос 40 таблицы 2). В последнем случае при применении непосредственно таймера в его структуре используются линии *TIM_IC* захвата фронта.

4.3.4 Кроме таймера общего назначения, в курсовых проектах данного тематического класса широко применяются готовые цифровые осциллограммы для заданного интерфейса, хранящиеся на *SD*-карте в текстовом файле в виде двухмерного массива вещественных чисел:

0.01224006	0
0.01232006	0
0.01240006	-3.0859375
0.01248006	-3.09375
0.01256006	-3.171875
0.01264006	-3.09375
0.01272006	-3.140625
0.01280006	-3.109375
0.01288006	-2.9921875
0.01296006	-3.1171875
0.01304006	-3.125
0.01312006	-3.03125
0.01320006	-3.1875
0.01328006	-3.234375
0.01336006	0
0.01344006	0,

где первый столбец означает время, измеряемое в секундах, второй и последующие отвечают за величину мгновенного напряжения.

Поэтому во всех схемах данного тематического класса присутствует *SD*-карта с её стандартным подключением к микроконтроллеру (см. рисунок 13). Общая же постановка задачи формулируется примерно следующим образом: «декодирование пакетов заданного интерфейса, хранящихся в виде осциллограмм в текстовом формате на *SD*-карте».

Специфика постановки задачи обуславливает и присущий данному тематическому классу вопрос 66 «Форматы файлов представления многоканальных цифровых осциллограмм» из таблицы 2.

4.3.5 В некоторых темах, например, в теме 5 исходные осциллограммы представляются в виде изображений экрана осциллографа примерно так, как показано на рисунке 24. В этом случае предполагается задействование в проекте цифровой видеокамеры и фотофиксация с её помощью кадров с изображениями осциллограмм. Программа микроконтроллера в этом случае обрабатывает видеокadres, локализует в них образы осциллограмм и декодирует их.

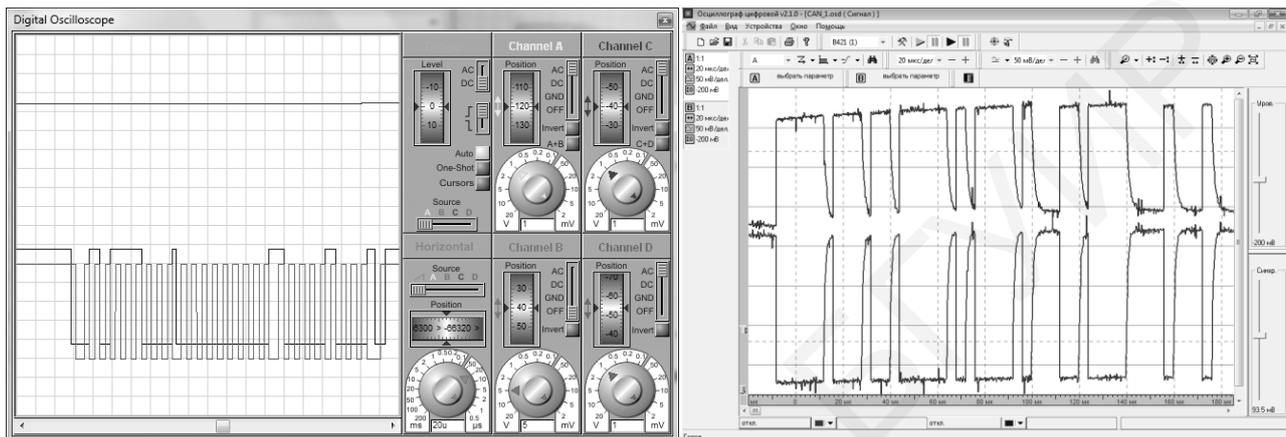


Рисунок 24 – Примерный вид исходных осциллограмм для тем логического анализа сигналов интерфейсов по их изображениям

В приведённом варианте исходные данные в виде изображений осциллограмм как моделей отдельных кадров могут храниться на *SD*-карте в простейшем *BMP*-формате, а постановка задачи выглядит следующим образом: «логический анализ заданного интерфейса по изображению осциллограммы, хранящейся на *SD*-карте или считываемой видеокамерой».

4.3.6 Темы логического анализа, связанные с обработкой изображений и видеокadres, являются смежными по отношению к тематическому классу 3 «Приборы считывания, анализа, обработки и воспроизведения образов», где акцентируется внимание на цифровой обработке сигналов, в первую очередь, аудио- и видеосигналов. Поэтому структурная связь цифровой видеокамеры с микроконтроллером, характерная данным темам, представлена в следующем подразделе 4.4.

4.4 Мобильные приборы считывания, анализа, обработки и воспроизведения образов

4.4.1 Предметом курсовых проектов данного тематического класса являются многомерные массивы данных, в частности, целых чисел. В качестве объектов выступают различные образы, распознаваемые и фильтруемые из входных потоков или синтезируемые по определённым алгоритмам.

4.4.2 К данному тематическому классу относятся темы 12, 13, 23–39, 43–52, 55, 59, 70, 72, 77–79, 87, 98, 99, 105–107, посвящённые в основном обработке,

синтезу и воспроизведению аудио- и видеосигналов (соответственно 36 и 43 % от тем данного тематического класса).

4.4.3 В качестве источников цифровых сигналов в перечисленных темах выступают цифровой микрофон и видеочасть, значительно реже, датчики микроклимата (температуры, влажности, освещённости, давления, скорости и направления воздушных потоков и т. д.) и инерциальной навигации (акселерометр, магнетометр, гироскоп). Фрагмент структурной схемы подключения к микроконтроллеру цифровых микрофона и видеочасти, а также аудиокодека как микросхемы, участвующей в воспроизведении аудиосигналов, изображён на рисунке 25.

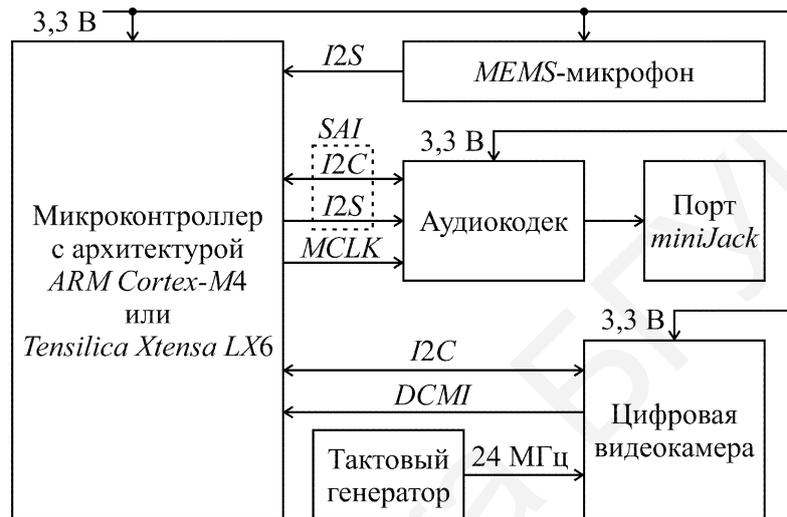


Рисунок 25 – Фрагмент структурной схемы подключения к микроконтроллеру цифрового микрофона, видеочасти и аудиокодека

В ней основными интерфейсами связи выступают:

- в аудиотехнике SAI (*Serial Audio Interface*) как объединение интерфейсов I2S и I2C;

- в цифровых видеочастях DCMI (*Digital Camera Media Interface*) или DVP (*Digital Video Port*) в интеграции с шиной SCCB (*Serial Camera Control Bus*), совместимой с I2C.

Тактирование видеочасти может осуществляться как от тактового генератора (такой способ тактирования приведён на рисунке 25), так и напрямую от микроконтроллера (наподобие подачи сигнала тактирования аудиокодека на рисунке 25) посредством линии MCO (*Master Clock Output*) или вывода TIM_CH, аппаратно связанного с таймером общего назначения. Сигналы тактирования имеют форму меандра.

Подключению к микроконтроллеру цифровых датчиков микроклимата и инерциальной навигации посвящены тематические подразделы 4.5 и 4.8 соответственно.

4.4.4 Источником питания приборов данного тематического класса в 100 % случаев является аккумуляторная батарея. В темах 27, 29, 45 в дополнение к аккумулятору может применяться питание PoE PD (упрощённую структурную схему PoE PD см. на рисунке 16, а), а в теме 77 – через microUSB-порт связи. В темах 46, 52, 55 проектируемый прибор выступает в качестве источника питания

по отношению к внешнему прибору, подключенному к нему через разъём *RJ-45* (тема 46) по технологии *PoE PSE*, в первом приближении структурно изображённой на рисунке 17, или *microUSB* (темы 52, 55). Управление питанием *USB*-порта для тем 52, 55, 77 поясняется в подразделах 4.6 и 5.11.

4.5 Мобильные приборы измерения и контроля

Данный тематический класс, к которому относятся темы 60, 80, 81, 95–97, 101–103, является смежным по отношению к классу приборов систем телемеханики и управления. Это обусловлено необходимостью передачи измерительной информации на расстояния и дистанционного её контроля с целью общего управления. Поэтому по некоторым вопросам, входящим в задания по курсовым проектам по указанным темам, следует обращаться к подразделу 4.2.

Из всего множества тем курсовых проектов данный тематический класс, согласно таблице 2, посвящён измерению электрической ёмкости (темы 80, 81), виброакустической и тепловой диагностике (темы 95–97), контролю состояния микроклимата (темы 60, 101, 102) и ультразвуковой дальнометрии (тема 103).

4.5.1 Предметом данного тематического класса являются физические параметры измерения и контроля, а объектом – сигналы сенсоров или цифровых датчиков физических параметров.

4.5.2 В измерении электрической ёмкости применяются два варианта схем: наиболее распространённый на базе таймера 555 как преобразователя сигналов электрического напряжения на ёмкости, входящей в состав интегрирующей *RC*-цепи, в последовательность прямоугольных импульсов; на базе подключенного к измеряемой ёмкости АЦП с последующим программным анализом скоростей её заряда и разряда. Фрагменты структурных схем обоих вариантов приведены на рисунке 26.

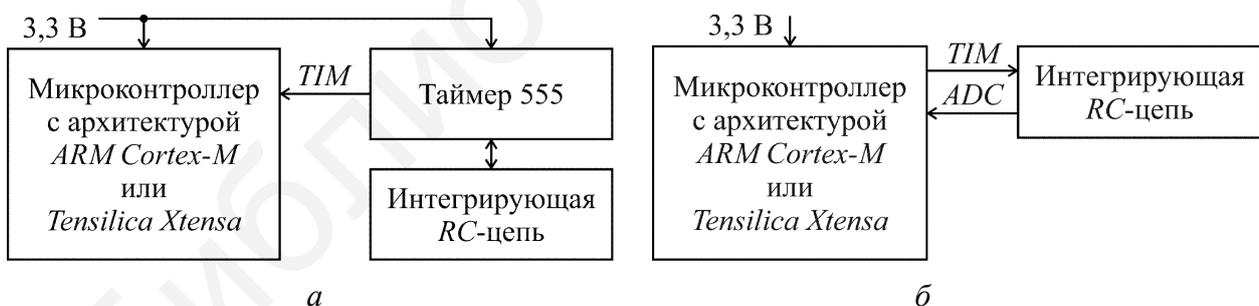


Рисунок 26 – Фрагменты структурных схем измерения электрической ёмкости на базе таймера 555 (*а*), с использованием АЦП (*б*)

Следует заметить, что в обоих случаях задействованы линии микроконтроллера, аппаратно связанные с таймером *TIM* общего назначения микроконтроллера. Причём в первом случае таймер *TIM* микроконтроллера работает в режиме измерения частоты импульсной последовательности или длительности импульсов от микросхемы таймера 555 (см. вопросы 40, 42 таблицы 2), а во втором случае – в режиме генерации меандра с автоматической подстройкой его частоты (см. вопросы 32, 37 таблицы 2).

4.5.3 Задача контроля микроклимата подразумевает измерение таких параметров, как температура и относительная влажность среды, давление в ней, отчасти освещённость, газовый состав и некоторые другие.

Исходя из таблицы 2, теме микроклимата, в особенности датчикам и сенсорам систем его контроля, посвящены вопросы 52, 53, 58 и 59.

Стандартный контактный датчик *DS18B20* температуры поддерживает проводной интерфейс *1-WIRE*. Кроме него, в некоторых темах упоминается бесконтактный пирометрический датчик *MLX90614* температуры. Он наряду с датчиками *Si7020-A20* влажности, *BMP280* или *MS5540-СМ* давления и *BH1750* освещённости подключается к микроконтроллеру по интерфейсу *I2C* (рисунок 27).

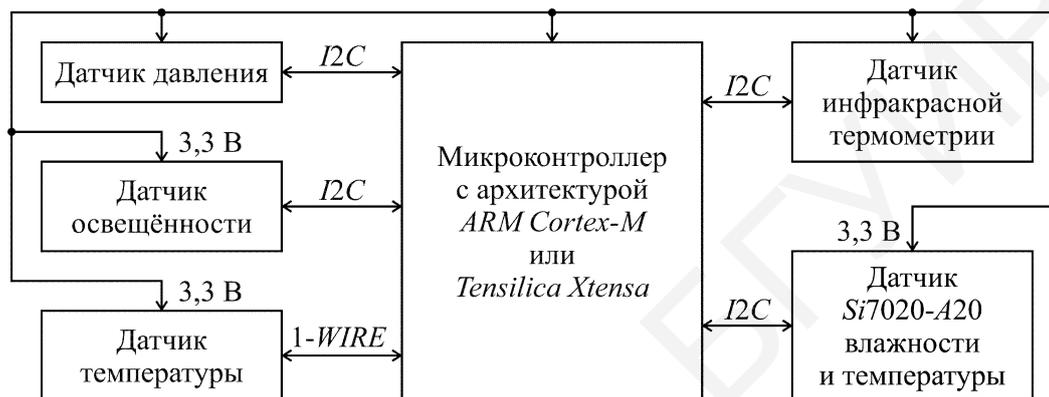


Рисунок 27 – Фрагмент структурной схемы подключения к микроконтроллеру датчиков микроклимата

4.5.4 Вибрационные датчики (в данном случае *MEMS*-акселерометры, см. вопрос 50 таблицы 2) и болометры *LEPTON FLIR* и *AMG8833* как бесконтактные матричные сенсоры дистанционного измерения распределения тепловых полей используются в виброакустическом (темы 95 и 97) и тепловом (темы 96 и 97) диагностировании. Фрагмент структурной схемы их подключения к микроконтроллеру приведён на рисунке 28.

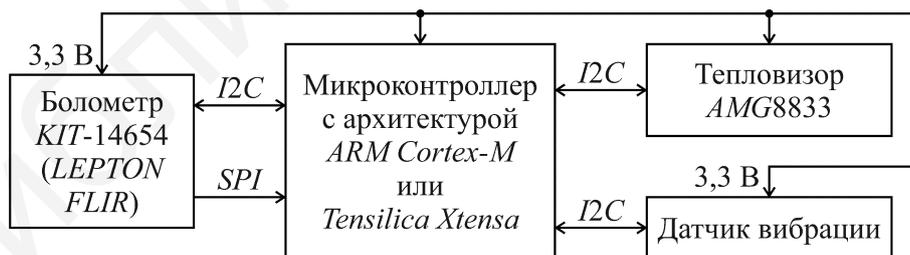


Рисунок 28 – Фрагмент структурной схемы подключения к микроконтроллеру виброакустических датчиков и болометров

Как видно из рисунка 28, и здесь основными интерфейсами связи выступают *SPI* и *I2C*.

Следует отметить, что *MEMS*-акселерометры, кроме вибродиагностики, также применяются в системах инерциальной навигации, описанию которых посвящён подраздел 4.8.

4.5.5 У ультразвуковых дальномеров *HC-SR04*, *US-100* и *URM37* малого радиуса действия, согласно логике их функционирования, используется один из интерфейсов связи: *UART* для *US-100* или *URM37* и *TIM_IC* для *HC-SR04*.

4.6 Мобильные приборы моделирования *USB*-устройств

К данному классу относятся темы 15–22 и 100, непосредственно связанные с моделированием *USB*-устройств. В проектах с темами 3, 52, 55, 75, 77, 82–84, 101–103, принадлежащих к иным тематическим классам, также требуется поддержка *USB*, но в виде дополнительной функции.

4.6.1 Предметом данного тематического класса выступает интерфейс *USB* как средство связи, объектом – технические и программные способы обеспечения взаимодействия по *USB*.

4.6.2 Специфическими особенностями в реализации протоколов различных *USB*-классов являются:

- в случае отсутствия в микроконтроллере встроенного *USB*-контроллера – генерация на уровне *GPIO* (в связке с таймером общего назначения и блоком *DMA* прямого доступа к памяти) импульсных последовательностей *USB*-посылок в соответствии с *USB*-стандартом; следует заметить, что в микроконтроллерах *STM* и *nRF* с архитектурами *ARM Cortex-M3/M4* имеется встроенный *USB*-контроллер, автоматически поддерживающий почти все уровни модели *OSI*;

- управление питанием *USB*-порта при работе прибора как в режиме «ведомого» (*USB-device*), так и в режиме «ведущего» (*USB-host*).

4.6.3 Схема управления питанием *USB*-порта структурно изображена на рисунке 29.

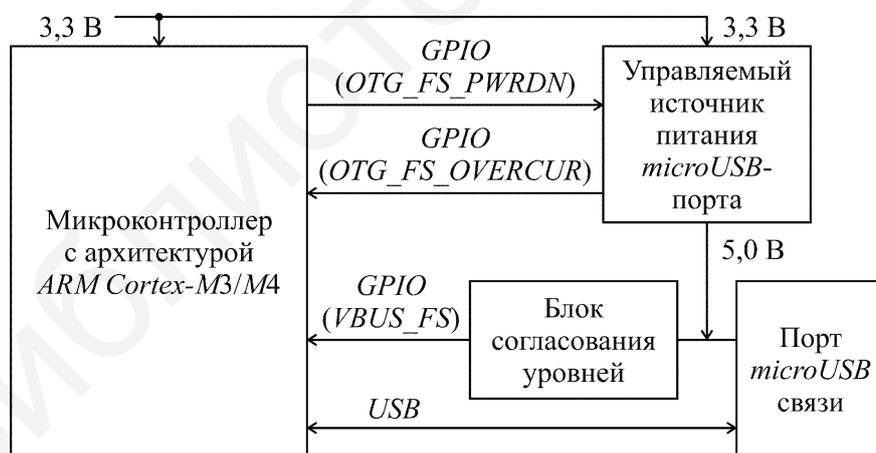


Рисунок 29 – Фрагмент структурной схемы управления питанием *USB*-порта

В ней важным элементом является управляемый источник питания *microUSB*-порта – это микросхема *STMPS2141*. Она включается или выключается по сигналу *OTG_FS_PWRDN*, она же измеряет потребляемый ток в *USB* и выдаёт сигнал *OTG_FS_OVERCUR* в случае его превышения допустимого порогового значения в 500 мА. Блок согласования уровней предназначен для снижения входного напряжения 5,0 В *USB*-порта до микроконтроллерного 3,3 В.

4.7 Мобильные модули для распределённых систем и параллельных вычислений

К данному классу относятся темы 40, 41, 69, где проектируемые приборы представляют собой сетевые модули как элементы «обширного» распределённого компьютера с массовым параллелизмом – транспьютерной (от *TRANSistor comPUTER*) вычислительной системы [16, 17]. Транспьютерные вычислительные системы представляют ансамбль элементарных процессоров, взаимодействующих через регулярную сеть связи.

4.7.1 Предметом данного тематического класса выступает транспьютер как микропроцессорный модуль обширной вычислительной системы, объектом – технические средства и методы организации параллельных вычислений в распределённых системах.

4.7.2 Кроме непосредственного микропроцессора с памятью, транспьютер содержит линк в виде канала или порта ввода-вывода информации, предназначенного для подключения соседнего транспьютера. В качестве интерфейсов регулярной сети для связи транспьютеров в курсовых проектах применяется проводные *Ethernet*, *RS-485* и беспроводные *WiFi*, *GPRS*, *3G*, *LTE*. Линком выступают интерфейсные порты в виде разъёмов *RJ-45*, *RJ-11 (RJ-22)*, *DB-9*.

4.7.3 Месту *Ethernet* и *WiFi* в структуре транспьютера посвящён подраздел 4.2, в частности, пункты 4.2.1, 4.2.2 с рисунками 16–18.

4.7.4 Беспроводные интерфейсы *GPRS*, *3G*, *LTE* реализуются с помощью специализированных модемов, управляемых посредством *AT*-команд по интерфейсу *UART* или *RS-232*. Несмотря на различия в уровнях кодирования информационных битов интерфейсов *RS-232* и *UART*, канальный уровень, а точнее формат посылок, у них совпадает. Поэтому во взаимодействии с *GPRS*-, *3G*- и *LTE*-модемами *UART*, присутствующий в любом микроконтроллере, является определяющим. Связь между *UART* и *RS-232* осуществляется средствами драйвера *RS-232* (рисунок 30), преобразующего TTL-уровни *UART* в КМОП-уровни *RS-232* с дополнительным инвертированием сигнала. В качестве конкретных микросхем-драйверов *RS-232* рекомендуются *SP3232EEY* или *ADM3251EARWZ*.

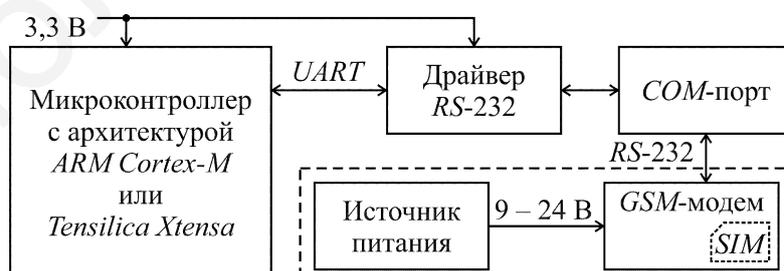


Рисунок 30 – Структурная связь интерфейсов *UART* и *RS-232*

GSM-модем с интерфейсом *RS-232* управления используется и в смежных темах 26, 28 тематического класса 3 «Мобильные приборы считывания, анализа, обработки и воспроизведения образов».

4.7.5 Интерфейс *RS-485*, которому посвящены вопросы 33 и 57 таблицы 2, также строится на основе *UART* в сочетании с драйвером *RS-485*, например,

ADM2482EBRWZ или *ADM3493*. Схема связи *RS-485* с *UART* структурно изображена на рисунке 31. В ней для управления полудуплексным драйвером интерфейса *RS-485* применяется пара линий, стандартно именуемых *DE* для передачи и */RE* для приёма, которые работают в режиме *GPIO*.



Рисунок 31 – Связь *RS-485* с *UART* в микроконтроллерной системе

На базе *RS-485* строится сеть с шинной архитектурой. Подключаемые к общей шине приборы, как правило, от неё же и запитываются. На рисунке 31 предусмотрено питание прибора через *RS-485*. При этом рекомендуется, как минимум, 6-контактный разъём *RJ-11/RJ-22*, в котором с целью повышения нагрузочной способности микроконтроллерной сети две линии задействованы под положительный потенциал, а две – под «землю». Три порта *RJ-22* на рисунке 31 необходимы для подключения к шине *RS-485* соседних приборов с подачей на них питания.

4.7.6 В пункте 4.2.2 упоминалась реализация *WiFi* на основе специализированных модулей *RTL8710* и *ESP8266mod*. Но в некоторых курсовых проектах на базе микроконтроллеров *ESP8266*, *ESP32* или *nRF52* со встроенным радиоканалом с частотой 2,4 ГГц требуется самостоятельная проработка аппаратно-программной части *WiFi*-интерфейса. В этом случае в схемотехнике микроконтроллерной периферии проекта необходимо учитывать антенный модуль в составе радиоусилителя *SKY66112*, *LC*-фильтра, печатной антенны и, на усмотрение студента, антенного *SMA*-разъёма (рисунок 32).



Рисунок 32 – Структурная связь антенного модуля с микроконтроллером со встроенным радиоканалом

Проектированию печатных антенн, схемотехническим решениям и расчёту *LC*-фильтров посвящены вопросы 39 и 65 таблицы 2 и источники [18, 19].

4.8 Мобильные приборы навигационных систем

Навигационные системы предназначены для определения местоположения, ориентации на местности и в пространстве, контроля траектории и параметров перемещения (направления, скорости, ускорения) объекта.

К данному классу относятся темы 57, 58, 92–94, 104. Их предметом являются глобальные и локальные координаты позиционирования, объектом – методы и технические средства измерения глобальных и локальных координат.

Из всех известных типов навигационных систем в настоящее время наибольшую популярность получили спутниковая *GPS/GNSS/ГЛОНАСС* и инерциальная. В первом случае в курсовых проектах (темы 57, 92–94, 104) используются специализированные модули с поддержкой стандарта *NMEA*-протокола, а во втором случае (темы 58, 92–94, 104) – *MEMS*-сенсоры: акселерометры, магнитометры, гироскопы.

4.8.1 Модуль *UBLOX NEO-M8M* спутниковой навигации упоминается в вопросе 55 таблицы 2. Он поддерживает микроконтроллерные порты связи *UART*, *SPI* и *USB* (рисунок 33).

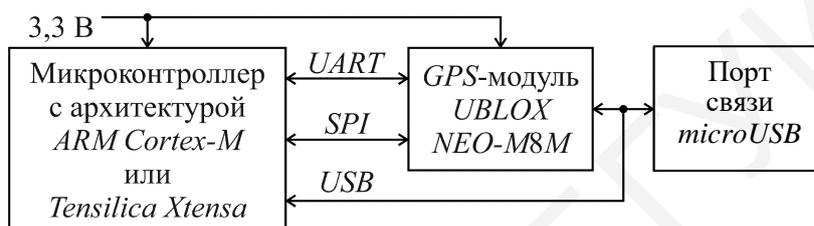


Рисунок 33 – Связь модуля спутниковой навигации с микроконтроллером

4.8.2 Сенсоры инерциальной навигации, среди которых чаще встречаются *MEMS*-акселерометры, в подключении к микроконтроллеру используют один из интерфейсов *I2C* или *SPI*. Применение *MEMS*-акселерометра как датчика вибрации упоминается в подразделе 4.5, где на рисунке 28 указана его связь с микроконтроллером по интерфейсу *I2C*.

4.8.3 Совместная работа спутниковой и инерциальной навигации осуществляется в задаче контроля перемещения домашних животных с целью быстрого их отыскания при удалении на большое расстояние или исчезновении из поля зрения (тема 92), в задаче контроля и сигнализации перемещения багажа во время транспортировки, быстрого его отыскания в пунктах приёма или при пропаже (тема 104), а также в задаче мониторинга подконтрольных объектов с целью своевременного выявления их выхода за определённую границу (тема 93). Вариант совместной работы глобальной спутниковой и локальной инерциальной навигации преследует повышение точности вычисления местоположения и, как следствие, оперативности в принятии решений. В этом случае, кроме навигационных датчиков, применяются сенсоры состояния окружающей среды в месте нахождения контролируемого объекта и сопутствующие технические средства, такие как приборы световой, звуковой и механической сигнализации. Касательно связи с микроконтроллером датчиков и сенсоров состояния окружающей среды следует обратиться к пункту 4.5.3 с рисунком 27 и отчасти, в плане микрофона, к пункту 4.4.3 с рисунком 25. Связь же сигнализирующих приборов с микроконтроллером структурно изображена на рисунке 34.

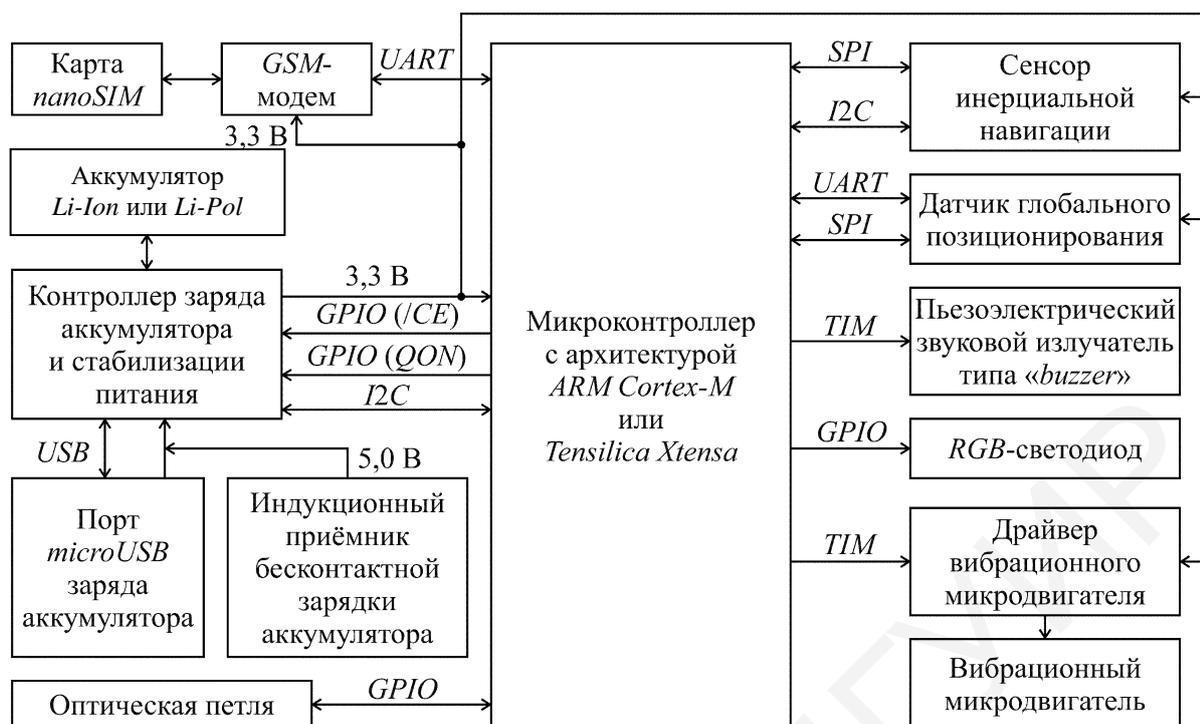


Рисунок 34 – Структурная связь приборов сигнализации с микроконтроллером

В качестве прибора механической сигнализации выступает вибрационный микродвигатель. К слову, электродвигатель, точнее шаговый электродвигатель, используется и в теме 100 проекта *USB-принтера* (вопросы 41 и 48 таблицы 2). Его структурная связь с микроконтроллером идентична связи с микроконтроллером вибрационного микродвигателя (см. рисунок 34), т. е. через специализированный драйвер с ШИМ-интерфейсом управления, реализуемого с помощью микроконтроллерного таймера *TIM* общего назначения.

Звуковые эффекты, генерируемые пьезоэлектрическим излучателем типа «*buzzer*», создаются ШИМ-управлением таймером *TIM*, структурно и аппаратно связанным с излучателем.

На рисунке 34 в качестве датчика глобального позиционирования выступает тот же модуль *UBLOX NEO-M8M* навигации, что и на рисунке 33.

В связи *GSM-модема SIM5320* с микроконтроллером следует отметить основной интерфейс *UART*, как и в пункте 4.7.4 с рисунком 30. Единственное отличие заключается в использовании на рисунке 34 *GSM-модема* с картоприёмником *SIM-карты* как непосредственных элементов конструкции печатной платы проектируемого прибора.

«Оптическая петля» на рисунке 34 применяется в проекте с темой 93 (её применение возможно и в теме 92) для контроля целостности браслета (или ошейника в теме 92).

Нюанс проектов с темами 92 и 93 заключается в несъёмной и неразборной конструкции разрабатываемых приборов наряду с их мобильностью. В этом случае необходимо предусмотреть бесконтактную индукционную зарядку аккумуляторной батареи. На рисунке 34 она схематично представлена символом «индукционный приёмник бесконтактной зарядки аккумулятора».

4.9 Универсальные отладочные стенды

Перечнем предлагаемых в пункте 1.1.4 тем курсовых проектов представлены два отладочных стенда (темы 82 и 83), назначение которых состоит в многопрофильном и многоцелевом их применении в образовательном процессе.

Предметом отладочных стендов являются аппаратно-программные средства построения микроконтроллерных систем, объектом – алгоритмы, способы и технологии управления аппаратно-программными средствами и потоковой обработки сигналов с учётом заданной архитектуры.

4.9.1 В структуру отладочного стенда с темой 82 входят: микроконтроллер *STM32F407* с архитектурой *ARM Cortex-M4*; дисплейный модуль

с контроллером сенсорной панели; аудиоканал с записью (микрофон *MP45DT02*) и воспроизведением (аудиокодек *CS43L22*) звука; цифровая видеокамера *OV2640*; *SD*-карта; *WiFi*-адаптер на базе *ESP8266*; акселерометр; светодиоды для отладки программ управления яркостью; порты связи с сопутствующими драйверами: *microUSB*, *RJ-45* для *Ethernet* с поддержкой *PoE*, *DB-9F* для *RS-232*, *RJ-11/RJ-22* для *RS-485* с возможностью питания от него и *CAN*; контроллер заряда аккумулятора на базе *BQ25890*; адаптер *ST-LINK* как преобразователь интерфейсов *USB-SWD* для загрузки программ и их пошаговой отладки.

Большая часть структурных связей проекта с темой 82 рассмотрена в предшествующих подразделах. Здесь же интерес представляет изображённый на рисунке 35 фрагмент структурной схемы коммутации *USB*-шины между адаптером *ST-LINK* и контроллером заряда аккумулятора.

Для коммутации *USB* между каналами *USB-SWD*, предназначенного для загрузки машинного кода во *flash*-память программ микроконтроллера с последующей внутрисхемной отладкой программы, и *USB-CN* заряда аккумулятора используется «управляемый *USB*-коммутатор» в виде микросхемы-демультиплексора *HD3SS6126RUAR* (вопрос 56 таблицы 2), управляемой через *I2C*-расширитель *MCP23008*.

Тактирование драйвера *PHY-Ethernet* в схеме на рисунке 35, в отличие от рисунков 16 и 17 пункта 4.2.1, осуществляется непосредственно от микроконтроллера (см. также пункт 4.4.3 с описанием способов тактирования видеокамеры).

Проект по теме 82 подразумевает применение технологий *PoE* и питания через *RS-485*, на что в схеме рисунка 35 указывают два импульсных стабилизатора напряжения. Принципам действия и схемным решениям линейных и импульсных источников напряжения посвящён вопрос 45 таблицы 2.

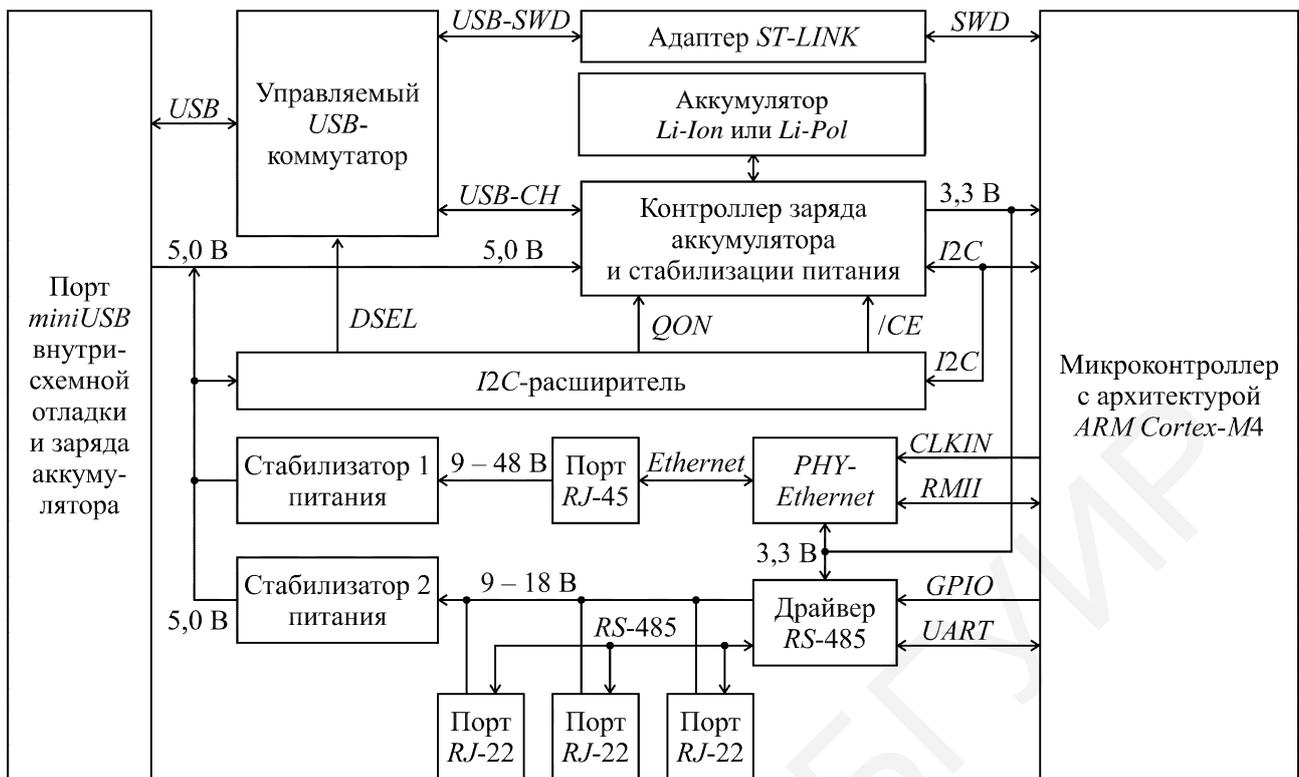


Рисунок 35 – Фрагмент структурной схемы коммутации USB-шины между адаптером внутрисхемной отладки программ и контроллером заряда аккумулятора

4.9.2 Проект отладочного стенда с темой 83 включает в себя следующие структурные элементы: двухъядерный микроконтроллер *STM32WB55* с архитектурными ядрами *ARM Cortex-M4* и *ARM Cortex-M0* со встроенным радиоканалом 2,4 ГГц (вопрос 63 таблицы 2); *OLED*-дисплей *OEL9M0087* (вопрос 61 таблицы 2); *SD*-карта; аудиоканал в составе микрофона *MP45DT02* и аудиокодека *CS43L22* (вопросы 51 и 62 таблицы 2); модуль спутниковой навигации *TESEO-LIV3R*; датчик *Si7020-A20* влажности и температуры (вопрос 53 таблицы 2); демодулятор *IS1U60L* инфракрасного сигнала (вопросы 46, 47, 60 таблицы 2); радиомодуль *RFM22B-S2* (вопрос 54 таблицы 2); четыре сенсорные кнопки, четыре светодиода и четыре тактовые кнопки (вопросы 43, 44 и 64 таблицы 2); модуль заряда аккумулятора на основе *TP4056* (вопрос 49 таблицы 2); адаптер *ST-LINK* на базе микроконтроллера *STM32F103*.

Согласно перечисленным элементам, в дополнение к фрагментам структурных схем рисунков 13, 15, 21, 25, 27–29, 32 структурная связь с микроконтроллером *OLED*-дисплея, *GPS*-модуля, сенсорных кнопок и интегрированного контроллера заряда аккумулятора, стабилизации питания и преобразования интерфейсов *USB-SWD*, использующихся в проекте по теме 83, представлена на рисунке 36.

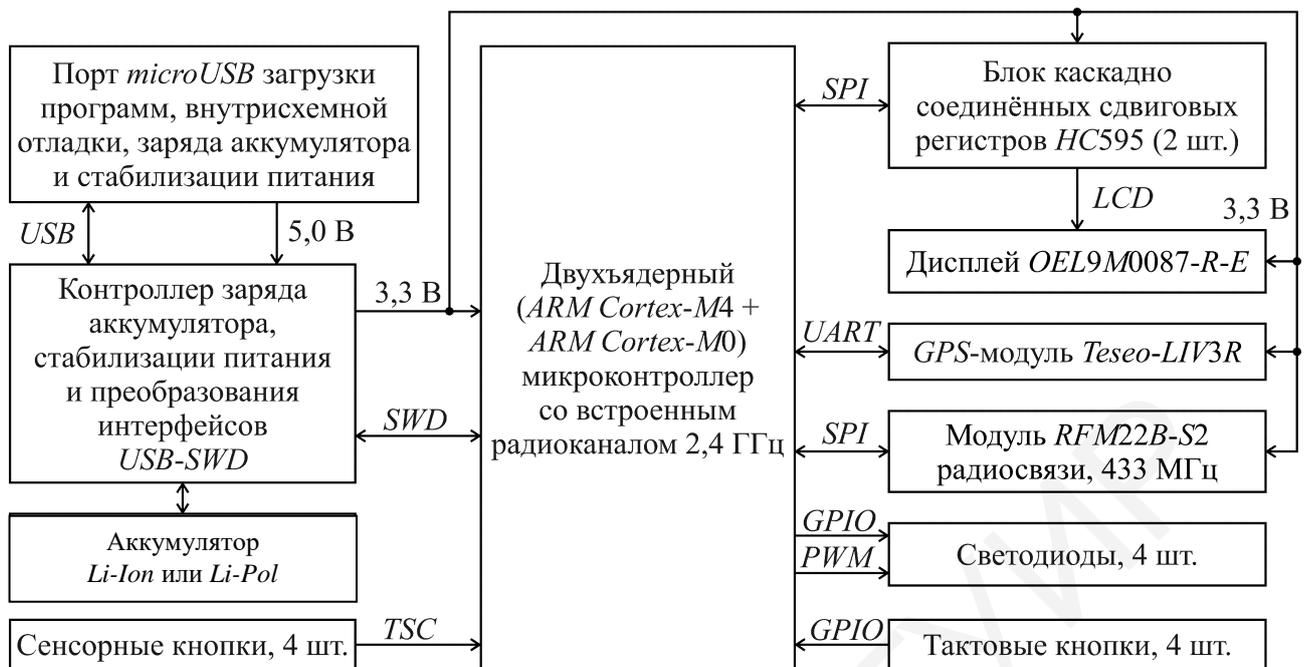


Рисунок 36 – Структурная связь с микроконтроллером *OLED*-дисплея, *GPS*-модуля, сенсорных кнопок, контроллера заряда аккумулятора и преобразования интерфейсов

В качестве блока заряда аккумулятора *Li-Ion* или *Li-Pol* в данной теме используется модуль на базе *TP4056*, не задействующий информационных линий *USB*, поэтому не требующий *USB*-коммутатора, наподобие предыдущего проекта с темой 82 и рисунка 35 [15].

Сенсорные кнопки подключены к *TSC* (*Touch Sensor Controller*) микроконтроллера *STM32WB55* (см. вопрос 44 таблицы 2).

5 МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ

Процесс построения принципиальной электрической схемы описан в ГОСТ 2.701–2008, в частности, в его подразделе 5.3.

Одним из основных объектов принципиальной схемы выступают условные графические обозначения (УГО) составляющих её элементов. Правила создания УГО элементов принципиальной электрической схемы описаны в ГОСТ 2.730–73 полупроводниковых приборов, ГОСТ 2.743–91 элементов цифровой техники и ГОСТ 2.721–74 элементов общего назначения.

Принципиальная электрическая схема строится на основе структурной схемы с учётом устоявшихся теоретико-практических и рекомендуемых производителем специализированных схемотехнических решений с применением библиотек элементов системы автоматизированного проектирования.

В случае отсутствия необходимых библиотек элементы схем создаются вручную. Библиотечный элемент включает условное графическое обозначение, часто именуемое как *symbol*, и посадочное место, называемое *footprint*.

Так как курсовые проекты по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» в большинстве своём состоят из элементов цифровой техники, то согласно ГОСТ 2.743–91 в их условном графическом обозначении прямоугольной формы выделяются основное и дополнительное поля. Рекомендуемые при этом обозначения функций нестандартных элементов, указываемых по центру и вверху основного поля (так, в качестве примера на рисунке 2 таковыми обозначениями являются «DPY» и «TS»), в дополнение к базовым элементам пункта 2.2.2 ГОСТ 2.743–91 или пункта 3.4.5 стандарта БГУИР сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Обозначения функций нестандартных элементов курсовых проектов по дисциплине «Мобильные вычислительные системы»

Элемент	Обозначение функции	Примечание
1	2	3
<i>ADM2482EBRWZ</i>	<i>UART/RS-485</i> или <i>PI</i>	По таблице 2 пункта 2.2.2 ГОСТ 2.743–91 обозначается как преобразователь; <i>PI</i> – <i>Peripheral Interface</i>
<i>ADM3251EARWZ</i> , <i>SP3232EEY</i>	<i>UART/RS-232</i> или <i>TTL/MOS</i> , или <i>PI</i>	
<i>ADS7846</i> , <i>XPT2046</i> , <i>STMPE811</i>	<i>TSC</i> или <i>TPC</i>	<i>Touch Sensor Controller</i> или <i>Touch Pad Controller</i>
<i>MicroSD</i>	<i>SD</i> или <i>SD/MMC</i>	
<i>AMG8833</i> , <i>KIT-14654</i> , <i>LEPTON FLIR</i> , <i>MLX90640</i>	<i>IRSM</i>	<i>InfraRed Sensor Matrix</i>
<i>BD5230</i>	<i>DEL</i>	Элемент задержки
<i>BH1750</i>	<i>LS</i>	<i>Light Sensor</i>
<i>BL1602</i> , <i>LCM1602</i> , <i>SC1602</i> , <i>DM-LCD35RT</i> , <i>HY32D</i> , <i>GDE021A1</i>	<i>DPY</i>	Дисплей

Продолжение таблицы 4

1	2	3
<i>BMP280, MS5540-CM</i>	<i>PS</i>	<i>Pressure Sensor</i>
<i>BQ24295, BQ25890, LTC4058, TP4056</i>	<i>CHRG</i>	<i>CHaRGe controller</i>
<i>CS43L22</i>	<i>D/A</i>	По таблице 2 пункта 2.2.2 ГОСТ 2.743 – 91 обозначается как преобразователь <i>Digital/Analog</i>
<i>DS1307</i>	<i>RTC</i>	<i>Real Time Clock</i>
<i>DS18B20</i>	<i>TS</i>	<i>Temperature Sensor</i>
<i>E3000H, LV1000</i>	<i>BAR</i>	<i>BAR-code scanner</i>
<i>E73 (2G4M08S1C), ESP32, ESP32-WROOM-32, ESP8266, SP8266MOD, ESP-12F, nRF52832, nRF52833, RTL8710, SKB501, STM32F030, STM32F103, STM32F407VGT6, STM32L053, STM32WB55</i>	<i>MCU</i>	<i>MicroController Unit</i>
<i>EM-18, YR903</i>	<i>RFID</i>	<i>RFID-scanner</i>
<i>EMI2121, USB6B1</i>	<i>*D</i>	Сборка быстродействующих защитных диодов
<i>GD25Q32, W25Q80NE</i>	<i>EEPROM</i>	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
<i>HC-05</i>	<i>BLT или BT</i>	<i>BLueTooth</i>
<i>HC-SR04, US-100, URM37</i>	<i>USR</i>	<i>UltraSonic Ranging</i>
<i>HC595</i>	<i>SRG8</i>	<i>SHift Register 8 bit</i>
<i>HD3SS6126RUAR</i>	<i>USBMX</i>	<i>USB-MultipleXor</i>
<i>IS1U60L, RPM7236-H8, VS838</i>	<i>IRDM</i>	<i>IR-DeModulator</i>
<i>LAN8710, LAN8720</i>	<i>LAN</i>	<i>Local Area Network</i>
<i>LIS302, LIS3D, MPU6050, MPU9250</i>	<i>ACM</i>	<i>ACceleroMeter</i>
<i>MAX660</i>	<i>CONV</i>	<i>Voltage Converter</i>
<i>MCP23008-E/SO, PCF8574</i>	<i>S/P</i>	<i>Serial to Parallel converter</i>
<i>MCP2551, MCP2562, SN65HVD233</i>	<i>CAN</i>	<i>CAN-driver</i>
<i>MiniSIM, NanoSIM</i>	<i>SIM</i>	<i>SIM-card</i>
<i>MLX90614</i>	<i>IRS</i>	<i>InfraRed Sensor</i>
<i>MP45DT02</i>	<i>MIC</i>	<i>MICrophone</i>
<i>MT3608</i>	<i>*STU</i>	<i>STabilizator U</i>
<i>NEO-M8M</i>	<i>GPS</i>	<i>GPS-module</i>
<i>nRF24L01+, RFM22B-S2</i>	<i>RFM</i>	<i>Radio Frequency Module</i>
<i>OV2640, OV7670, OV9655</i>	<i>CAM</i>	<i>CAMera</i>
<i>SA555DR</i>	<i>555</i>	Таймер 555
<i>Si7020-A20</i>	<i>HS</i>	<i>Humidity Sensor</i>
<i>SIM5320</i>	<i>GSM</i>	<i>GSM-модем</i>
<i>SKY66112</i>	<i>></i>	Усилитель
<i>SMT-0540-T-2-R</i>	<i>BUZ</i>	<i>BUZzer</i>

1	2	3
STMPS2141	SW	Switch
TESEO-LIV3R	GPS	Global Position Sensor
TTP223	TPS	TouchPad Sensor
WS2812, WS2814	ALED	Addressable LED

Согласно подразделу 2.2 ГОСТ 2.743–91 при вводе собственного обозначения функции элемента следует иметь в виду, что «Обозначение функций или совокупности функций, выполняемых элементом, образуют из прописных букв латинского алфавита, арабских цифр и специальных знаков, записанных без пробелов. Количество знаков в обозначении функции не ограничено, однако следует стремиться к их минимальному числу при сохранении однозначности понимания каждого обозначения».

5.1 Принципиальные электрические схемы питания и заряда литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов

В курсовых проектах в основном применяются два типа контроллеров заряда аккумулятора и питания прибора: *BQ24295* с информационным интерфейсом *I2C* (см. рисунок 14) и *TP4056* с двумя дискретными сигналами (см. рисунок 15).

5.1.1 Согласно рекомендуемому производителем применению контроллера *BQ24295* на рисунке 37 представлена схема на его базе заряда аккумулятора и питания прибора [12].

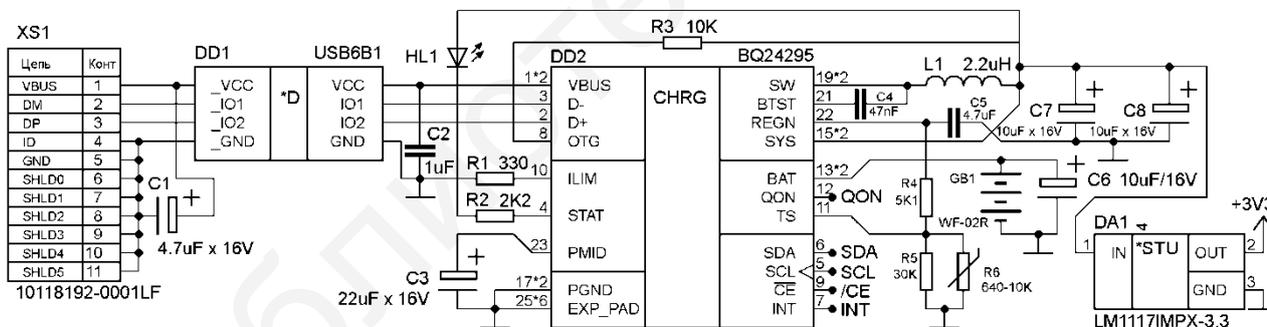


Рисунок 37 – Принципиальная электрическая схема модуля заряда аккумулятора и питания прибора на базе контроллера *BQ24295*

Аккумуляторная батарея *Li-Ion* или *Li-Pol* подключается к выходу *BAT* контроллера *BQ24295* – это выводы 13 и 14 микросхемы *DD2* на рисунке 37. Уровень и ток заряда, и иные параметры состояния аккумулятора доступны внешнему микроконтроллеру в цифровом виде посредством интерфейса *I2C* (сигналы *SDA* и *SCL* на рисунке 37). Состояние заряда также индицируется светодиодом *HL1* совместно с дискретным выходом *INT*. Максимальный ток заряда устанавливается резистором *R1*, подключенным к выходу *ILIM* (*I LIMit*) контроллера *DD2*. Сигнал *QON* (вывод 12) управляет включением/выключением процесса заряда. Выход *SYS* – это выход стабилизированного питания напряжением 3,5 В.

5.1.2 Более простая схема модуля заряда для рисунка 15 приведена на рисунке 38. Она выполнена на базе контроллера *TP4056* [15].

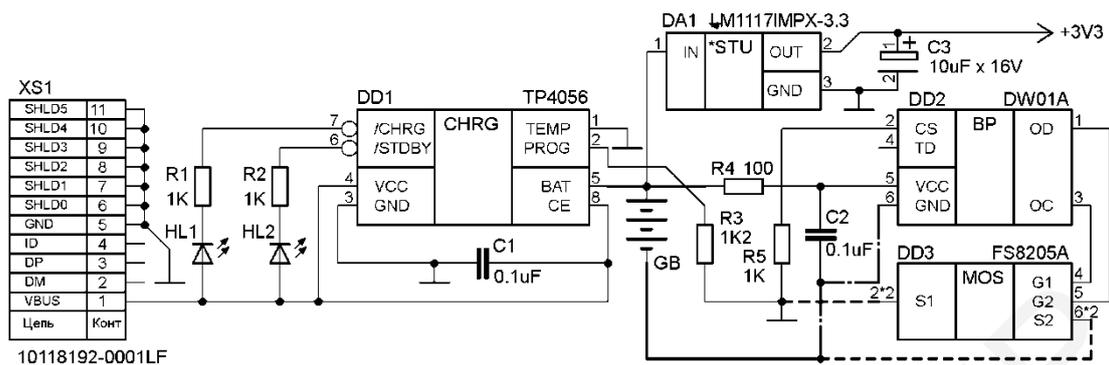


Рисунок 38 – Принципиальная электрическая схема заряда аккумулятора и питания прибора на базе *TP4056*

В схеме рисунка 38 внешний интерфейс представлен двумя сигналами */CHRG* и */STDBY*. Первый из них индицирует процесс заряда, а второй – его завершение. Во время заряда аккумулятора его отрицательный вывод разъединяется с основной «землёй», и ток заряда протекает по цепи *BAT* микросхемы *DD1*, *VCC* микросхемы *DD2* и далее к аккумулятору по штрихпунктирной линии с точкой. Питание прибора в этом случае осуществляется от внешнего источника, который параллельно заряжает и аккумулятор. При отключении внешнего источника заряда и питания схемы отрицательный вывод аккумулятора автоматически соединяется с основной «землёй» через сборку *DD3* полевых транзисторов по штрихпунктирной линии, обеспечивая таким образом питание прибора от аккумулятора.

Следует заметить, что контроллер *DD1 TP4056* не использует информационных линий *DP* и *DM* шины *USB*. Согласно документации на *TP4056* предельный ток заряда равен 1200 мА.

5.2 Варианты условных графических обозначений микроконтроллеров на принципиальных электрических схемах

В соответствии с рекомендуемым в таблице 3 перечнем элементов в курсовых проектах используются следующие микроконтроллеры и микроконтроллерные модули: *STM32F407VGT6*, *nRF52832*, *nRF52833*, *E73 (2G4M08S1C)*, *SKB501*, *ESP32*, *ESP32-WROOM-32*, *ESP8266*, *ESP8266MOD*, *ESP-12F*, *RTL8710*, *STM32F030*, *STM32F103*, *STM32L053*, *STM32WB55*.

Их условные графические обозначения на принципиальных схемах могут быть представлены двумя способами в зависимости от группировки выводов: по портам *GPIO* ввода-вывода общего назначения; по специализированным портам (*SPI*, *I2C*, *UART* и т. д.), куда могут входить в том числе и *GPIO*.

5.2.1 В качестве примера на рисунке 39 изображены УГО микроконтроллера *STM32F407VGT6* с двумя упомянутыми видами группировки выводов.

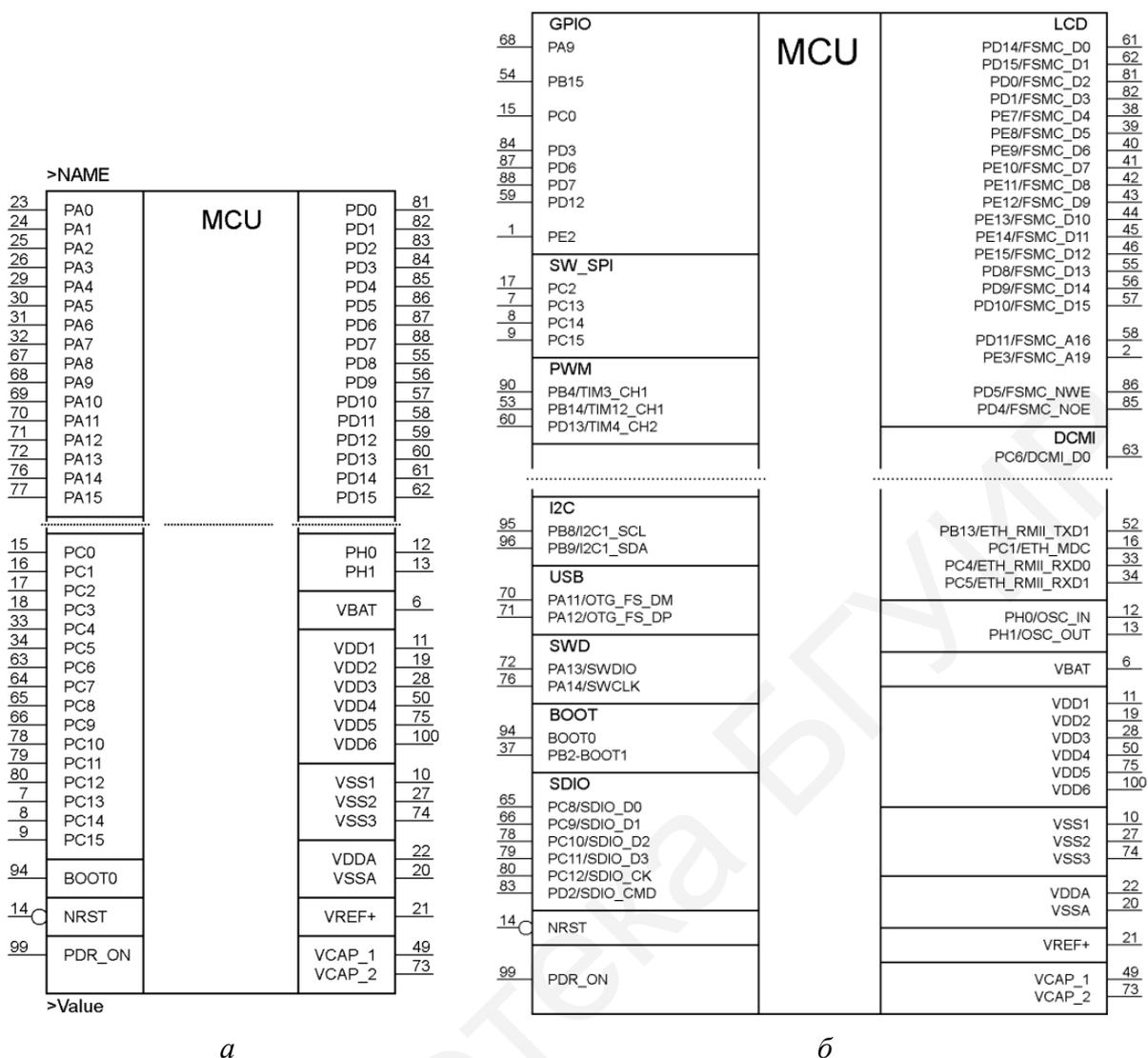


Рисунок 39 – УГО микроконтроллера *STM32F407VGT6* с группировкой выводов по *GPIO* (а) и по специализированным портам (б)

5.2.2 В качестве дополнения и закрепления материала на рисунке 40 приводятся аналогичные виды УГО для микроконтроллера *ESP32* и микроконтроллерных модулей *ESP32-WROOM-32* на базе *ESP32* и *E73 (2G4M08S1C)* на базе *nRF52840*.

Приведённые на рисунке 40 микроконтроллеры и модули чаще всего встречаются в курсовых проектах.

Следует заметить, что имена портов *GPIO* в разных микроконтроллерах обозначаются производителями по-разному: *PXY* – у *STM* (*X* – имя *GPIO*: *X = A, B, ..., E*; *Y = 0, 1, 2, ..., 15*), *IO_n* у *ESP* (*n* – порядковый номер *GPIO*), *PX.Y* у *nRF* (*X* – номер *GPIO*: *X = 0, 1*; *Y = 0, 1, 2, ..., 31*).

и фильтрации питания, загрузки программ и тактирования. В качестве образца для данной схемы используется отладочный модуль *STM32F4-DISCOVERY* как основа лабораторного стенда *AX-SOM-01*, входящего в учебную базу кафедры проектирования информационно-компьютерных систем [8].

Ввод питания схемы осуществляется посредством линии +3V3 либо через разъём *XP1* от модуля *ST-LINK* загрузки программ и пошаговой внутрисхемной отладки, либо от аккумуляторной батареи со схемой питания, изображённой на рисунке 37 или 38 [20].

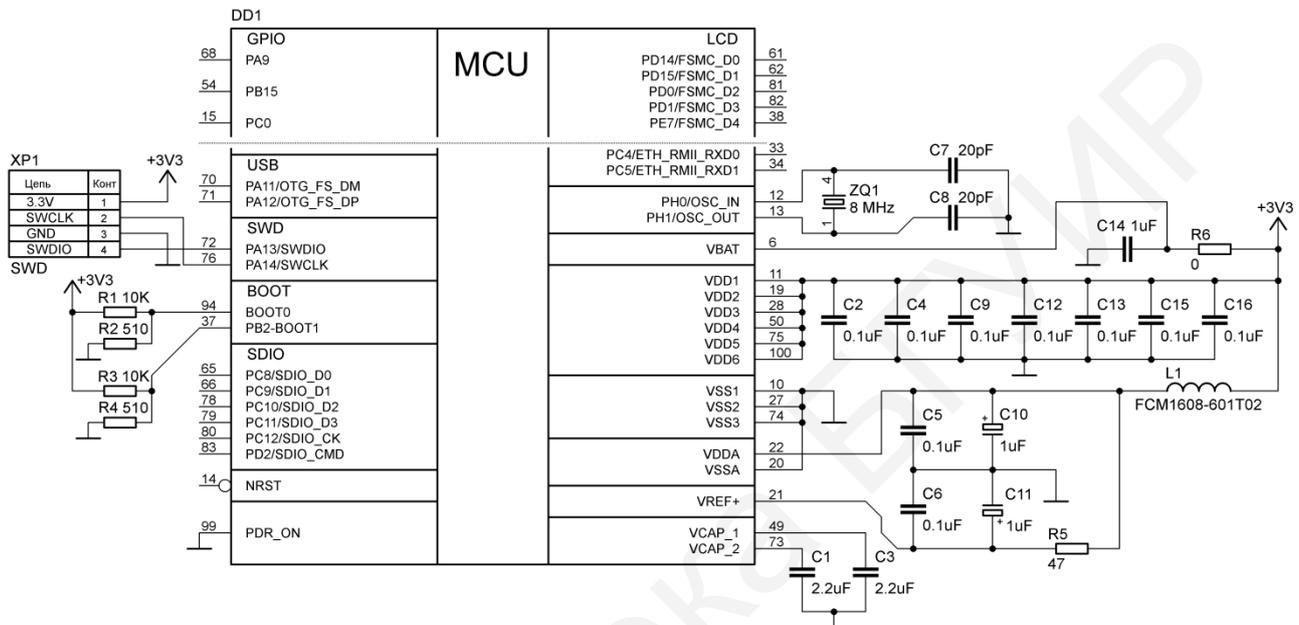


Рисунок 41 – Фрагмент схемы ввода и фильтрации питания, загрузки программ, внутрисхемной отладки и тактирования микроконтроллера *STM32F407VGT6*

Конденсаторы *C2*, *C4*, *C9*, *C12*, *C13*, *C15* и *C16* предназначены для фильтрации помех в цепях питания. Несмотря на параллельное соединение, их нельзя заменять одним конденсатором суммарной ёмкости. Данные конденсаторы устанавливаются на печатной плате в непосредственной близости от места подачи питания на различные блоки микроконтроллера. У микроконтроллера *STM32F407VGT6* имеется шесть вводов цифрового питания *VDD1–VDD6* и семь конденсаторов номиналом 0,1 мкФ (один конденсатор монтируется рядом с общим вводом питания, например, у разъёма *XP1*), которые должны устанавливаться на печатной плате прибора как можно ближе к каждому вводу питания как микроконтроллера, так и прибора в целом. Наиболее яркий пример установки подобных конденсаторов, расположенных с обратной стороны микроконтроллера по 3-4 шт. на каждой стороне квадрата проекции *TQFP*-корпуса, представлен в модуле *CORE 407I* [21, 22].

Касательно тактирования микроконтроллера в связи с наличием в нём встроенного тактового *RC*-генератора с частотой 16 МГц кварцевый резонатор *ZQ1* с сопутствующими конденсаторами *C7* и *C8* можно не устанавливать. Но в прецизионных задачах, где требуется обеспечение высокоточных временных

интервалов, обязательным является условие тактирования от внешнего, значительно более точного кварцевого резонатора.

5.3.2 Рисунок 42 посвящён схеме ввода питания, порту загрузки программы и её пошаговой отладки для микроконтроллерного модуля *ESP32-WROOM-32*. Схема детализирует блоки рисунков 8 и 9.

В качестве интерфейса программирования и пошаговой отладки используется *JTAG* с разъёмом *XP2*. В соответствии со стандартной схемой применения *JTAG* его основные линии «подтягиваются кверху», т. е. к питанию с помощью резисторов *R1, R3–R5* номиналом 1 кОм. Резисторы *R6–R9* номинальным сопротивлением 100 Ом служат для согласования уровней *JTAG*-сигналов (их стандартный максимальный уровень равен 5,0 В) прибора программирования и микроконтроллера *ESP32*, поддерживающего уровень напряжения, равный напряжению питания 3,3 В. Эти резисторы дополнительно обеспечивают токовое ограничение линий *MTDI, MTCK, MTMS, MTDO* и установлены в соответствии с рекомендациями производителя модуля *ESP32-WROOM-32*.

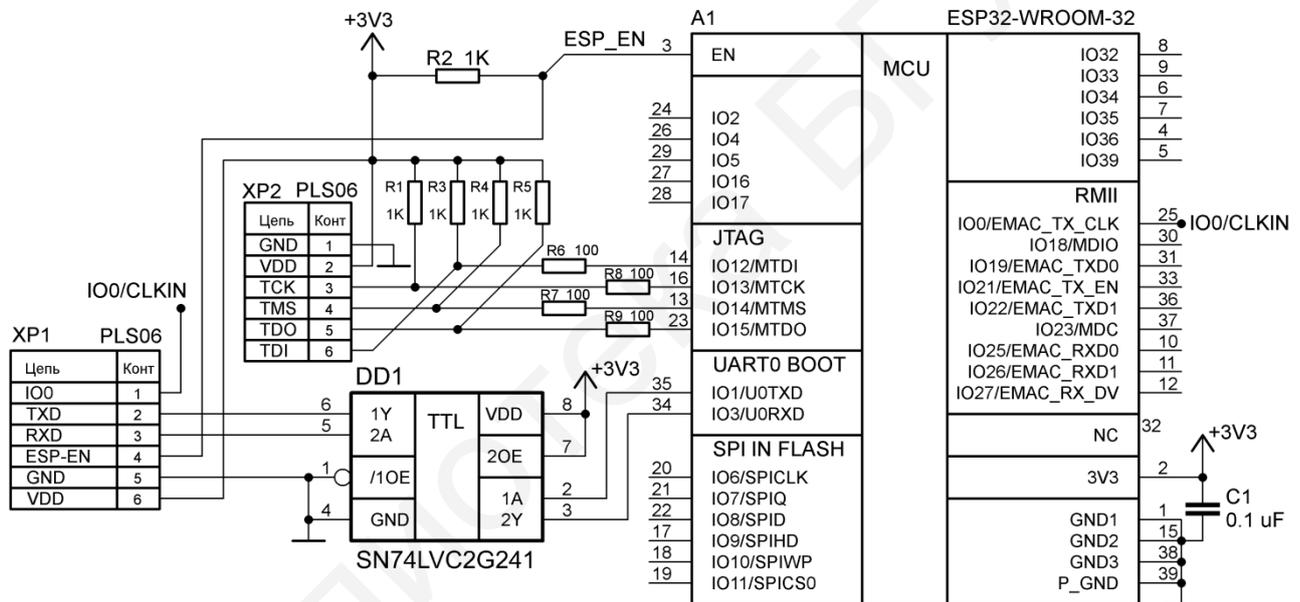


Рисунок 42 – Схема ввода питания, интерфейсов загрузки программ и внутрисхемной отладки микроконтроллерного модуля *ESP32-WROOM-32*

Более надёжное согласование уровней интерфейсов *UART* прибора программирования с *UART0* микроконтроллера *ESP32* осуществляется средствами микросхемы *SN74LVC2G241*, которая присутствует в канале резервного порта загрузки программы, реализованного разъёмом *XP1*, микросхемой *DD1* и *UART0 BOOT* модуля *A1*.

Источником тактирования микроконтроллера *ESP32* является внутримодульный кварцевый резонатор частотой 40 МГц.

5.3.3 Аналогичные схемы питания, загрузки и отладки программ и тактирования для микроконтроллеров *nRF528xx* и модулей на их основе представлены в источниках [23, 24]. Интерфейсом программирования и внутрисхемной отладки у микроконтроллеров данной серии, как и у микроконтроллеров *STM*,

выступает *SWD* (см. рисунок 41). Касательно ввода питания микроконтроллер *nRF52840* может запитываться от шины *USB* напряжением 5,0 В (линия *VBUS*) и имеет внутренний стабилизатор напряжения 3,3 В (вывод *VDD*). Но *nRF52840* можно запитать и от 3,3 В, подав его непосредственно на *VDD*. В таком случае в связи с двумя потенциальными источниками питания необходимо быть предельно внимательным с разводкой линии *VDDH*. Наилучшие рекомендации по этому поводу даны в документации к модулю *nRF52840-Dongle* с образцовой принципиальной схемой, размещённой в источнике [23].

5.4 Принципиальные схемы управления модулями связи, считывания данных и навигации на базе интерфейса *UART*

В данном подразделе представлены фрагменты принципиальных электрических схем для рисунков 18, 19, 30, 31, 33 с *UART*-каналом связи. Подключение по *UART* осуществляется посредством линий *TD* (или *TX*, или *TXD*) и *RD* (или *RX*, или *RXD*). В некоторых случаях (в качестве примера см. пункт 5.3.2, а также в интерфейсах *RS-485*, *RS-422* и *RS-232*) требуется согласование уровней напряжения, за что отвечают соответствующие драйверы.

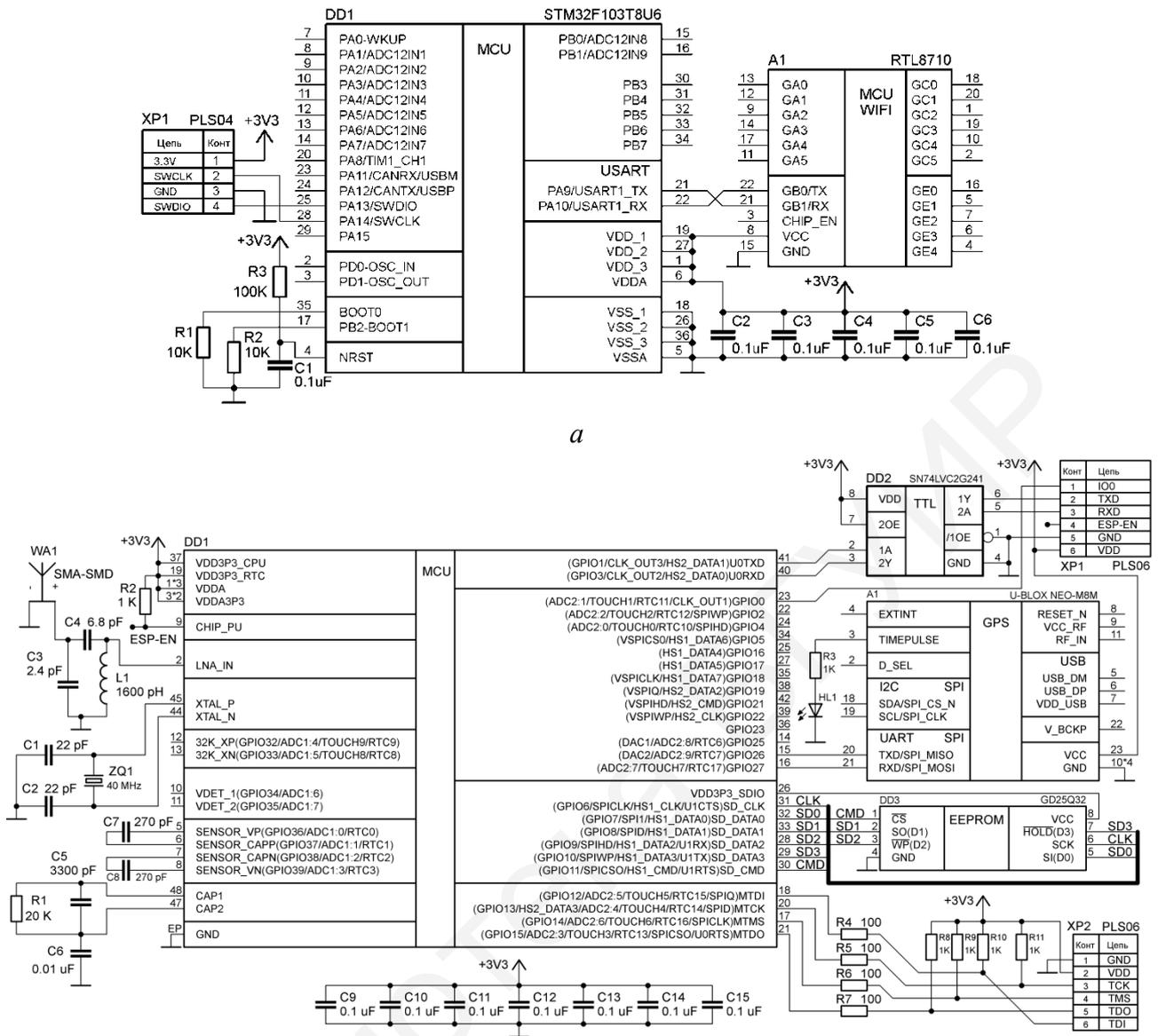
5.4.1 Фрагменты принципиальных электрических схем подключения *WiFi*-модемов на базе микроконтроллеров *RTL8710* или *ESP8266*, модулей связи и навигации, иных модулей, где не требуется согласование уровней напряжения в канале *UART*, изображены на рисунке 43 [25].

Следуя документации на микроконтроллер *ESP32*, в качестве линий *TXD* и *RXD* *UART*-интерфейса могут выступать любые *GPIO*, настроенные в режим альтернативной функции, соответствующей *UART*. Поэтому на рисунке 43, б *UART* *GPS*-модуля *UBLOX NEO-M8M* подключен к *GPIO26* и *GPIO27* микроконтроллера *ESP32*.

5.4.2 Для согласования уровней в *UART* применяются специализированные драйверы. Так, в преобразовании интерфейсов *UART* в *RS-485* с выходным, согласно рисунку 31, разъёмом типа *RJ-22* используется драйвер *ADM2482EBRWZ* с внутренней гальванической или *ADM3493* без гальванической развязки. Независимо от типа развязки логика управления драйвером и схемотехнические решения практически одинаковые (рисунок 44). Надёжность же прибора с драйвером, имеющим гальваническую развязку, выше.

На рисунке 44, а линии *RS485-TX* и *RS485-RX* подключены к одному из *UART*-портов микроконтроллера *STM32F407VGT6*, в частности, к *USART2*, т. е. к выводам *PA2* и *PA3* соответственно. Они могут быть подключены и к *UART4*, как показано на схеме рисунка 44, б, и к любому иному *UART/USART*.

Управление *RE*, *DE* драйвером *RS-485* осуществляется с помощью линий *GPIO* микроконтроллера. Так, для схемы рисунка 44, а *RS485-RE*, *RS485-DE* подключены к *PD11* и *PC14*, хотя на рисунке это не очевидно, а на схеме 44, б линии управления объединены между собой и соединены с *PA3*.

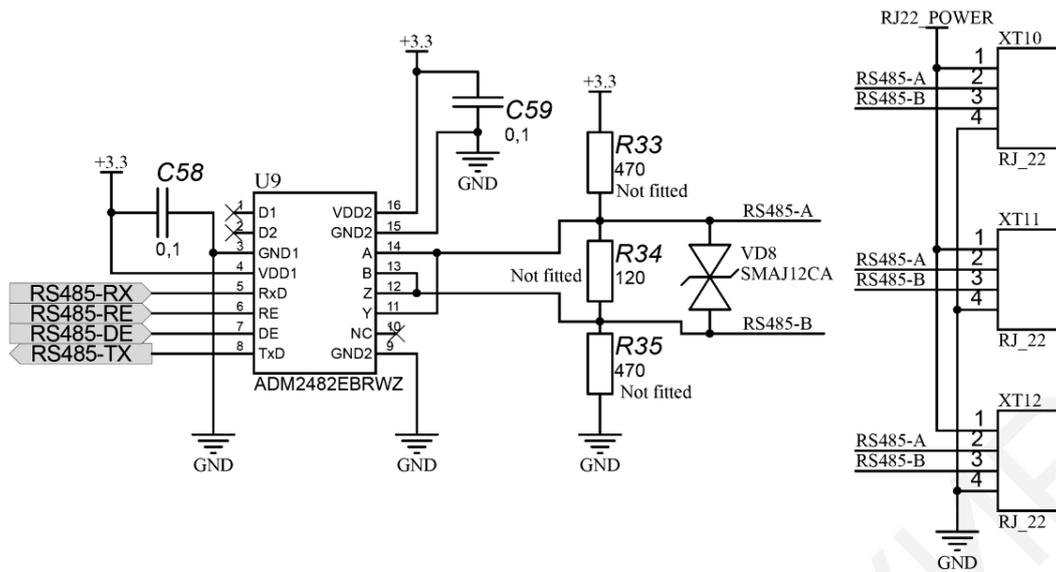


а – пример для микроконтроллера *STM32F103T8U6*; **б** – пример для *ESP32*
 Рисунок 43 – Фрагменты принципиальных электрических схем подключения по *UART* модулей, не требующих согласования уровней сигналов

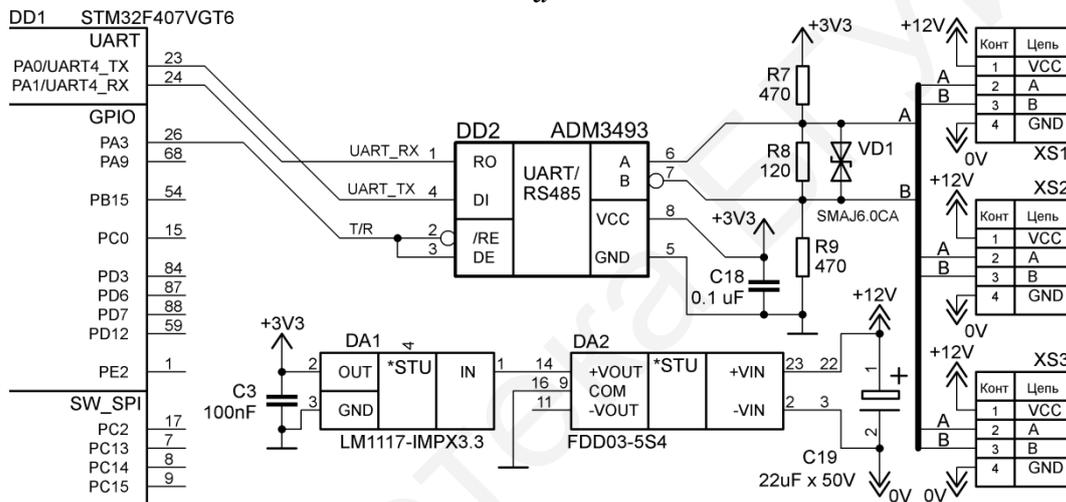
Схемы рисунков 44, **а** и **б** поддерживают питание приборов через *RS-485*. Модуль питания *FDD03-5S4* на рисунке 44, **б** имеет гальваническую развязку, что позволяет повысить надёжность схемы и предостеречь от замыкания относительно высоковольтных цепей напряжением 12 В с низковольтными 3,3 В.

5.4.3 Схемы подключения драйверов интерфейса *RS-232* к микроконтроллеру представлены на рисунке 45. Стандартно линии *RS-232* завершаются *COM*-портом (см. также рисунок 30) с разъёмом *DB-9M* для ведущего *HOST*-прибора или *DB-9F* для прибора типа *DEVICE*, а в качестве драйвера применяются микросхемы и аналоги *ADM3251EARWZ* с гальванической развязкой и *SP3232EEY* без неё.

Наподобие *RS-485* схемотехника *RS-232* с внутренней гальванической развязкой в драйвере или без неё практически ничем не отличаются.

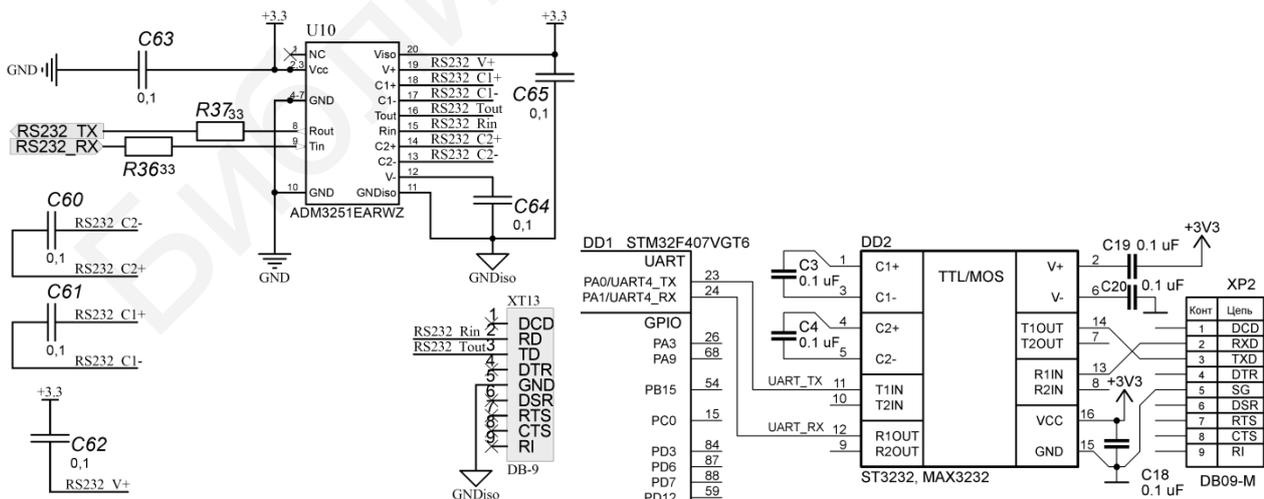


а

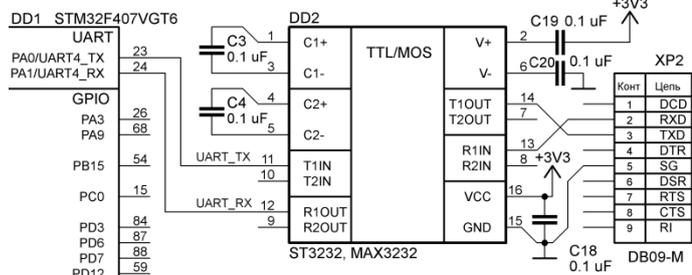


б

Рисунок 44 – Фрагменты принципиальных электрических схем подключения по *UART* драйверов RS-485 с внутренней гальванической развязкой (а) и без неё (б)



а



б

Рисунок 45 – Фрагменты принципиальных электрических схем подключения по *UART* драйверов RS-232 с внутренней гальванической развязкой (а) и без неё (б)

RS232_TX и *RS232_RX* на рисунке 45, а идут к одному из *UART*-портов микроконтроллера, например, к порту *USART1*, соответственно к специализированным линиям *PA9* и *PA10* микроконтроллера *STM32F407VGT6*.

5.5 Принципиальные схемы связи приборов по интерфейсу *I2C*

В рамках курсовых проектов по *I2C* подключаются: контроллеры *STMPE811QTR* сенсорной панели (см. рисунок 10) и *BQ24295* заряда аккумулятора (см. рисунок 34); каналы управления цифровой видеокамерой *OV9655/OV7670/OV2640* и аудиокодеком *CS43L22* (см. рисунок 25), болометром *LEPTON FLIR* (см. рисунок 28); датчики температуры, влажности, давления, освещённости, вибрации, инфракрасной термометрии (см. рисунки 27, 28).

5.5.1 Связь микроконтроллера с приборами по интерфейсу *I2C* непростая, у приборов друг с другом соединяются соответствующие линии *SDA* и *SCL*. Единственный важный момент – это желательная внешняя подтяжка линий *I2C* «кверху» посредством резисторов 2,0–10,0 кОм.

5.5.2 На рисунке 46 приведён фрагмент принципиальной электрической схемы, где к микроконтроллеру *STM32F030F4P6* по *I2C* подключены: модуль *AMG8833 Grid-EYE* болометра-тепловизора разрешением 8 × 8 пикселей, датчики *BH1750* освещённости, *BMP280* давления и инфракрасной термометрии.

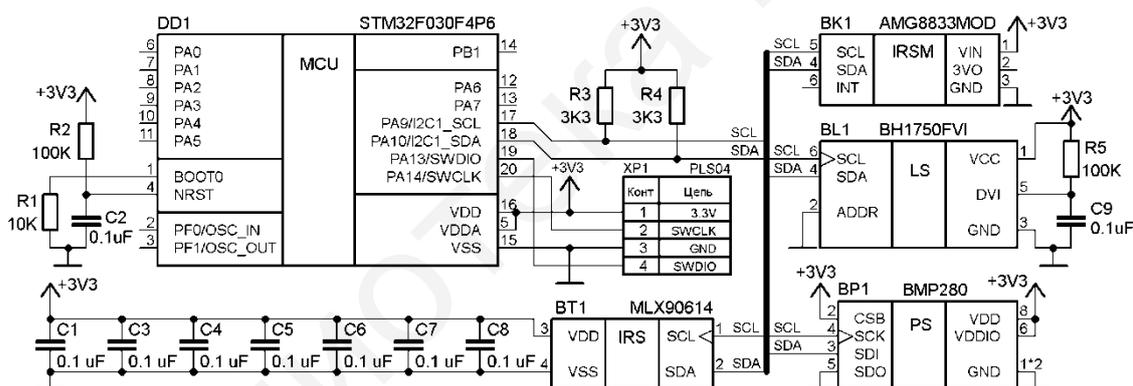


Рисунок 46 – Фрагмент принципиальной электрической схемы подключения к микроконтроллеру приборов посредством *I2C*

В схеме рисунка 46 *I2C*-«подтяжки» стандартно представлены парой резисторов *R3* и *R4* на всю шину *I2C* в пределах одного прибора.

5.5.3 Принципиальные электрические схемы управления по *I2C* цифровой видеокамерой и аудиокодеком приведены в подразделах 5.8 и 5.9.

5.6 Принципиальные схемы управления модулями ввода-вывода и хранения информации на базе интерфейса *SPI*

SPI-интерфейс наряду с *I2C* присутствует почти во всех темах курсового проектирования. Его средствами к микроконтроллеру подключаются дисплейные модули с контроллером сенсорной панели (см. рисунки 11, 12, 20), *SD*-карта (см. рисунок 13), различные периферийные адаптеры (см. рисунки 18–20, 33, 34, 36), датчики инерциальной навигации и вибрации (см. рисунок 34), болометр *LEPTON*

FLIR (см. рисунок 28). *SPI* как «конкурирующий» интерфейс для *I2C* поддерживают и некоторые ранее рассмотренные датчики, например, *BMP280* давления, *UBLOX NEO-M8M* глобального и *MPU6050* локального позиционирования.

5.6.1 Шина *SPI* использует пространственную адресацию приборов, для чего применяется сигнал */CS* (*Chip Select*) или */SS* (*Slave Select*). При подключении к шине нескольких приборов сигнал */CS* рекомендуется коммутировать с помощью дешифратора-демультиплексора, выходная линия которого задаётся с адресом $A[0 \dots \log_2 Q]$, где Q – количество выходных линий демультиплексора.

5.6.2 Так как большая часть приборов курсовых проектов ориентирована на пользователя, уместно привести фрагмент принципиальной электрической схемы подключения к микроконтроллеру дисплеев различных типов и контроллера сенсорной панели по *SPI* (см. рисунок 47).

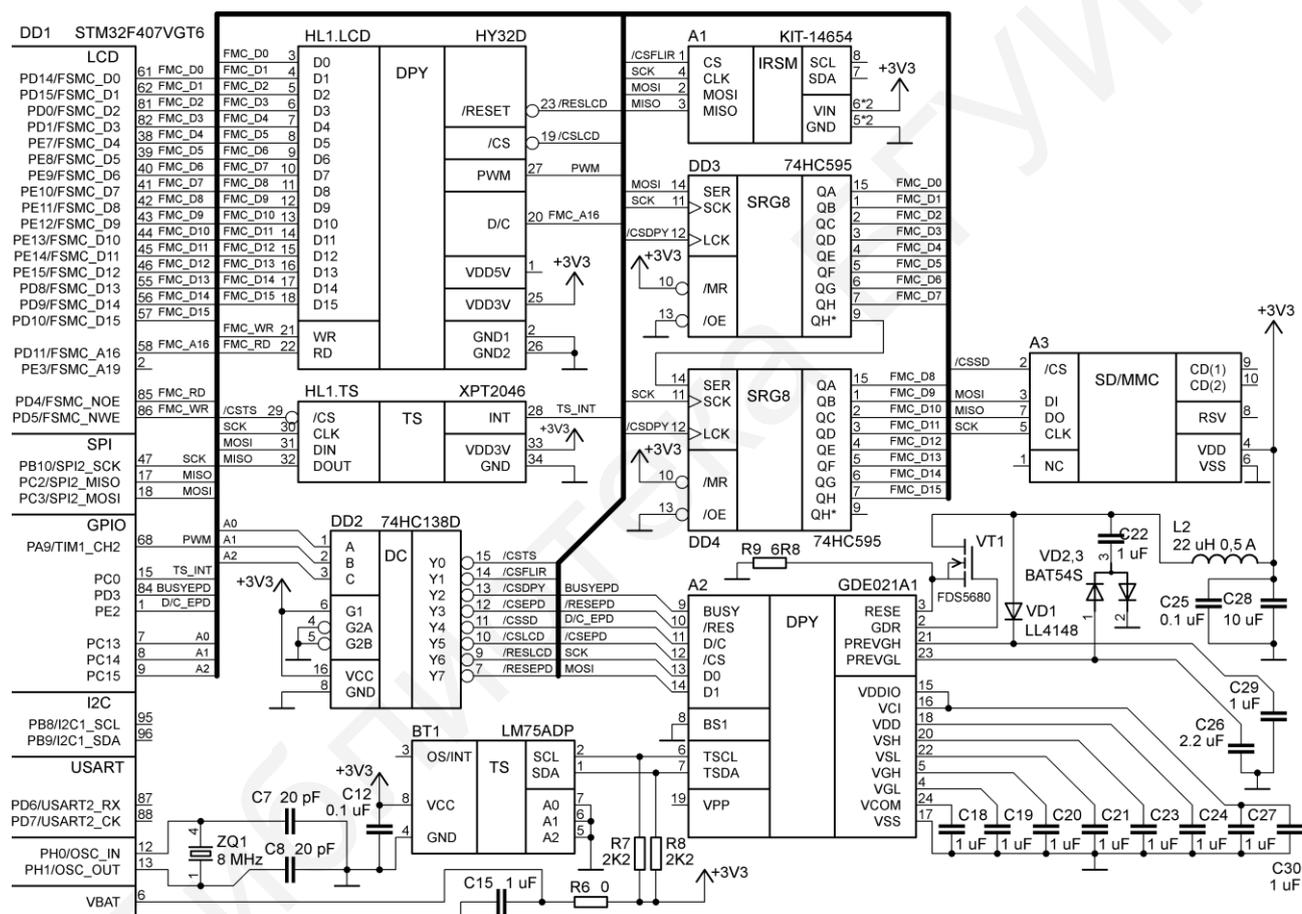


Рисунок 47 – Фрагмент принципиальной электрической схемы подключения приборов по *SPI*

В схеме рисунка 47 посредством *SPI* с микроконтроллером связаны: дисплей *HL1.LCD* через каскад сдвиговых регистров *DD3* и *DD4*, контроллер *HL1.TS* сенсорной панели, болометр *A1 LEPTON FLIR*, дисплей *A2* типа «электронная бумага», *SD*-карта *A3*.

С применением каскада сдвиговых регистров последовательные данные, передаваемые по *SPI*, выставляются в параллельную 16-разрядную шину, сформированную выходами микросхем *DD3* (младший байт) и *DD4* (старший

байт). Совместно с сигналами *FMC_A16* (выход *PD11* микроконтроллера *DD1*), *FMC_RD* (*PD4 DD1*) и *FMC_WR* (*PD5 DD1*), работающими в режиме *GPIO*, данный параллельный интерфейс на базе каскада сдвиговых регистров представляет собой аналог *FMC/FSMC* [7, 8]. Таким образом, в приведённом на рисунке 47 фрагменте схемы дисплей *HL1.LCD* может управляться как посредством быстрого интерфейса *FMC/FSMC*, входящего в состав микроконтроллера *STM32F407VGT6*, так и по *SPI* через каскад сдвиговых регистров.

Адресация к элементам *HL1.LCD*, *HL1.TS*, *A1*, *A2*, *A3* по *SPI* осуществляется «пространственно» с помощью демультиплексора *DD2*, а именно, сигналами */CSLCD*, */CSDPY*, */CSTS*, */CSFLIR*, */CSEPD*, */CSSD* соответственно. Этим же демультиплексором, сигналами */RESLCD* и */RESEPD* управляется сброс дисплеев *HL1* и «электронной бумаги» *A2*.

Касательно подробностей подключения дисплея *GDE021A1* типа «электронная бумага» рекомендуется обратиться к документу с его описанием, а также к описанию отладочного модуля *STM32L0538-DISCO*, в состав которого входит *GDE021A1* [26].

Следует заметить, что на рисунке 47 у модуля *A1 LEPTON FLIR* не задействована шина *I2C* управления и настройки. Её подключать необязательно, т. к. модуль работает в нормальном режиме и с настройками по умолчанию.

5.7 Принцип подключения датчиков к шине 1-WIRE

В рамках курсового проектирования с шиной *1-WIRE* связаны, пожалуй, наиболее распространённые в электронике датчики *DS18B20* температуры. В схеме их подключения к микроконтроллеру, фрагмент которой изображён на рисунке 48, необходимо учесть единственный нюанс – резисторную «подтяжку кверху» линии *DQ* данных интерфейса *1-WIRE* номиналом 2,0 – 10,0 кОм.

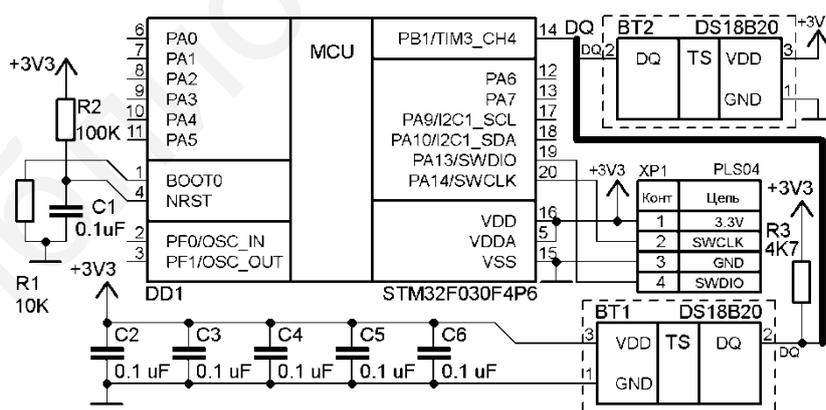


Рисунок 48 – Фрагмент принципиальной электрической схемы подключения приборов к шине *1-WIRE*

В управлении *1-WIRE* применяется либо вывод микроконтроллера, работающий в режиме *GPIO*, с генерированием требуемых на линии *DQ* сигналов по прерыванию таймера общего назначения, либо, и данный вариант наиболее предпочтительный, вывод микроконтроллера, связанный с таймером общего назначения, с аппаратным генерированием сигналов посредством взаимодей-

ствующего с таймером блока *DMA* прямого доступа к памяти. Схема рисунка 48 рассчитана на оба варианта, т. к. линией *PB1* можно управлять как в режиме *GPIO*, так и средствами *DMA*, связанного с таймером *TIM3*. Генерированию с помощью связанного с таймером общего назначения *DMA* произвольной импульсной последовательности посвящён вопрос 35 таблицы 2.

Подтягивающий резистор *R3* устанавливается в единственном экземпляре на всю шину со стороны ведущего устройства. Датчики *DS18B20*, как правило, являются внешними по отношению к печатной плате прибора, поэтому на рисунке 48 выделены штрихпунктирной линией.

5.8 Подключение цифровой видекамеры

5.8.1 Схема подключения цифровой видекамеры рассмотрена на примере модуля *DM-CAM130* с видеосенсором *OV9655*, входящего в состав учебного стенда *АКСОНИМ АХ-SOM-01* кафедры проектирования информационно-компьютерных систем [6–8]. Достоинством модуля *DM-CAM130* является наличие в нём стабилизаторов питания аналоговой и цифровой частей, а также резистивного блока, предназначенного для ограничения уровней сигналов портов *I2C* и *DCMI* базового микроконтроллера *STM32F407VGT6*, где сигнальные уровни составляют 3,3 В, по отношению к видеосенсору *OV9655*, в котором сигнальные уровни равны 1,8 В. Это позволяет подключать данный модуль напрямую к *DCMI*-порту микроконтроллера, что и подтверждает рисунок 49.

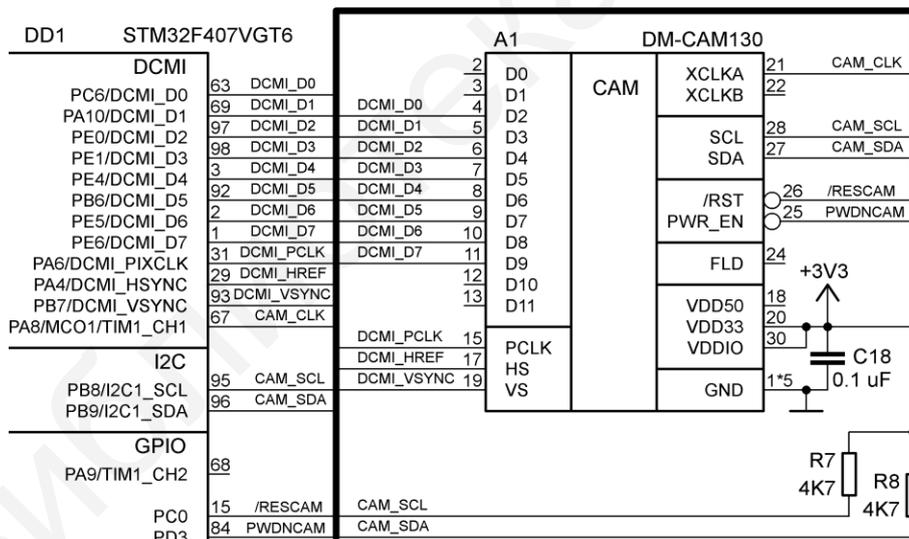


Рисунок 49 – Фрагмент принципиальной электрической схемы подключения к микроконтроллеру модуля *DM-CAM130* цифровой видекамеры

Приведённый на рисунке 49 фрагмент основан на схеме подключения цифровой видекамеры к микроконтроллеру в учебном стенде [7]. Но в отличие от исходной схемы и рисунка 25 тактирование видекамеры на рисунке 49 осуществляется не от внешнего генератора, а непосредственно от микроконтроллера по линии *MCO1* (*Master Clock Output*).

Шина *I2C* используется для настройки и управления видекамерой: задания формата кадров, частоты их передачи, необходимой цветовой модели пик-

сея и иных параметров видео. Основной видеопоток передаётся по интерфейсу *DCMI*, включающего в себя линии *D[7..0]* данных, *PCLK* тактирования пикселя при передаче микроконтроллеру его цвета, *HS* и *VS* соответственно горизонтальной (или строчной) и вертикальной (или кадровой) синхронизации.

5.8.2 Аналогичным образом цифровая видеокамера с видеосенсором *OV9655* или *OV7670*, или *OV2640* подключается к микроконтроллеру *ESP32*. Небольшим отличием от *STM32F407* является то, что в *ESP32* порт видеокамеры совместим с *I2S*, что указано в таблице 9 «*Peripheral Pin Configurations*» технической документации к *ESP32*. В качестве примера подключения видеокамеры к *ESP32* рекомендуется использовать схему модуля *ESP32-CAM* [27].

5.8.3 При необходимости подключения видеосенсора, а не готового видеомодуля, коим, например, является *DM-CAM130*, потребуется предусмотреть питание аналоговой (2,5 В) и цифровой (1,8 В) частей, а также согласование уровней сигналов шин *I2C* и *DCMI*. Для этого в качестве примера рекомендуется обратиться к источнику [28].

5.9 Варианты аудиointерфейсов

5.9.1 В курсовых проектах встречаются два варианта аудиointерфейсов: *SAI* и *I2S*. Интерфейс *SAI* (*Serial Audio Interface*), выделенный на рисунке 25, объединяет в себе *I2S* для обмена аудиоданными и *I2C* для управления аудиокодеком *CS43L22*. Схема применения *SAI* и *I2S* изображена на рисунке 50.

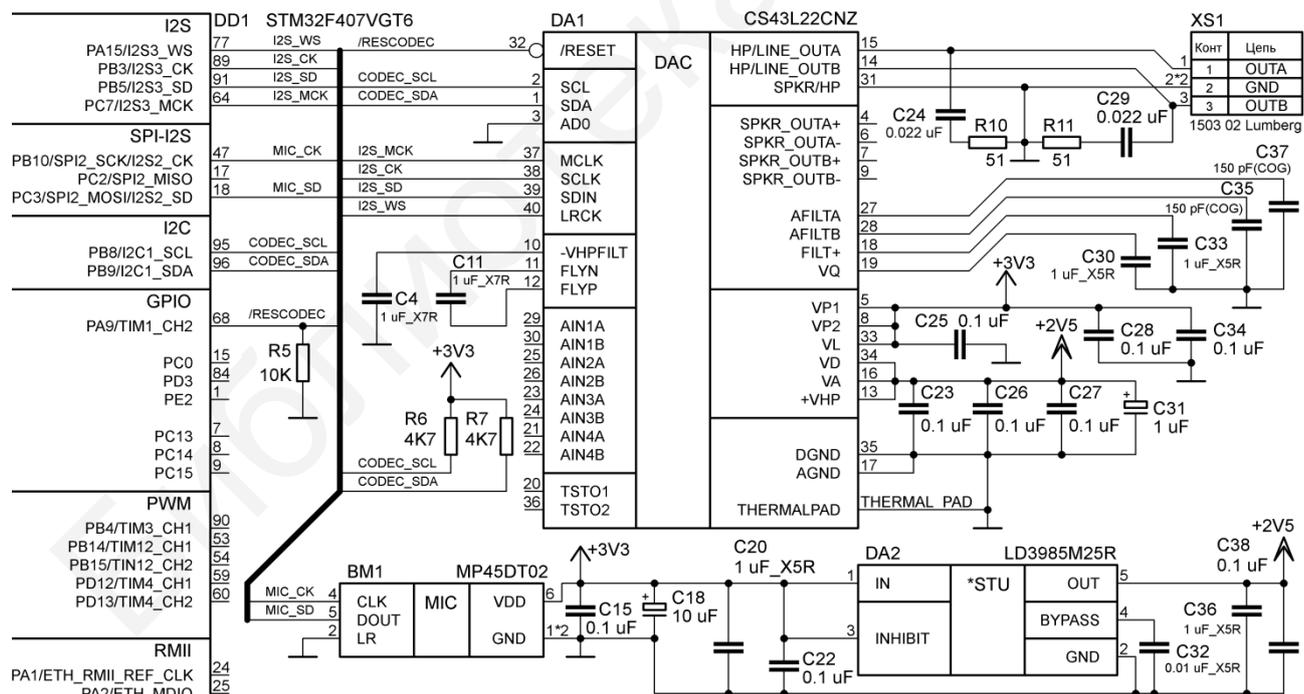


Рисунок 50 – Схема применения интерфейсов *SAI* и *I2S*

В схеме на рисунке 50 к микроконтроллеру подключены два аудиоприбора: аудиокодек *DA1* и цифровой микрофон *BM1*. Тактирование аудиокодека *DA1* осуществляется от *PLL* микроконтроллера *DD1 STM32F407VGT6* по линии *PC7/I2S3_MCK*. Микрофон *BM1 MP45DT02* во внешнем тактировании не нуждается.

парам и по незадействованным парам [29]. С целью питания прибора от *Ethernet* двумя указанными способами в схеме рисунка 51 фигурируют два стабилизатора питания *DA1* и *DA2 LM2576HVR-3.3*.

5.10.2 Наиболее распространённый вариант организации *Ethernet* без технологии *PoE* представлен в источниках [7, 10] и на схеме рисунка 52.

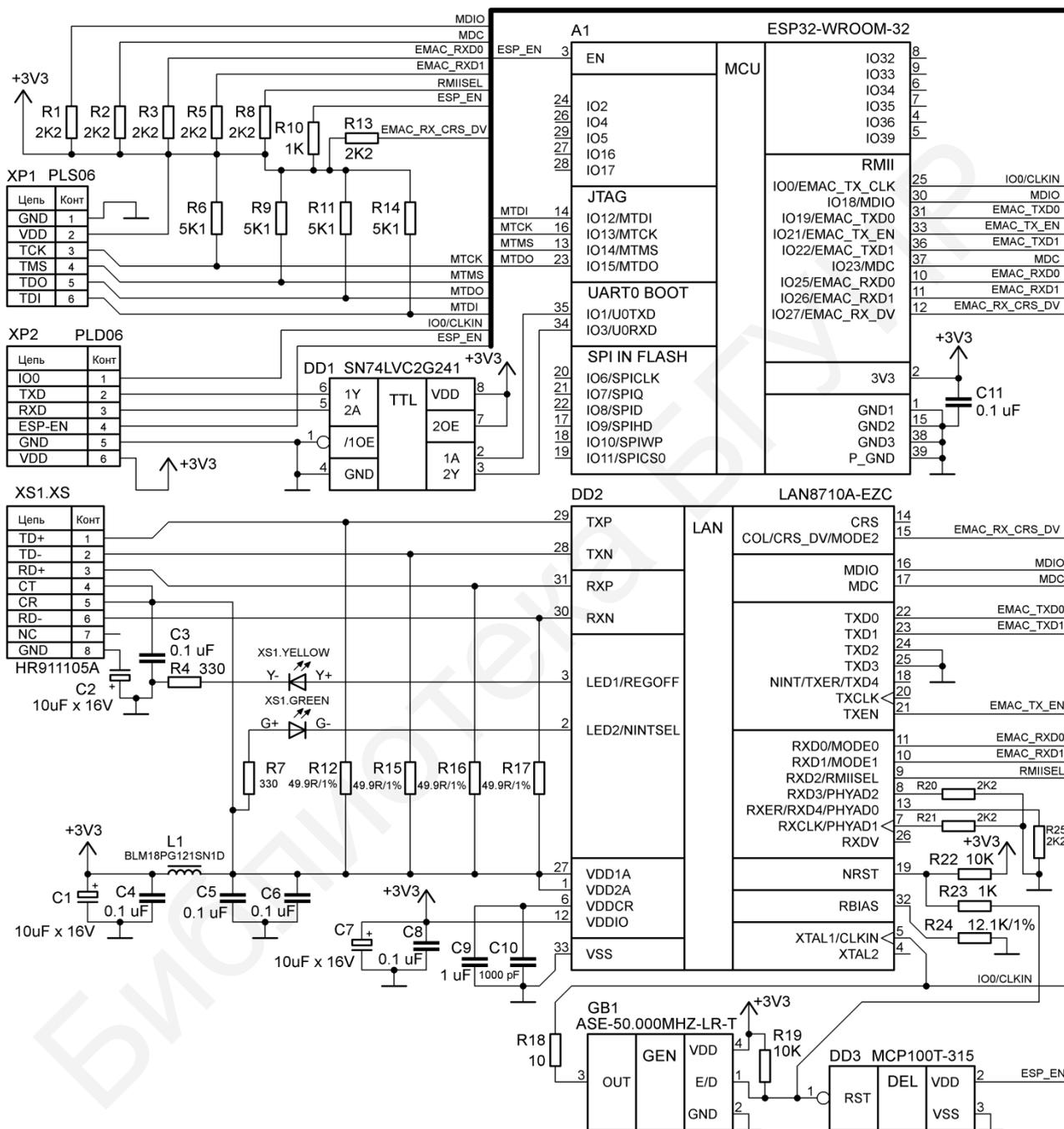


Рисунок 52 – Схема организации *Ethernet*-интерфейса без *PoE* на базе *ESP32*

В схеме рисунка 52 в качестве драйвера применяется *LAN8710*, а базовым микроконтроллером служит *ESP32* в модульном исполнении *ESP32-WROOM-32*. В отличие от схемы рисунка 51 в схеме рисунка 52 установлен более простой и распространённый разъём *HANRUN HR911105A*, также с гальванической развязкой, но не поддерживающий технологии *PoE*.

С учётом специфики управления сигналами *EN* (или *ESP_EN*) и *IO0/EMAC_TX_CLK* (соответственно 3-й и 25-й выводы модуля *A1*) во время загрузки программного кода в микроконтроллер *ESP32* и его ввода в режим нормальной работы по ранее загруженной программе с целью предотвращения ложного перехода в режим загрузки программы после подачи питания или сброса микроконтроллера применяется микросхема *DD3 MCP100T-315* (или *BD5230* из таблицы 3 перечня электронных элементов). Она примерно на полсекунды задерживает запуск тактирования *Ethernet*-драйвера *LAN8710* (5-й вывод микросхемы *DD2*) и *MAC*-контроллера *ESP32* (25-й вывод модуля *A1*) путём сдерживания запуска генератора *GB1* при низком уровне сигнала на линии *ESP_EN*, что имеет место в момент подачи питания прибора.

5.11 Схемотехнические решения управления *USB*-интерфейсом

Из рекомендуемого перечня основных радиоэлементов (см. таблицу 3) встроенный *USB*-интерфейс имеют следующие микроконтроллеры и модули на их основе: *STM32F407*, *STM32F103*, *STM32L053*, *STM32WB55*, *nRF52833*, *E73 (2G4M08S1C)*. В иных микроконтроллерах *USB* можно организовать путём преобразования *UART* в *USB* с помощью специализированного адаптера *FT232R* или *CP210x*, или *PL210x*, или *CH340T*, или иного аналога, но в этом случае следует иметь в виду реализацию только класса *USB CDC*-устройств.

5.11.1 В организации встроенного в микроконтроллер *USB*-интерфейса, кроме непосредственного подключения линий *DM (DMINUS, D-)* и *DP (DPLUS, D+)* к *microUSB*-порту, важная роль отводится управлению его питанием. Так, *USB HOST*-прибор подаёт питание в порт, а *USB DEVICE* запрашивается от него. Во избежание коллизий по питанию при работе прибора и в *HOST*-, и в *DEVICE*-режимах необходимо контролировать токовую нагрузку в *USB*-порту и своевременно выключать подачу питания от собственного источника в случае её перегрузки. Структурная схема управления питанием *USB*-порта изображена на рисунке 29, а принципиальная – на рисунке 53.

В схеме рисунка 53 за токовую перегрузку в *USB*-порту отвечает микросхема *DA3 STMPS2141STR*, которая оповещает микроконтроллер *DD1* о перегрузке сигналом *OTG_FS_OVERCUR* [8]. *DA1* повышает 3,3 В питания микроконтроллера и прибора в целом до 5,0 В с целью его подачи в *USB*-разъём *XS1* в *HOST*-режиме. *DA2* наоборот понижает входное напряжение от внешнего *USB*-источника до 3,3 В для питания микроконтроллера *DD1* и всего прибора в *DEVICE*-режиме. Необходимость подачи питания в *USB*-порт и работы в качестве *HOST*-устройства определяется с помощью сигнала *VBUS_FS*. При наличии *VBUS_FS*, поступающего от *XS1* через микросхему *DD3* защиты *USB* от импульсных помех, микроконтроллер *DD1* посредством сигнала *OTG_FS_PWRON* отключает микросхему *DA3* подачи питания в *USB* со стороны прибора. Чтобы прибор в *HOST*-режиме не запрашивался от им же подаваемого в *USB*-порт напряжения, в схеме предусмотрено автоматическое отключение стабилизатора *DA2* посредством сигнала *OTG_FS_PWRON*, проинвертированного микросхемой *DD2*: ес-

ли *OTG_FS_PWRON* равен единице, питание 5,0 В подаётся в *USB-порт XS1*, при этом отключая *DA2*; в противном случае прибор может дополнительно подпитываться от внешнего *USB-источника* посредством стабилизатора *DA2*.

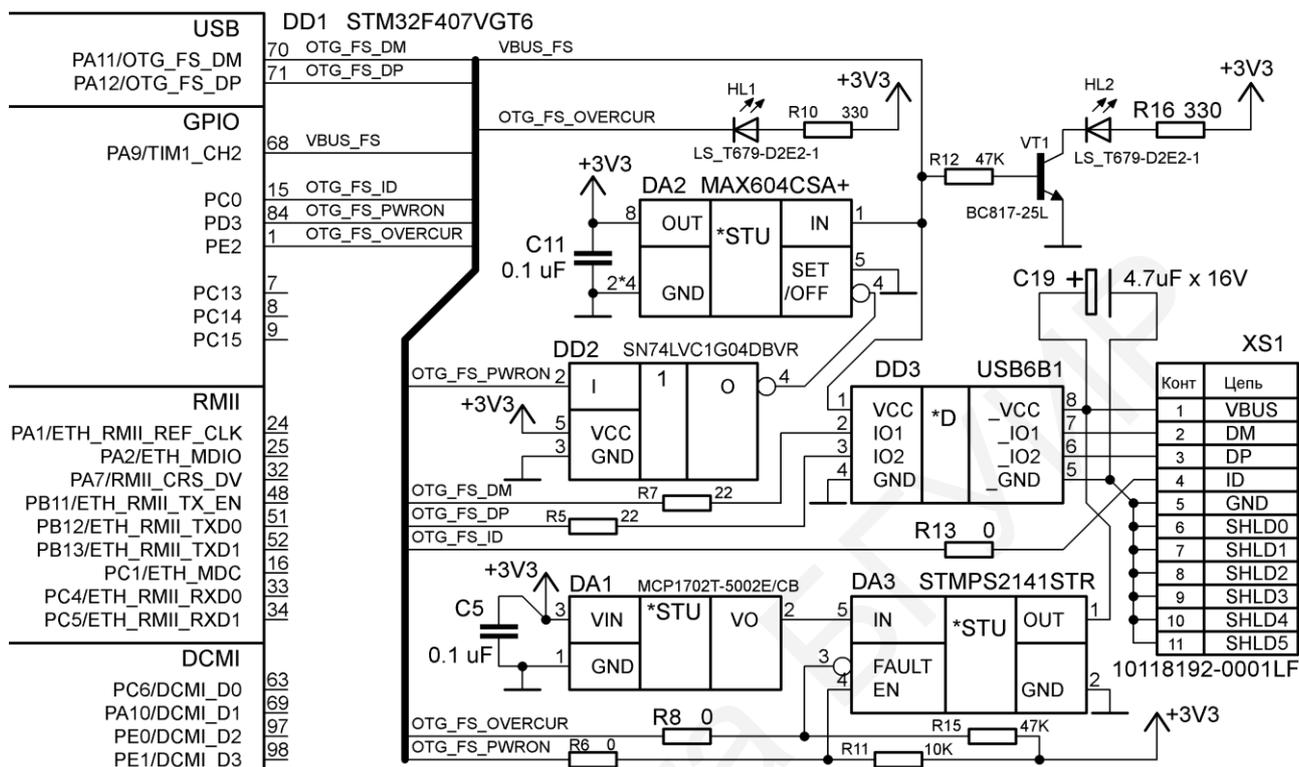


Рисунок 53 – Схема организации *USB-интерфейса*

Светодиоды *HL1* и *HL2* соответственно являются дополнительными индикаторами токовой перегрузки и наличия питания в *USB-порту*.

5.11.2 При применении *USB-прибора* только в качестве ведомого, т. е. работающего в *DEVICE-режиме CDC-устройства*, рекомендуется обратиться к фрагменту «*USB to UART*» схемы сетевого шлюза, приведённой в источнике [10] и построенной на базе микроконтроллера *ESP32* и микросхемы *CH340T* как моста *UART – USB*.

6 МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В настоящее время все печатные платы проектируются автоматизированным способом, т. е. с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР). Самой распространённой САПР печатных плат является программа *AltiumDesigner* [30]. Её инструментарием реализуется процесс сквозного проектирования, который может состоять из следующих этапов:

- создание структуры проекта печатной платы;
- создание библиотеки необходимых элементов;
- проектирование электрической схемы и моделирование её работы;
- перенос информации о проекте от схемы на печатную плату;
- описание структуры платы и требований к параметрам печатной части посредством правил;
- размещение элементов на плате;
- интерактивная и автоматическая трассировка проводников, добавление полигонов металлизации;
- оформление документации на печатную плату;
- подготовка файлов для производства печатной платы.

6.1 Создание структуры проекта печатной платы

6.1.1 В состав проекта печатной платы входят: электрическая схема (или несколько схем), плата, библиотеки схемных элементов и посадочных мест. Кроме этого, в проект можно добавлять различные документы, необходимые для проектирования. Файл проекта описывает структуру и местоположение его файлов, т. е. выполняет функции управления проектом. Структура проекта отображается в панели *Projects*, как показано на рисунке 54.

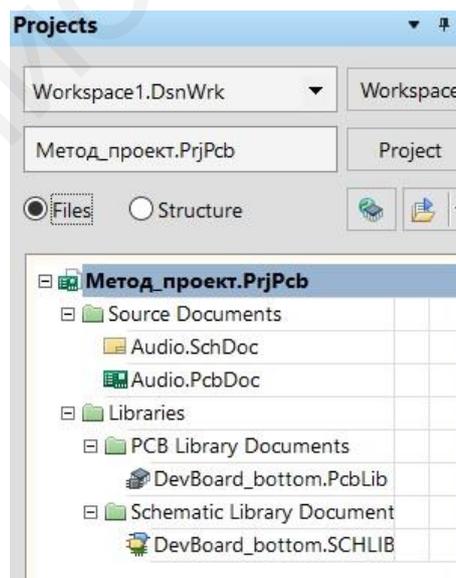


Рисунок 54 – Структура проекта печатной платы

6.1.2 Файлы в проект добавляются командой *File/New* или через контекстное меню щелчком правой кнопки мыши на файле проекта.

6.2 Создание библиотеки элементов

6.2.1 После создания схемной библиотеки для среды проектирования при необходимости устанавливается метрическая система единиц (*View/ToggleUnits*).

Каждый электрический символ в библиотеке должен содержать следующую информацию:

- условное графическое обозначение (УГО) согласно ГОСТ;
- электрические выводы с именем и обозначением; обозначение (*Designator*) – это номер контактной площадки в посадочном месте;
- позиционное обозначение (*Designator*), присваиваемое элементу согласно ГОСТ 2.710;
- функциональное обозначение элемента при необходимости;
- текстовые параметры.

6.2.2 В качестве примера рассмотрим процесс создания библиотечного элемента «светодиод».

УГО светодиода имеет размеры 4×5 мм, излучение должно быть направлено вверх вправо. При размещении выводов светодиода они должны иметь такую длину, чтобы их окончания находились в сетке 1 мм (рисунок 55, а). Поскольку данное изображение не позволяет реализовать все варианты положений и подключений элемента в схеме, с помощью панели инструментов *Mode* можно добавить альтернативный вариант изображения элемента (см. рисунок 55, б).



Рисунок 55 – Основное (а) и альтернативное (б) изображения светодиода на принципиальной электрической схеме

Имя вывода рекомендуется выбирать по его функциональному назначению (анод – *A*, катод – *C*), а обозначение (*Designator*) лучше использовать цифровое как привязку к ножке корпуса этого элемента на плате. Свойства выводов для светодиода представлены на рисунке 56.

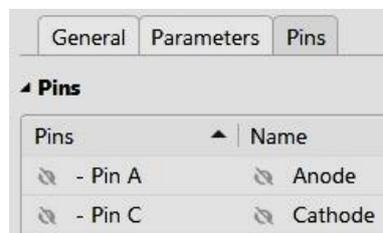


Рисунок 56 – Обозначения и имена выводов светодиода

Созданные таким образом элементы можно использовать для проектирования принципиальной электрической схемы, однако для работы над печатной платой к ним необходимо добавить модели посадочных мест (*Footprint*).

6.3 Создание библиотеки посадочных мест

6.3.1 Посадочное место должно содержать информацию, достаточную для монтажа элемента на печатной плате, его идентификации, а также дополнительные маркировки, габаритные многоугольники и т. д.

6.3.2 В первую очередь при создании посадочного места размещаются контактные площадки (*Pad*). Контактные площадки для элементов со штыревыми выводами содержат отверстия с диаметрами, позволяющими разместить выводы с зазорами, в которых при пайке поднимется расплавленный припой. Диаметр контактной площадки вокруг отверстия зависит от класса точности печатной платы. Для элементов планарного монтажа контактные площадки размещаются на слое *TopLayer*.

6.3.3 Геометрические характеристики корпусов элементов, расположение и параметры выводов приводятся в справочных данных.

6.3.4 Допустим, что рассматриваемый в качестве примера светодиод имеет корпус диаметром 5 мм и высоту 8 мм, его выводы расположены на расстоянии 2,54 мм, а их диаметр равен 0,5 мм.

При создании посадочного места сначала необходимо перейти в метрическую систему единиц. Для рассматриваемого светодиода две контактные площадки диаметром 2 мм с отверстиями 1 мм каждое размещаются на расстоянии 2,54 мм. Одна из контактных площадок должна совпадать с началом координат. Точку начала можно установить командой *Edit/SetReference*. Контактные площадки с отверстиями располагаются на слое *MultiLayer*. Номера контактных площадок (*Designator*) должны совпадать с номерами выводов схемного элемента.

6.3.5 Контур элемента, так называемая «шелкография», рисуется на слое *TopOverlay*. Он необязательно должен повторять истинные размеры корпуса. Для примера со светодиодом рисуется скошенный круг с целью явного различия анода от катода. В этом же слое располагается и маркировка позиционного обозначения элемента. Двухмерный вид посадочного места светодиода представлен на рисунке 57, а. Модель посадочного места добавляется к схемному элементу для перехода от схемы с её условными обозначениями к плате с корпусами элементов.

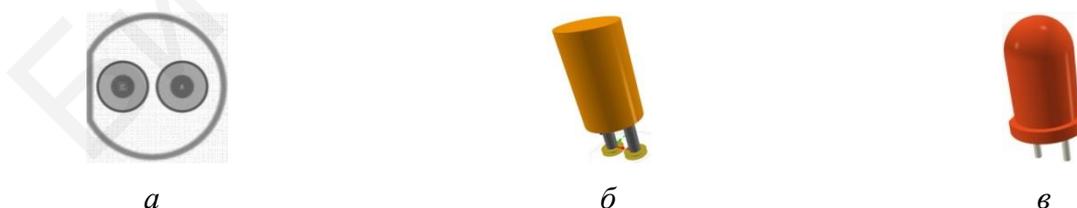


Рисунок 57 – Посадочное место для светодиода

6.3.6 Для более реалистичного представления элемента на печатной плате к посадочному месту можно добавить трёхмерное представление. Командой *Place/3DBody* на слое *Mechanical1* можно разместить три тела: корпус светодиода и два вывода, что позволит вести визуальное проектирование с учётом вы-

соты элемента (см. рисунок 57, б). Для точного соответствия истинному виду элемента можно в трёхмерной САПР (например, в *SolidWorks*) создать подробную трёхмерную модель, записать её в формате *STEP* и добавить соответствующую *GenericModel* в посадочное место (см. рисунок 57, в). Производители элементной базы часто предлагают модели элементов на своих сайтах.

6.4 Проектирование электрической схемы

6.4.1 Как правило, электрическая схема представляет собой документ, содержащий основную надпись и прочие атрибуты оформления согласно ГОСТ 2.701–2008 и ГОСТ 2.702–2011. Поэтому к схеме требуется добавить стандартный шаблон необходимого формата командой *Design/Template* и заполнить на панели *Properties* в опциях документа необходимые значения параметров (когда на схеме ничего не выделено).

6.4.2 Затем командами *PlacePart* и *PlaceWire* на поле схемы размещаются символы и их выводы соединяются цепями согласно логике работы схемы. Цепи должны в основном состоять из ортогональных линий и располагаться не ближе 3 мм друг от друга.

6.4.3 Цепи на схеме имеют имена, которые им присваивает *AltiumDesigner*. Однако некоторым цепям целесообразно назначить специальные имена, например, цепям питания, цепям маршрута прохождения сигнала, цепям, входящим в линию групповой связи (шину), и т. д. Для этого можно использовать элемент *PowerPort* команды *Place*. Для цепи «земля» (*GND*) выбирается стиль *GostBar* с именем *gnd*, при этом необходимо убрать видимость имени. Для других цепей выбирается стиль *GostArrow* и указывается необходимое имя цепи. Именовывать цепи можно с помощью меток цепи (*NetLabel*). Такой способ применяется при использовании линий групповой связи (*Bus*), когда цепи входят в шину в одном месте, а выходят в другом. Одинаковые метки связывают отдельные участки цепи в одну. Это же справедливо и для *PowerPort* с одинаковыми именами. Участок схемы с элементами *PowerPort* и *NetLabel* показан на рисунке 58.

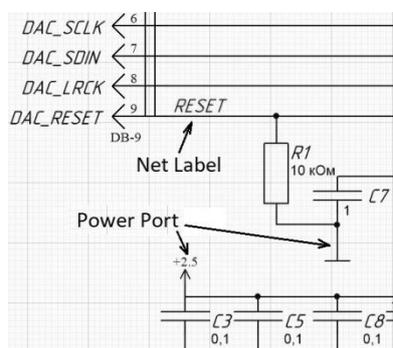


Рисунок 58 – Именованние цепей

6.4.4 По завершении проектирования принципиальной схемы со всеми входящими в неё элементами и соединёнными цепями выводами расставляются позиционные обозначения. Их можно расставить автоматически с помощью

команды *Tools/AnnotateSchematics*. Окно этой команды с необходимыми настройками показано на рисунке 59.

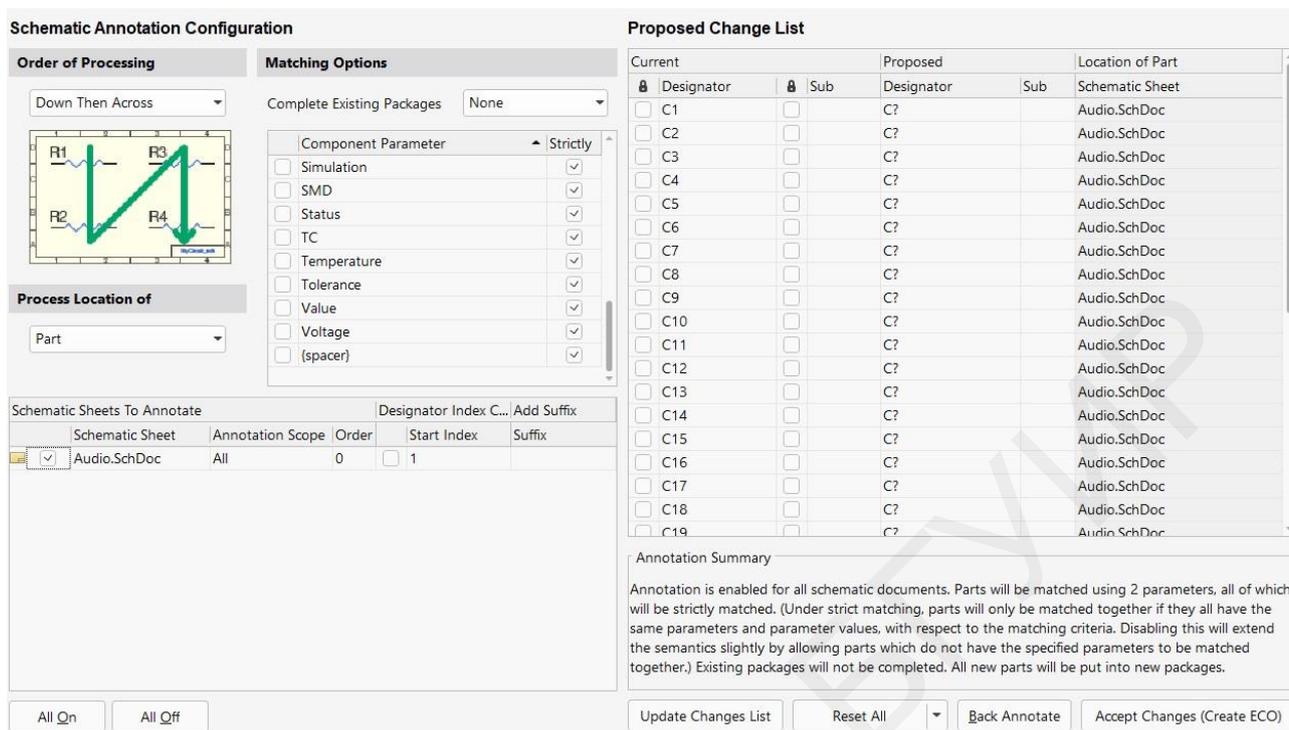


Рисунок 59 – Окно настройки порядка расстановки позиционных обозначений

6.4.5 Для обновления позиционных обозначений в столбце *Proposed* необходимо нажать кнопку *UpdateChangesList*. В столбце *Proposed* будет показана новая расстановка позиционных обозначений. Переход в окно внесения изменений в схему осуществляется кнопкой *Accept Changes*. Для проверки и выполнения предлагаемых изменений последовательно нажимаются кнопки *ValidateChanges* (проверить изменения) и *ExecuteChanges* (выполнить изменения).

6.4.6 Заключительным этапом работы над схемой в составе проекта печатной платы является её проверка. Одновременно перед передачей информации в редактор печатных плат создаётся единый список цепей и компонентов из отдельных листов схемы. Схема проверяется на наличие диагностируемых схемных ошибок (неподключенных выводов, лишних проводов, несовместимых соединений выводов и т. д.) на основе матрицы соединений и уровней важности обнаруженных нарушений. Настройка этих критериев доступна в окне опций проекта (*Project/OptionsProject*).

6.4.7 В конечном итоге на панели *Messages* после очередной проверки должно остаться только сообщение об успешной компиляции «*Compile successful, no errors found*».

Конечный вариант схемы электрической принципиальной представлен в приложении В.

6.5 Перенос информации о проекте из схемы на печатную плату

6.5.1 В файле печатной платы с расширением *.PcbDoc*, как и при проектировании схемы, необходимо установить метрическую систему единиц (*View/ToggleUnits*). Шаг сетки проектирования выбирается из списка, появляющегося после нажатия клавиши *G*.

6.5.2 Контур платы необходимого размера проще всего задать следующим образом. В слое *Mechanical1* линиями нарисовать прямоугольник, выделить его и выполнить команду *Design/BoardShape/Define from selected objects*. Начало координат перенести в левый нижний угол платы (*Edit/Origin/Set*).

6.5.3 Перенос информации из схемы на печатную плату после устранения ошибок проверки схемы осуществляется командой *Design/UpdatePCBDocument*. В окне *EngineeringChangeOrder* система предлагает перечень изменений для синхронизации схемы и платы, т. е. предлагает добавить на плату компоненты, цепи, классы объектов и т. д. Необходимо проверить возможность внесения изменений кнопкой *ValidateChanges* и осуществить изменения (*ExecuteChanges*).

6.5.4 Компоненты располагаются справа от платы в одну линию, что не совсем удобно. Можно удалить комнату (область, объединяющую элементы), выделить все элементы и выполнить команду *Tools/Component Placement/Arrange Outside Board*. Вид печатной платы после выполнения этих действий представлен на рисунке 60.

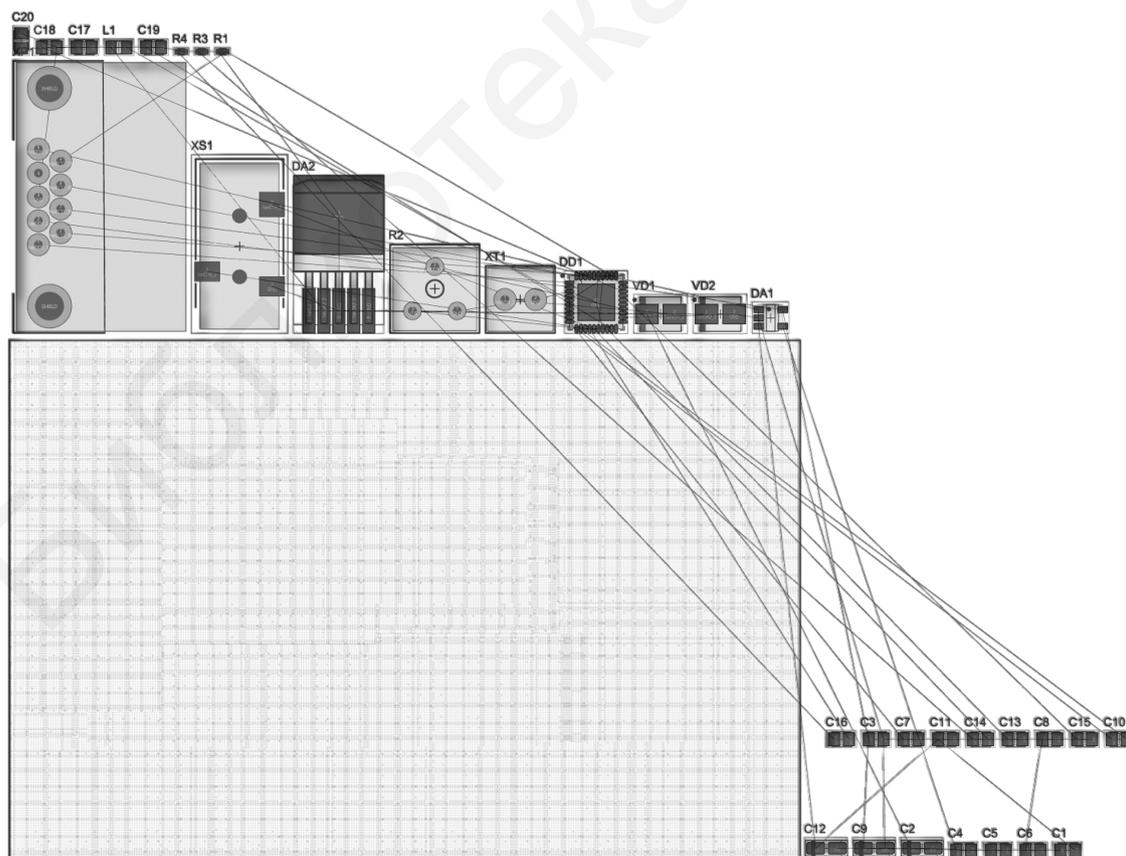


Рисунок 60 – Исходный вид платы после синхронизации со схемой

6.6 Определение структуры платы и требований к параметрам печатной платы посредством правил

6.6.1 Структуру платы можно посмотреть командой *Design/LayerStackManager*. В окне *LayerStackManager* (рисунок 61) в табличной форме наглядно представлена базовая структура двусторонней печатной платы. Основанием платы является диэлектрик, так называемое «ядро» (*Core*) из стеклотекстолита, с двух сторон которого расположены сигнальные слои *TopLayer* и *BottomLayer* из медной фольги, приклеенной к диэлектрику. На внешних поверхностях печатной платы расположены слои защитной паяльной маски *TopSolder* и *BottomSolder*, поверх которых на плату наносится маркировка (слои *TopOverlay* и *BottomOverlay*).

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk
	Top Overlay		Overlay			
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0,01mm	3,5
1	Top Layer		Signal	1oz	0,036mm	
	Dielectric 1	FR-4	Dielectric		1,5mm	4,8
2	Bottom Layer		Signal	1oz	0,036mm	
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0,01mm	3,5
	Bottom Overlay		Overlay			

Рисунок 61 – Стек слоёв двусторонней печатной платы

6.6.2 Параметры слоёв можно изменять, вводить новые слои для проектирования многослойной печатной платы, выбирать конкретные материалы слоёв из предлагаемого системой списка.

6.6.3 Важной составляющей в работе над проектом печатной платы является задание тех технологических норм и правил, которым должна удовлетворять разрабатываемая плата. *AltiumDesigner* предоставляет пользователю широчайшие возможности по описанию требований к параметрам печатной платы. Настройка правил осуществляется в окне *PCB Rules and Constraints Editor*, которое вызывается командой *Design/Rules* (рисунок 62).

6.6.4 В качестве примера рассматривается выбор значения зазоров между элементами проводящего рисунка на слоях и ширины проводников. Минимальное расстояние между контактными площадками элементов на плате у микросхемы *DD1*, измеренное командой *Reports/MeasurePrimitives*, составляет 0,21 мм. Согласно ГОСТ 23751–86 данная плата будет относиться к 4-му классу точности, минимальные величины зазоров и ширины проводников для которого составляют 0,15 мм. Поэтому в правиле *Clearance* в таблице зазоров рекомендуется установить значение 0,2 мм.

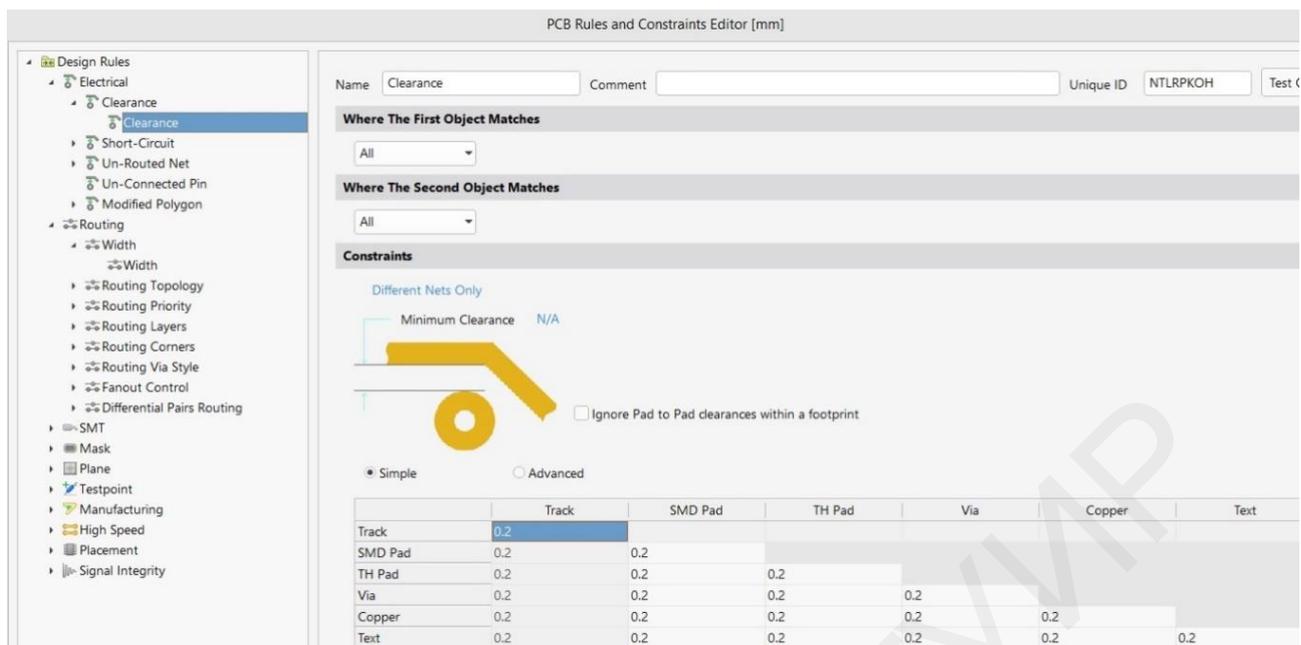


Рисунок 62 – Окно редактирования правил

Для правила ширины (*Width*) устанавливается минимальное значение 0,2 мм, предпочтительное – 0,25 мм, максимальное – 0,5 мм. Это правило будет распространяться на все проводники платы. Для цепей питания добавляется новое правило с названием, например *Width_Power*, и устанавливается для него в качестве предпочтительного значения ширины 1 мм, а максимальное значение – 2 мм. Объекты (цепи питания), на которые будет распространяться это правило, выбираются с помощью построителя запросов (кнопка *QueryBuilder*). Следует отметить, что это правило будет обладать бóльшим приоритетом (рисунок 63).

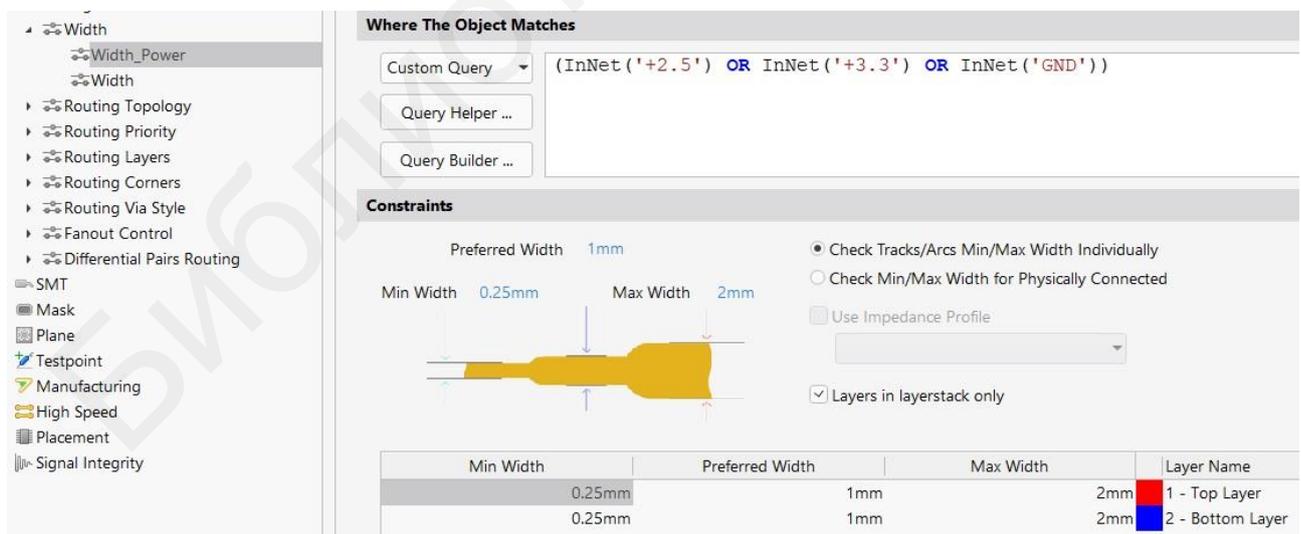


Рисунок 63 – Правило на ширину проводников питания

Для изучения остальных возможностей назначения правил рекомендуется обратиться к специальной литературе.

6.7 Размещение элементов на плате

Размещение элементов является очень важным этапом проектирования печатной платы и в большой степени предопределяет успех трассировки проводников.

6.7.1 Начать работу следует с размещения внешних коммутационных разъёмов и органов управления, исходя из логики использования платы в составе конструкции (разъёмы *XP1*, *XT1*, *XS1* и переменный резистор *R2*). При этом следует учитывать расположение крепёжных отверстий.

6.7.2 Затем рекомендуется сгруппировать элементы, относящиеся к определённым частям схемы. Для этого необходимо включить режим перекрёстного выделения командой *Tools/CrossSelectMode*, на схеме выделить такую группу элементов, перейти в редактор плат, выполнить команду *Tools/Component Placement/ArrangeWithinRectangle* и указать углы прямоугольника, в пределах которого разместятся выбранные элементы. Взаимное перемещение таких групп облегчается тем, что значительная часть межсоединений отображается внутри групп и не мешает процессу выбора оптимального варианта компоновки.

6.7.3 Элементы можно передвигать, поворачивать, переносить на другую сторону платы. Используется также команда выравнивания *Align*. Выделение цепей цветом с помощью панели *PCB* помогает уже на этапе размещения работать над правильной конфигурацией цепи «земля». Вариант расположения элементов после размещения показан на рисунке 64.

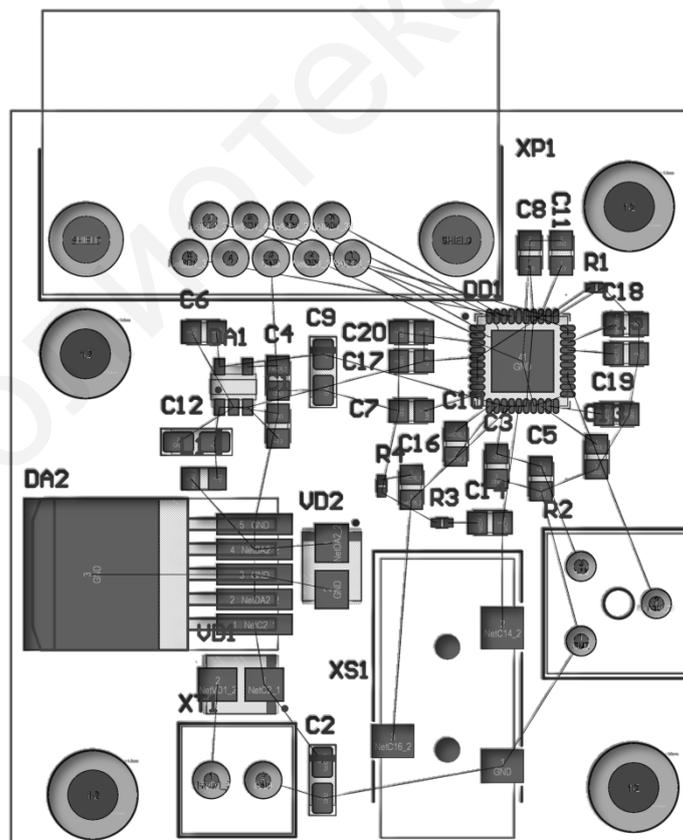


Рисунок 64 – Вид платы после размещения элементов

Как правило, расположение элементов дополнительно корректируется во время трассировки проводников.

6.8 Трассировка проводников, добавление полигонов металлизации

AltiumDesigner предоставляет возможности интерактивной и автотрассировки.

6.8.1 Интерактивная трассировка позволяет использовать различные режимы взаимодействия проводимых проводников с препятствиями на печатной плате:

1 Режим *IgnoreObstacles* (игнорировать препятствия) разрешает использование самого агрессивного механизма прокладки трасс, полностью игнорирующего установленные правила и технологические нормы. Система допускает нарушения правил и только сигнализирует о возникновении конфликтов.

2 При использовании режима *PushObstacles* (толкать препятствия) система будет отталкивать и раздвигать существующие проводники и переходные отверстия, если это необходимо для прокладки новой трассы.

3 В режиме *WalkaroundObstacles* (обойти препятствия) система будет стараться провести трассу в направлении курсора, огибая на допустимом расстоянии существующие объекты.

В процессе трассировки можно переключаться между этими режимами.

6.8.2 При проведении трасс можно нажать клавишу *Tab* и изменить текущие свойства проводников и режимы трассировки. Возможности интерактивной трассировки подробнее описаны в [30, с. 309].

6.8.3 Автоматическая трассировка в *AltiumDesigner* осуществляется топологическим автотрассировщиком *Situs*.

6.8.4 В силу большого разнообразия плат трассировщик предлагает несколько стратегий трассировки, нацеленных на несколько типовых видов плат [30, с. 278]:

1 *Cleanup* – стратегия «очистки» существующей трассировки. Позволяет улучшить вид существующего проводникового рисунка за счёт устранения лишних изломов трасс.

2 *Default 2 LayerBoard* – трассировка двусторонней печатной платы.

3 *Default 2 LayerwithEdgeConnectors* – трассировка двусторонней печатной платы, имеющей краевой соединитель.

4 *DefaultMultiLayerBoard* – трассировка многослойной печатной платы.

5 *GeneralOrthogonal* – основная стратегия с взаимно перпендикулярным направлением прокладки проводников на разных слоях.

6 *ViaMiser* – трассировка с жёсткой минимизацией переходных отверстий.

На их основе можно создать свою стратегию, продублировав выбранную и изменив её настройки.

6.8.5 На многих платах существуют участки, которые должны быть свободны от печатных проводников. Это точки крепления платы, места размещения радиаторов, трансформаторов и т. п. В этих местах необходимо размещать барьеры трассировки. В качестве таких барьеров могут использо-

ваться дуги (*Arc*), окружности (*Circle*), заливки (*Fill*), сплошные области (*SolidRegion*) и отрезки линий (*Track*), находящиеся на слое *Keep-out*. В этом случае барьер трассировки будет действовать для всех сигнальных слоёв. Размещение барьеров на определённом (текущем) слое выполняется командой *Place/Keepout/Track*.

6.8.6 В случае рассматриваемого в пунктах 6.6.4 и 6.7.3 примера имеет смысл установить барьеры трассировки вокруг крепёжных отверстий, чтобы исключить возможный контакт проводников печатной платы с металлическими элементами крепления (винтами, шайбами и стойками).

6.8.7 Как правило, результаты автотрассировки требуют довольно серьёзной корректировки полученной топологии. При этом может потребоваться также и корректировка размещения элементов на плате. Автотрассировка требует очень тщательной работы с правилами проектирования (*Design/Rules*). Наилучшие результаты получаются при поэтапном использовании обоих видов трассировки. Вид печатной платы с проводниками показан на рисунке 65.

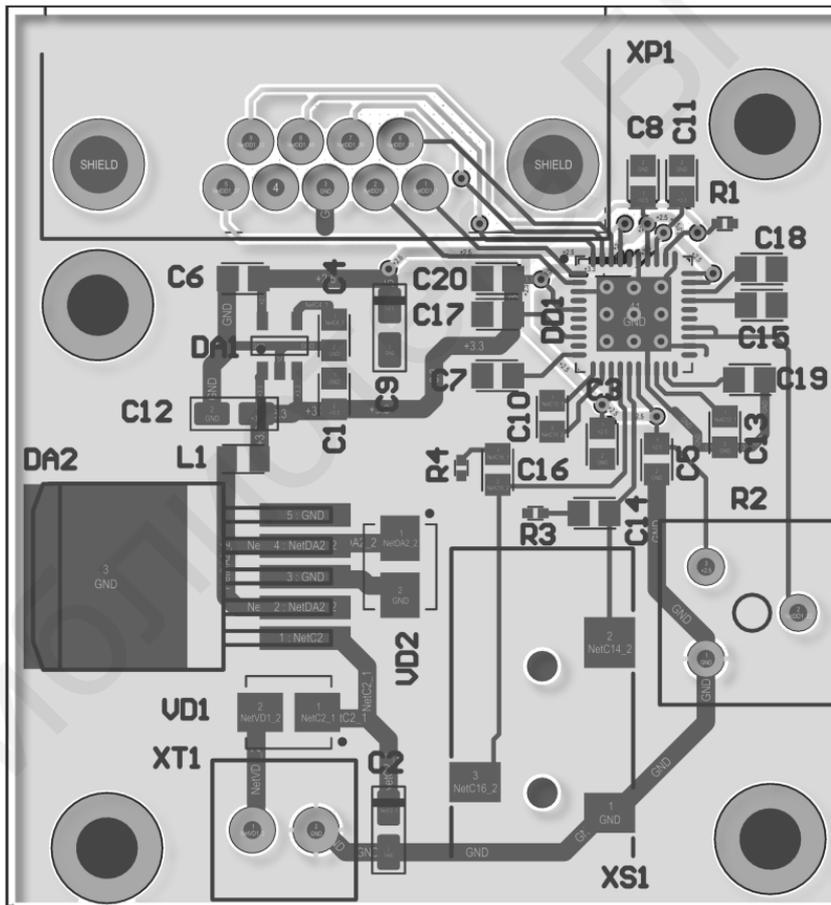


Рисунок 65 – Вид платы после трассировки

6.8.8 Цепь «земля» в рассматриваемом примере до конца не оттрассирована, т. к. впоследствии соединение будет обеспечено полигонами, подключенными к данной цепи.

6.8.9 На сигнальных слоях могут быть расположены сплошные области металлизации, подключенные к определённым цепям. Чаще всего это цепь «земли», что позволяет повысить помехозащищённость печатной платы, увеличить ширину проводников в определённых областях, использовать металлизацию на отдельных слоях в многослойных печатных платах для цепей питания.

6.8.10 Для создания больших областей металлизации на сигнальных слоях в *AltiumDesigner* используется команда *Place/PolygonPour*. Эти области обладают свойством автоматически обтекать объекты, не входящие в состав данной цепи. Может быть выбран режим обтекания заливкой объектов этой же цепи. При этом можно определить тип подключения заливки к контактным площадкам этой же цепи (непосредственное подключение или «термобарьер»).

6.8.11 Полигонная заливка может быть сплошной (*Solid*), выполненной в виде сетки (*Hatched*) или представлена только своими границами (*OutlineOnly*) в зависимости от режима заливки (*FillMode*). Можно удалять изолированные островки заливки (*Islands*), не связанные с основной её частью, и тонкие перемычки (*Neck*), реализация которых будет невозможна из-за технологических ограничений. На рисунке 66 показан верхний слой печатной платы с полигоном, подключенным к цепи «земля».

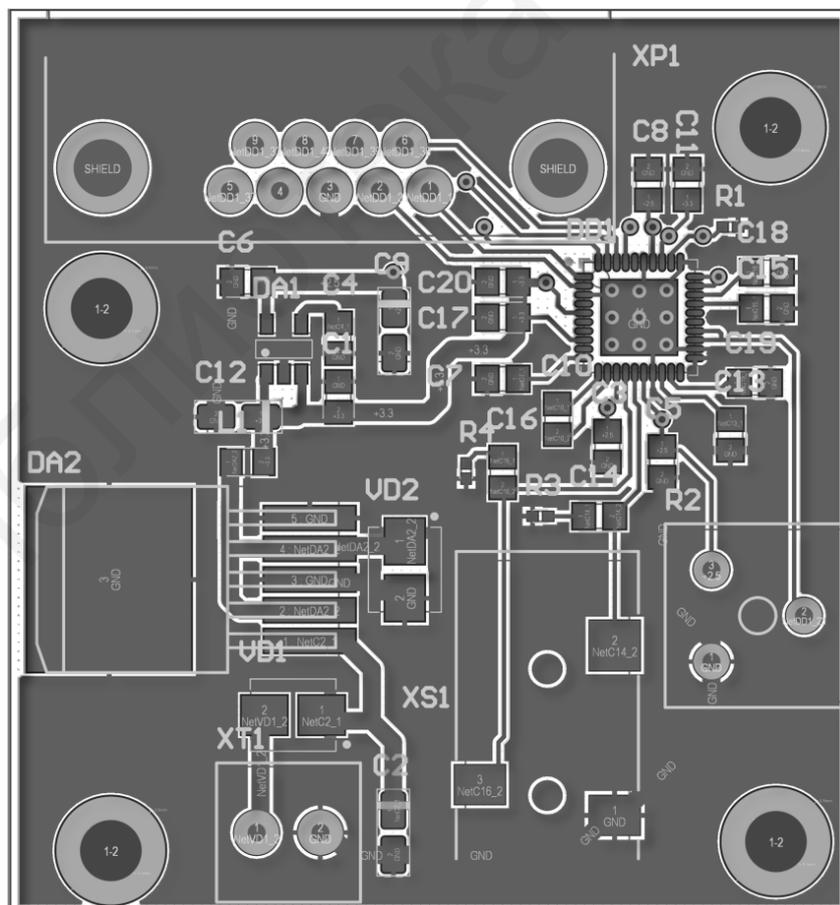


Рисунок 66 – Окончательный вид верхнего слоя платы с полигоном «земля»

6.9 Оформление документации на печатную плату

Комплект документации на печатную плату имеет обычную структуру:

- спецификацию;
- сборочный чертёж;
- схему электрическую принципиальную и перечень элементов;
- чертёж печатной платы.

6.9.1 *AltiumDesigner* содержит модуль *Draftsman*, который позволяет пользователю оформить графическую документацию: сборочный чертёж и чертёж печатной платы. Для создания текстовой документации можно воспользоваться информацией, сгенерированной командой *Report/BillofMaterials*.

6.9.2 Для работы с модулем *Draftsman* в проект необходимо добавить одноимённый документ с помощью команды *AddNewtoProject*. Как и в схемном редакторе, к листу документа можно подключить стандартный формат необходимого размера (шаблон), а также добавить требуемое количество листов.

6.9.3 На сборочном чертеже размещаются (приложение Г):

- вид печатной платы сверху с элементами;
- вид печатной платы сбоку с условным изображением габаритов платы по высоте;
- варианты монтажа элементов, которые не содержатся в ГОСТ 29137–91;
- технические требования.

6.9.4 Виды печатной платы размещаются командой *Place/BoardAssemblyView*. В свойствах вида можно указать его масштаб, настройки линий, детализацию отображения компонентов как для всего вида, так и отдельных компонентов.

6.9.5 Для вида сбоку необходимо разместить такой же вид сборки, установить в его свойствах вид слева и нарисовать штриховой линией контур, охватывающий габариты элементов. Затем в окне, открываемом вкладкой *Components*, убрать видимость компонентов.

6.9.6 Варианты монтажа элементов получаются с помощью команды *Place/AdditionalViews/ComponentView*. Здесь также можно изменять параметры вида, кроме детализации отображения компонента.

6.9.7 Технические требования размещаются в виде текстового объекта.

6.9.8 Чертёж печатной платы является отдельным документом, поэтому в проект добавляется ещё один документ *Draftsman* и подключается шаблон. На нём размещается вид платы с отверстиями (*Place/AdditionalViews/DrillDrawingView*). Вид и размер условных обозначений отверстий можно поменять на вкладке *DrillSymbols*.

6.9.9 Вид сбоку печатной платы можно получить из вида сборки, отключив видимость компонентов (приложение Д).

6.9.10 Также на чертеже располагается таблица отверстий (*Place/Drill Table*).

6.9.11 Топологию проводников можно показать на отдельных видах (*Place/BoardFabricationView*). Для вида топологии снизу необходимо, кроме выбора слоя *BottomLayer*, установить вид снизу *ViewSide – Bottom*.

6.9.12 Линии сетки согласно ГОСТ 2.417–91 можно наносить в виде рисок по периметру контура печатной платы. Для этого в *Draftsman* имеется команда *Place/X,YAxisScale*. Также к чертежу добавляются размеры и технические требования.

6.9.13 Элементы в перечне записываются в алфавитном порядке позиционных обозначений. Допускается объединять элементы с одинаковыми параметрами, если они расположены рядом (приложение Г стандарта БГУИР).

6.9.14 В спецификации информация группируется по разделам (приложение Е). Элементы, как правило, записываются в раздел «Прочие изделия». Они располагаются в алфавитном порядке наименований, затем сортируются по типам и по возрастанию технических характеристик, например, ёмкости.

6.10 Подготовка файлов для производства печатной платы

6.10.1 Изготовление печатной платы осуществляется на основе файлов *Gerber*, в которых содержится информация об отдельных слоях (*File/FabricationOutputs/GerberFiles*).

6.10.2 Впоследствии *Gerber*-файлы обрабатываются программами технологической подготовки производства и используются для получения фототаблонов или прямого экспонирования фоторезиста.

6.10.3 Сверление плат осуществляется на станках с числовым программным управлением. Для этого генерируется файл сверления с информацией о диаметрах и координатах отверстий (*File/FabricationOutputs/NCDrillFiles*).

7 МЕТОДИКА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ПРИБОРОВ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ

Основой приборов курсовых проектов являются микроконтроллеры, преимущественно с *ARM*-архитектурой. В отсутствие легкодоступных натуральных образцов микроконтроллерной техники для моделирования и отладки схемотехнических и алгоритмических решений в курсовом проектировании рекомендуется применять компьютерные пакеты моделирования микропроцессорных систем, в частности, *Proteus* [31].

В состав библиотек *Proteus* входит широкий набор радиоэлементов. Но некоторые современные микроконтроллеры из курсового проектирования, например *nRF* и *ESP*, отсутствуют даже в последних выпусках *Proteus*. Поэтому при моделировании схем электронных узлов проектируемых приборов рекомендуется использовать микроконтроллерные аналоги с идентичным или близким архитектурным ядром.

В задании по курсовому проектированию разработке моделей электронных узлов прибора с учётом алгоритма его функционирования посвящён пункт 4.5 (см. приложение А). В данном разделе учебно-методического пособия рассматриваются вопросы пункта 4.5 задания, связанные с организацией пользовательского интерфейса и межпроцессорного взаимодействия средствами интерфейсов *UART*, *SPI* и *I2C*.

7.1 Компьютерные модели электронных средств пользовательского интерфейса

Рассчитанный на человека пользовательский интерфейс включает в себя устройства ввода-вывода информации: кнопки и переключатели, клавиатуры и джойстики, сенсорные панели, дисплеи, консоли и терминалы, а также интегрированные с сенсорными панелями дисплейные модули.

Предоставляемыми средой *Proteus* устройствами ввода могут выступать кнопки, переключатели, сенсорные площадки, клавиатуры. В качестве устройств вывода информации *Proteus* располагает терминалом и различными дисплейными модулями: светодиодными и жидкокристаллическими, многорядными 8-сегментными, бинарными символьными и графическими, цветными графическими (рисунок 67, а).

Управление дисплеями осуществляется как по параллельным, так и по последовательным интерфейсам.

Proteus-модель подключения по параллельным интерфейсам к микроконтроллеру устройств ввода-вывода информации, в том числе цветного графического *ILI9341* и бинарных графических *EW12A03GLY* и *AMPIRE128X64* дисплеев, изображена на рисунке 68. Параллельный интерфейс идентифицируется шиной *D[7..0]* данных. Устройствами ввода информации являются клавиа-

тура *KEYPAD-PHONE*, кнопка *BUTTON*, переключатель *SW-SPDT* и элемент *LOGICSTATE* указания логического состояния – аналог переключателя.

Интерфейсами последовательной связи с дисплеями в основном выступают *I2C* и *SPI*, что изображено на рисунке 67, б.

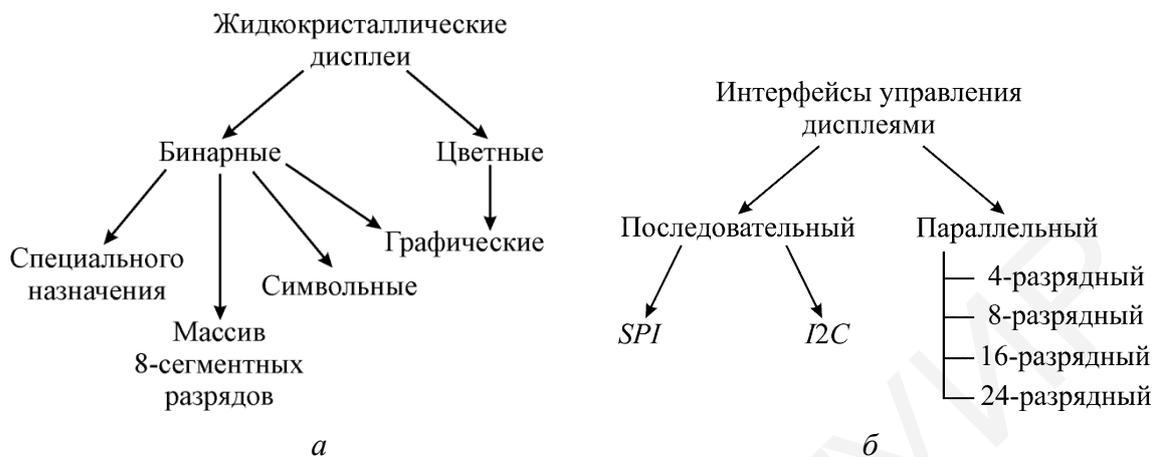


Рисунок 67 – Основные типы дисплеев (а) и интерфейсов управления ими (б)

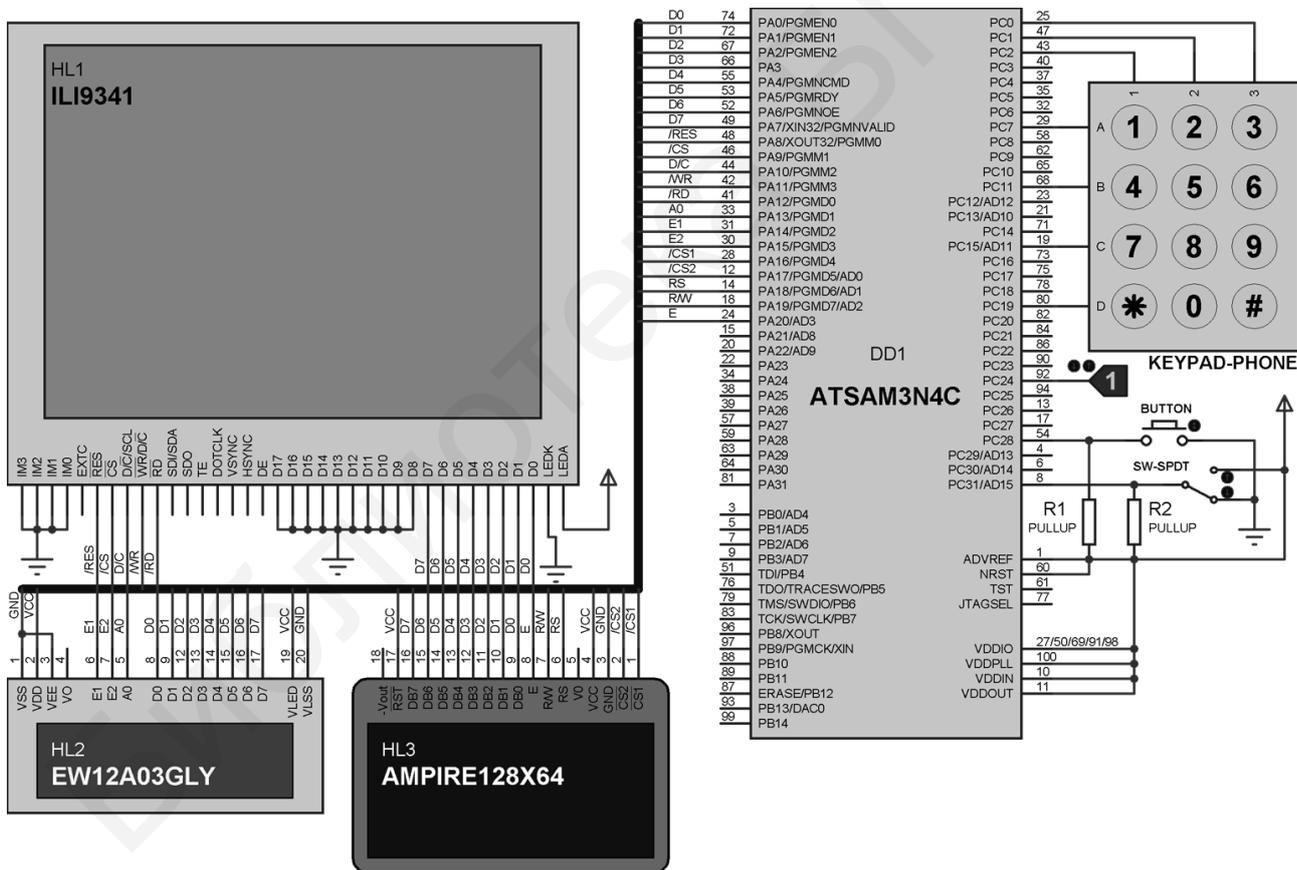


Рисунок 68 – *Proteus*-модель подключения устройств ввода-вывода к микроконтроллеру по параллельным интерфейсам

В случае использования в качестве дисплея консольного окна некоторого «внешнего» прибора, например, компьютера, базовым интерфейсом связи с таким «дисплеем» становится *UART*.

Последовательной связи с микроконтроллером устройств пользовательского интерфейса наряду с иными цифровыми приборами посвящены подразделы 7.2–7.4.

7.2 Компьютерные модели *UART*-подобных интерфейсов

Кроме пользовательского интерфейса, представленного в виде консоли или терминала, непосредственно с *UART* связаны *RS-232* и *RS-485*. *RS-232* используется модемами *GSM*, *GPRS*, *3G*, *LTE*, *RFID*-считывателями *YR902/903* и другими приборами и модулями. *RS-485* относится к тематическим классам «Приборы систем управления, телемеханики и телеметрии», «Модули для распределённых систем и параллельных вычислений», «Универсальные отладочные стенды». На практике *RS-485* применяется в промышленных системах, где на его основе чаще всего реализуется протокол *MODBUS RTU*.

7.2.1 Для организации консольного пользовательского интерфейса в среде *Proteus* применяется *VIRTUAL TERMINAL*, подключенный к микроконтроллеру по *UART*. Пример взаимодействия терминала (консольного окна) с микроконтроллером *LM3S328* на базе ядра *ARM Cortex-M3* изображён на рисунке 69.

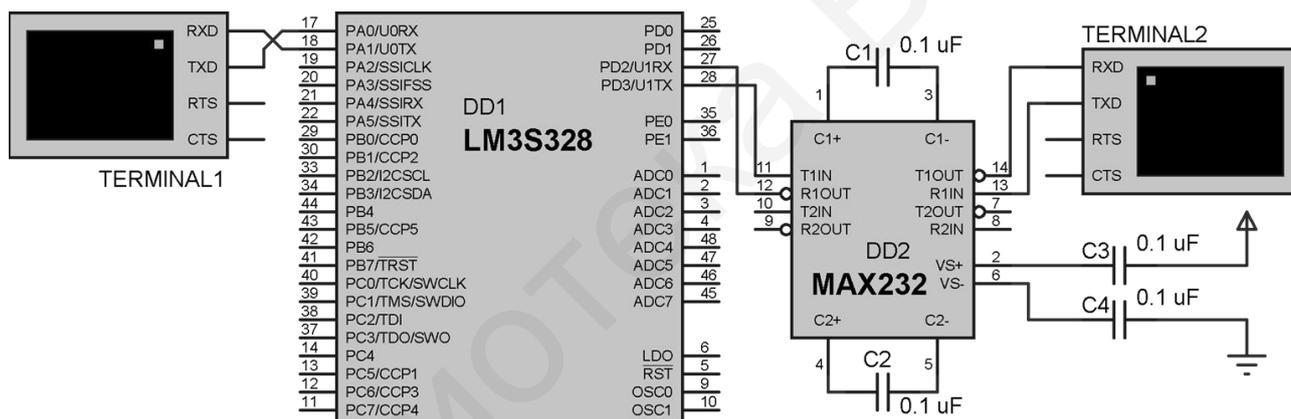


Рисунок 69 – *Proteus*-модель организации консольного пользовательского интерфейса

Рисунок 69 отражает возможность управления терминалом как посредством *UART* (это *TERMINAL1*, подключенный к *UART0*, выводам 17 *PA0/U0RX* и 18 *PA1/U0TX* микроконтроллера *DD1*), так и с помощью *RS-232*. Настройки терминалов определяются стандартной лаконичной записью *Q-P-q*, где *Q* – количество битов в посылке, *P* – тип паритета, *q* – количество стоп-битов. По умолчанию оба терминала настроены на 8-*N*-1 и скорость взаимодействия 9600 бит/с. Принципиальные отличия в настройках *TERMINAL1* от *TERMINAL2* состоят в параметре *RX/TX Polarity* пункта *Advanced Properties* их свойств. В *TERMINAL1* этот параметр имеет значение *Normal*, а для терминала *TERMINAL2*, подключенного к *UART1* микроконтроллера через *RS-232*, – *Inverted*. Это объясняется отличиями физических уровней *UART* от *RS-232*.

7.2.2 Моделирование портов связи и средств сети на базе шины *RS-485* требует добавления в схему соответствующих драйверов. Для *RS-232* таковым драйвером выступает *MAX232*, для *RS-485* – *MAX487*. На рисунке 70 перечисленные

драйверы подключены к микроконтроллерам *LPC1343* и *STM32F103* с архитектурным ядром *ARM Cortex-M3*.

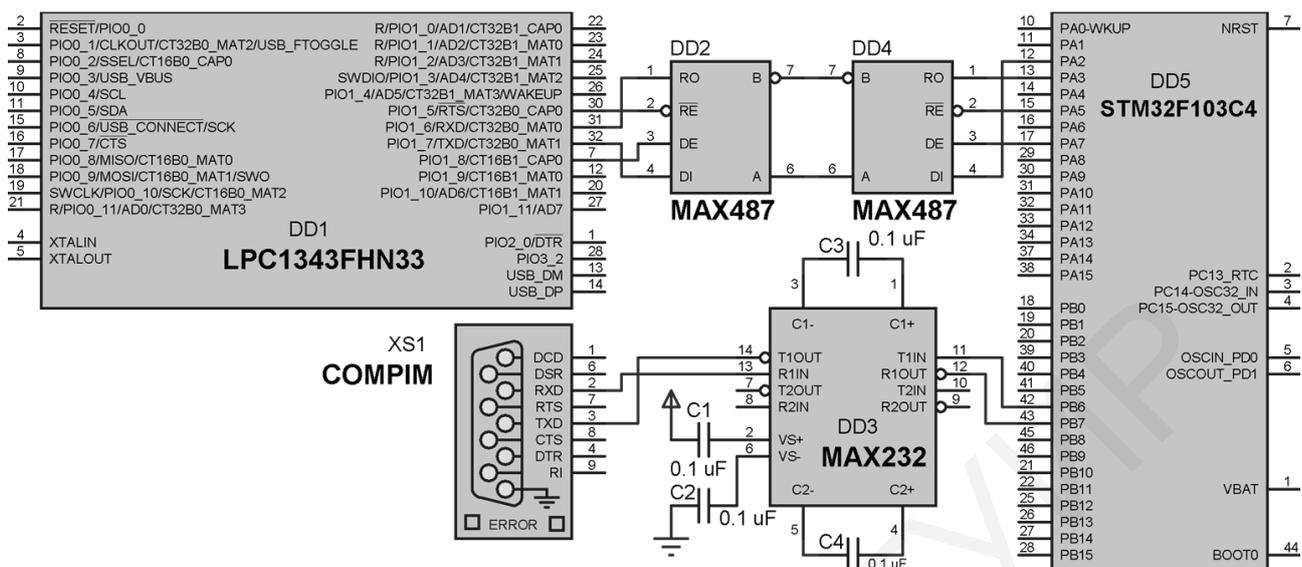


Рисунок 70 – *Proteus*-модель с интерфейсами *RS-232* и *RS-485*

Proteus-компонент *COMPIM* – это виртуальный *COM*-порт с конкретным именем физического порта. Им можно управлять с консоли программы *PuTTY*, *TERATERM* или их аналогов, предварительно установив на операционную систему компьютера драйвер *VSPD* (*Virtual Serial Port Driver*), позволяющий настраивать мосты между открытыми компьютерными *COM*-портами.

В модели сети микроконтроллеров с шинной архитектурой на базе интерфейса *RS-485* может работать несколько микроконтроллеров, а не два, как изображено на рисунке 70.

7.3 Компьютерная модель организации связи по *SPI*

В задании по курсовому проектированию непосредственно к моделированию взаимодействия приборов по *SPI* относится пункт 4.5.4, где требуется в среде *Proteus* моделировать *MMC*-файл как образ дисковой системы для хранения массивов и отладочных данных. Кроме этого, *SPI* участвует в организации пользовательского интерфейса. На рисунке 71 приведена *Proteus*-модель, объединяющая пользовательский интерфейс на базе *SPI* с *SD*-картой.

В схеме приведённой компьютерной модели возможны два варианта программного управления дисплейным модулем с видеопроцессором *ILI9341* по *SPI*: непосредственно в последовательном режиме для $IM[3:0] = 1110$ и косвенно через преобразование последовательных *SPI*-данных в параллельные с помощью каскадного соединения двух сдвиговых регистров *DD1* и *DD2* типа *74LS595*. Во втором случае $IM[3:0] = 0000$, и логика управления дисплеем *ILI9341* на рисунке 71 во многом совпадёт с логикой управления аналогичным дисплеем на рисунке 68.

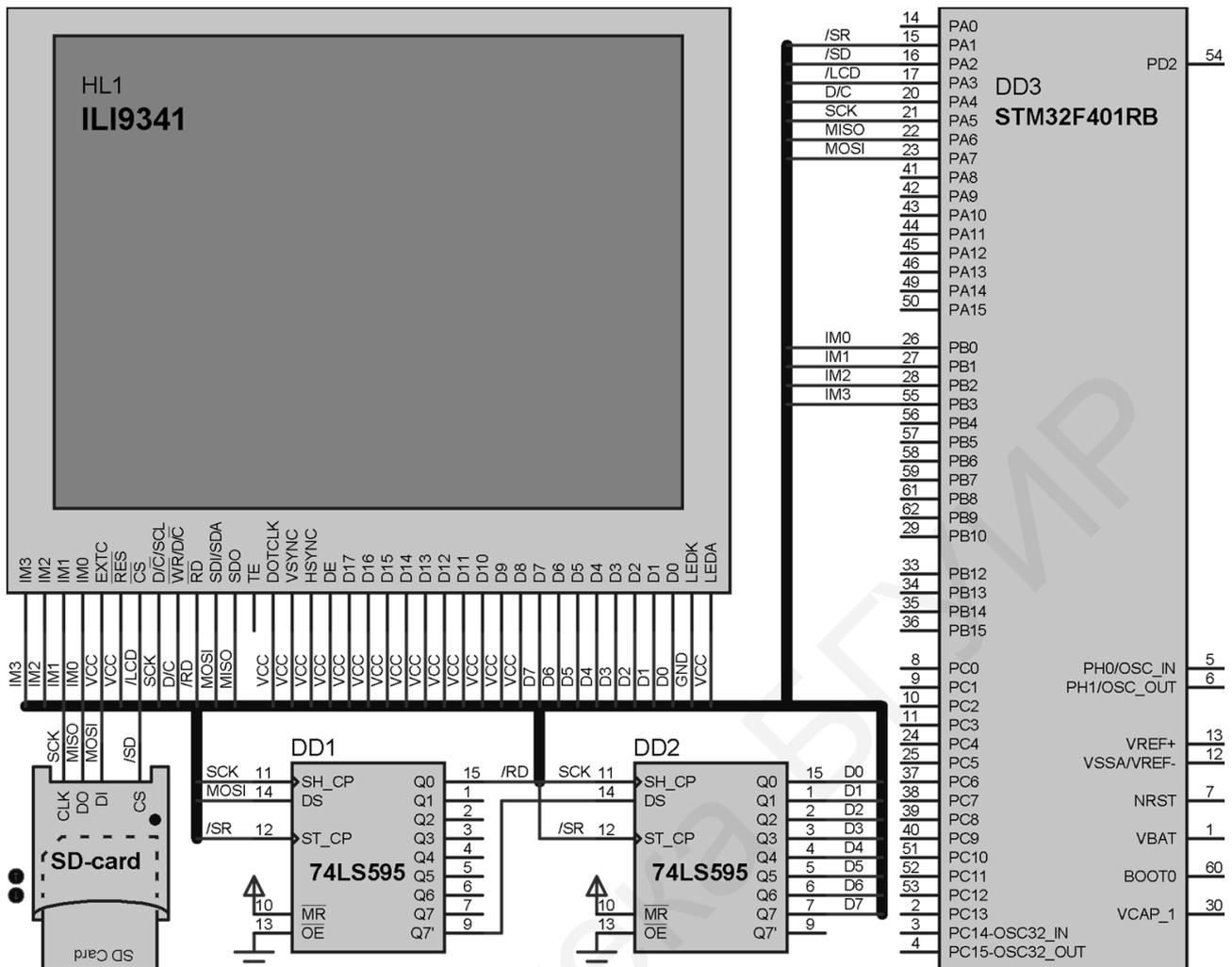


Рисунок 71 – Proteus-модель организации пользовательского интерфейса на базе SPI

SD-карта, также управляемая по SPI, может выступать не только как устройство хранения файлов, но и в роли датчика, моделирующего тестовый сигнал для поставленной задачи. Proteus-модель с SD-картой позволяет удовлетворить требование пункта 4.5.2 «Моделирование и отладка алгоритмов преобразования и обработки сигналов в каналах прибора» задания по курсовому проектированию.

В модели схемы на рисунке 71 установлен микроконтроллер STM32F401 с ядром ARM Cortex-M4.

7.4 Компьютерная модель организации связи по I2C

Модель организации связи по I2C или аналогичным интерфейсам TWI или SCCB рассматривается на примере подключения к микроконтроллеру стандартных микросхем PCF8591 цифроаналогового и аналого-цифрового преобразования, PCF8593 или DS1307 часов реального времени, PCF8574 I2C-расширителя (преобразователя последовательного I2C-интерфейса в параллельный) и PCF8570 оперативной памяти. Proteus-модель схемы подключения перечисленных микросхем к микроконтроллеру изображена на рисунке 72.

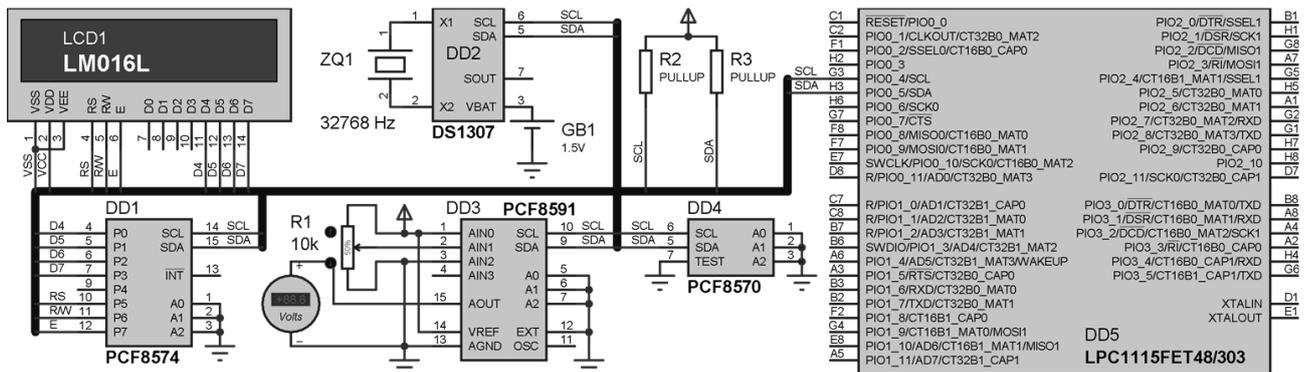


Рисунок 72 – Proteus-модель организации взаимодействия по I2C

Интерфейс I2C имеет временную в отличие от пространственной в SPI адресацию и не требует вспомогательных сигналов управления. Две I2C-линии SDA и SCL поступают на соответствующие одноимённые входы всех приборов шины. Подтягивающие резисторы R2 и R3 номиналом от 2,2 до 10 кОм задают стандартный исходно высокий уровень напряжения в I2C-линиях и влияют на потребление тока шиной и скорость взаимодействия в ней.

I2C-расширитель PCF8574 или аналогичный MCP23008-E/SO находит широкое применение в управлении дисплеями: символьными, графическими бинарными (разрешением примерно до 320 × 240 пикселей) и графическими цветными (разрешением до 160 × 120 пикселей).

В качестве микроконтроллера на рисунке 72 выбран LPC1115FET48 с ядром ARM Cortex-M0.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Курсовой проект по дисциплине «Мобильные вычислительные системы» представляет собой полноценную разработку электронного прибора, начиная от постановки задачи с формулировкой назначения прибора, разработки его структурной и принципиальной электрической схем, печатной платы и завершая компьютерным моделированием электронных блоков и модулей прибора с учётом отдельных вычислительных алгоритмов и алгоритма функционирования прибора в целом.

К защите курсового проекта наряду с пояснительной запиской студентом предоставляются разработанные им чертежи электрической структурной и принципиальной схем, печатной платы, плакаты схем вычислительных алгоритмов и алгоритма функционирования прибора, диаграммы состояний его программы – документация, отражающая достаточно полный цикл создания электронного прибора.

При подготовке документации к защите проекта важно помнить наиболее часто повторяющиеся студентами ошибки оформительского, стилистического и принципиального характера.

Среди непринципиальных, но частых ошибок отмечается непонимание различий между простым и сложным перечислениями (см. пункты 2.2.3, 2.2.4 данного учебно-методического пособия), приводящее к их неправильному оформлению.

Основная часть важных студенческих недочётов в оформлении курсового проекта изложена в заключении пособия [1], где особое внимание следует акцентировать на необходимость детальных пояснений к рисункам и графическому материалу (чтобы сторонние специалисты, читающие работу, интерпретировали их одинаково, без искажения основной авторской мысли), на заблуждении «очевидности» информации, получаемой из рисунков и таблиц, якобы не требующей пояснений (представленный автором материал без сопутствующей детализации может быть интерпретирован не в пользу автора), на глубине и сложности алгоритмов, выносимых в графическую часть. В контексте детализации пояснений следует отметить, что символы структурной и принципиальной электрических схем должны быть обоснованы в пояснительной записке со ссылками на соответствующие, желательно оригинальные, технические источники.

Следует учиться чётко и ёмко, т. е. последовательно и логически завершённо, и в то же время кратко излагать мысли в научно-техническом стиле, т. к. неясность и нечёткость изложения материала – это основной недостаток работы автора.

Касательно чёткости и краткости изложения основных мыслей предусмотрен реферат пояснительной записки, где буквально в нескольких предложениях, даже в виде набора ключевых слов излагается суть всей работы (см. пункт 1.4.3).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Образец задания по курсовому проекту

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
Факультет компьютерного проектирования
Кафедра проектирования информационно-компьютерных систем



УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ПИКС
И. О. Фамилия
(подпись зав. кафедрой) (И. О. Фамилия зав. кафедрой)

«___» _____ 20__ г.
(дата утверждения задания)

ЗАДАНИЕ по курсовому проекту по дисциплине «Мобильные вычислительные системы»

Группа _____
(указать номер группы студента)

Студенту _____
(указать полностью фамилию, имя, отчество студента)

1 Тема проекта: _____
(указать название проекта)

2 Сроки сдачи студентом законченного проекта: «___» _____ 20__ г.
(указать срок сдачи проекта)

3 Исходные данные к проекту:

3.1 Назначение прибора: _____
(указать назначение прибора)

3.2 Электрические параметры: _____
(перечислить основные электрические параметры прибора)

3.3 Общие технические условия (требования) по ГОСТ 5651–89, группа 1. Устойчивость к климатическим воздействиям по ГОСТ 15150–69 УХЛ 1.3.

3.4 Конструкторские требования: _____
(перечислить основные конструкторские требования)

3.5 Требования к надёжности по ГОСТ 27.003–90.

3.6 Пояснительную записку и графический материал выполнять по СТП 01-2017 БГУИР.

4 Содержание расчётно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

4.1 Титульный лист. Реферат. Задание. Содержание. Перечень условных обозначений, символов и терминов. Введение: применение приборов по теме курсового проекта, актуальность темы проекта, цель, постановка задач.

4.2 Общетехническое обоснование разработки прибора:

4.2.1 Анализ исходных данных.

4.2.2 Теоретические сведения и принципы функционирования отдельных узлов прибора: основные понятия и определения по теме курсового проекта; обзор принципов действия, структурных решений и микропроцессорной базы современных приборов по теме курсового проекта; обоснование составных частей и узлов проектируемого прибора; принципиальные основы построения составных частей и элементов проектируемого прибора; физико-математические основы процессов в узлах и каналах проектируемого прибора; методы, модели и алгоритмы формирования, преобразования и обработки сигналов в каналах и трактах проектируемого прибора; анализ моделей генерирования входных данных и массивов для проектируемого прибора; структура микроконтроллерного ядра проектируемого прибора; регистровая модель интерфейса *GPIO* микроконтроллерного ядра проектируемого прибора; принципы функционирования контроллера вложенных векторов прерываний микроконтроллерного ядра проектируемого прибора; физический, канальный и сеансовый уровни интерфейсов связи проектируемого прибора; регистровая модель интерфейсов связи в структуре микроконтроллерного ядра проектируемого прибора; принципы функционирования блока *DMA* прямого доступа к памяти; методика обработки прерываний *DMA*; структура, регистровая модель и логика функционирования иных микросхем и цифровых модулей проектируемого прибора; методика организации пользовательского интерфейса; микроконтроллерные файловые системы; форматы файлов хранения массивов; принципиальные основы и схемы зарядки аккумуляторных батарей.

4.3 Разработка структурной электрической схемы прибора:

4.3.1 Обоснование базовых блоков структурной электрической схемы прибора.

4.3.2 Обоснование связей структурной электрической схемы прибора.

- 4.4 Разработка принципиальной электрической схемы прибора:
- 4.4.1 Обоснование выбора САПР для разработки принципиальной электрической схемы прибора.
- 4.4.2 Описание используемых библиотечных элементов и процесса их создания.
- 4.4.3 Обоснование выбора базовых компонентов принципиальной электрической схемы прибора.
- 4.4.4 Обоснование межмикросхемных связей принципиальной электрической схемы прибора.
- 4.4.5 Анализ и обоснование принципиальной электрической схемы зарядки аккумуляторной батареи.
- 4.5 Разработка модели и алгоритма функционирования прибора:
- 4.5.1 Моделирование в программно-математических средах физико-математических процессов в узлах и цепях прибора.
- 4.5.2 Моделирование методов и алгоритмов формирования, преобразования и обработки сигналов в каналах и трактах прибора.
- 4.5.3 Обоснование модели прибора в среде *Proteus* моделирования микропроцессорных систем.
- 4.5.4 Моделирование *MMC*-файла как образа дисковой системы для хранения входных массивов, промежуточных и результирующих файлов на *SD*-карте.
- 4.5.5 Моделирование в среде *Proteus* пользовательского интерфейса прибора.
- 4.5.6 Разработка диаграммы состояний прибора.
- 4.5.7 Разработка схемы алгоритма функционирования прибора.
- 4.6 Разработка конструкции прибора:
- 4.6.1 Выбор и обоснование элементной базы.
- 4.6.2 Выбор и обоснование конструктивных элементов и установочных изделий.
- 4.7 Расчёт конструктивно-технологических параметров прибора:
- 4.7.1 Проектирование печатного электронного модуля: выбор типа конструкции печатной платы, класса точности и шага координатной сетки; выбор и обоснование метода изготовления электронного модуля; расчёт конструктивно-технологических параметров электронного модуля (определение габаритных размеров, выбор толщины печатной платы; определение элементов проводящего рисунка).
- 4.7.2 Выбор и обоснование материалов конструкции и защитных покрытий, маркировки деталей и сборочных единиц.
- 4.8 Применение средств автоматизированного проектирования при разработке прибора.

Заключение. Список использованных источников. Приложения (перечень элементов, спецификация, трёхмерная модель электронного модуля, текст программы, ведомость документов курсового проекта).

5 Перечень графического материала (с указанием обязательных чертежей и графиков):

- 5.1 Схема электрическая структурная (1 лист формата А3).
- 5.2 Схема электрическая принципиальная (1 лист формата А3 или А2).
- 5.3 Чертёж печатной платы (1 лист формата А3 или А2).
- 5.4 Сборочный чертёж печатной платы (1 лист формата А3 или А2).
- 5.5 Диаграмма состояний (1 лист формата А3).
- 5.6 Схема алгоритма (1 лист формата А3).

6 Консультанты по проекту (с указанием разделов): _____ (перечислить научные степени, звания,

должности консультантов с указанием в скобках разделов, за которые они ответственны)

7 Дата выдачи задания: «__» _____ 20__ г. (указать дату выдачи задания)

8 Календарный график работы на весь период проектирования (с указанием сроков выполнения и трудоёмкости отдельных этапов)

№ п/п	Наименование этапов курсового проекта	Срок выполнения этапов проекта	Объём этапа, %
1	1-я опрoцентoвка (пункты 4.2, 4.3, 4.6, 5.1)	«__» _____ 20__ г.	30
2	2-я опрoцентoвка (пункты 4.4, 4.7, 5.2, 5.3, 5.4)	«__» _____ 20__ г.	60
3	3-я опрoцентoвка (полностью готовый проект)	«__» _____ 20__ г.	90
4	Сдача курсового проекта на проверку	«__» _____ 20__ г.	100
5	Защита курсового проекта	После «__» _____ 20__ г. согласно графику	

Руководители и консультанты _____ И. О. Фамилия
(подпись руководителя или консультанта) (указать И. О. Фамилию руководителя или консультанта)

_____ И. О. Фамилия
(подпись руководителя или консультанта) (указать И. О. Фамилию руководителя или консультанта)

Задание принял к исполнению «__» _____ 20__ г. _____ И. О. Фамилия
(указать дату получения задания) (подпись студента) (указать И. О. Фамилию студента)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Образец титульного листа

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра проектирования информационно-компьютерных систем

Дисциплина «Мобильные вычислительные системы»

К защите допустить:

Руководители курсового проекта

учёная_степень, учёное_звание

_____ И. О. Фамилия_рук_1

____.____.20__

учёная_степень, учёное_звание

_____ И. О. Фамилия_рук_2

____.____.20__

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту

на тему

ТЕМА_КУРСОВОГО_ПРОЕКТА

БГУИР КП 1-39 03 02 №_темы_порядковый ПЗ

Студент

(подпись студента)

И. О. Фамилия_студента

Курсовой проект представлен
на проверку _____.____.20__

(подпись студента)

Минск 20__

ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное)

Пример сборочного чертежа

- 1 *Размеры для справок.
- 2 Установку элементов производить по чертежу. Шаг координатной сетки 1,25 мм.
- 3 Припой ПОС 61 ГОСТ 21931-76.
- 4 Паяльная паста Sn62MP218 Mulsiose.
- 5 Маркировка элементов показана условно.
- 6 Остальные технические требования по СТБ 1022-96.

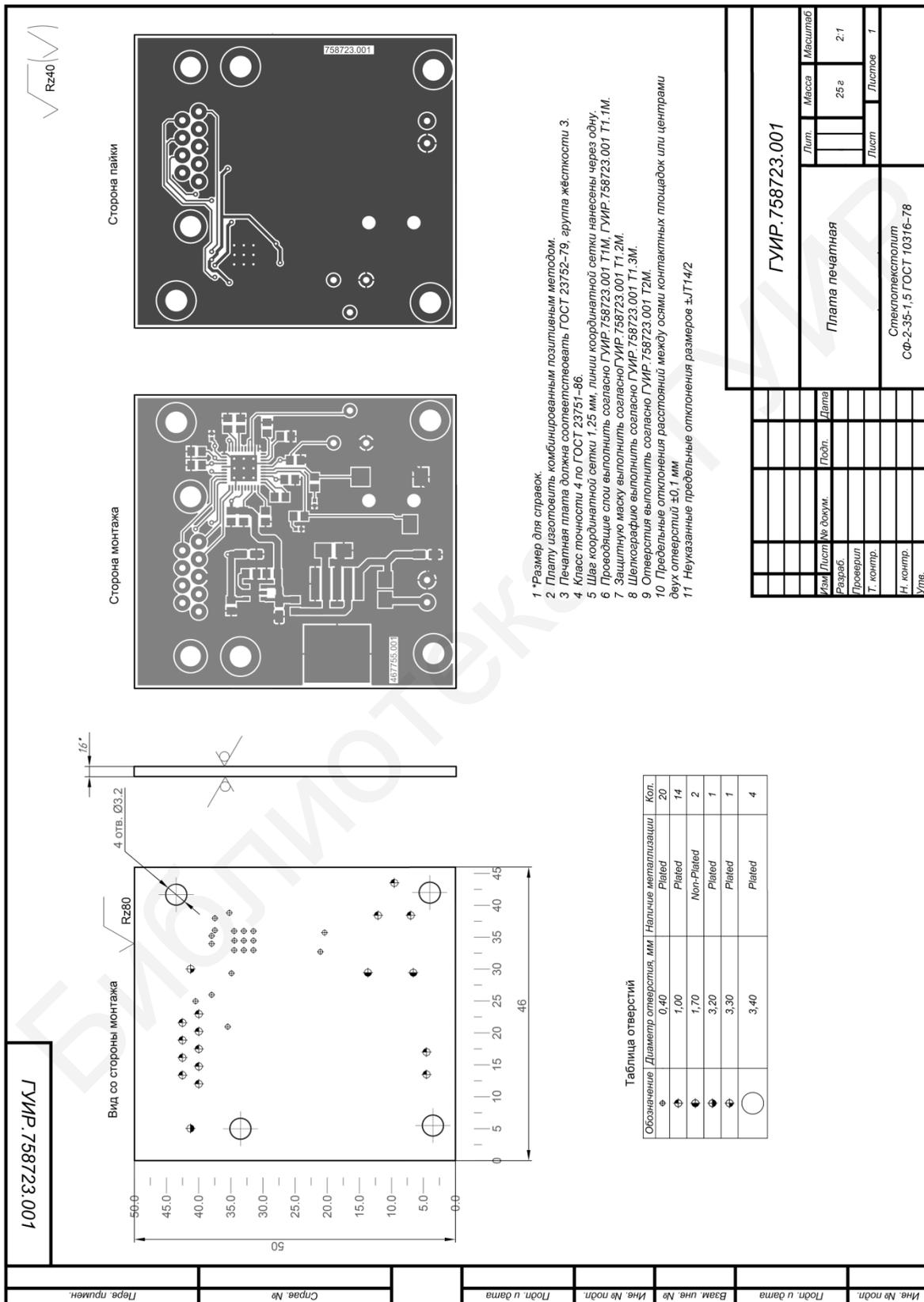
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.					ГУИР.467755.001СБ Декодер звука Сборочный чертёж
Проверил					
Т. контр.					
И. контр.					
Упл.					Копировал

Справа №	Поди. и дата
Тера. примен.	Име. № подл.
	Име. № подл.
	Вам. ина №
	Поди. и дата

					ГУИР.467755.001СБ Декодер звука Сборочный чертёж
					Копировал

ПРИЛОЖЕНИЕ Д (обязательное)

Пример вида сбоку печатной платы



Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дудл.	Подп. и дата	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
									Конденсаторы			
									0805-Murata, Case-A Vishay			
							11		0805-X7R-25V-150 pF ±10 %	2	C15, C18	
							13		0805-X7R-25V-0,01 uF ±10 %	1	C4	
							15		0805-X7R-25V-0,022 uF ±10 %	2	C14, C16	
							17		0805-X7R-25V-0,1 uF ±10 %	5	C5, C8, C11, C17, C20	
							19		0805-X7R-25 V-1 uF ±10 %	7	C1, C3, C7, C9, C10, C13, C19	
							21		0805-X7R-25 V-10 uF ±10 %	1	C6	
							23		Case-A-25 VDC-100 uF ±10 %	2	C2, C12	
									Микросхемы			
							25		CS43L22 CirrusLogic	1	DD1	
							27		LM2576HVT-3.3 TexasInstruments	1	DA2	
							29		TPS79325 DBVR TexasInstruments	1	DA1	
							31		Разъём ED555/2DS OnShoreTechnologyInc	1	XT1	
									Резисторы			
							33		0402-51 Ом ±5 % Yageo	2	R3, R4	
							35		0402-10 кОм ±5 % Yageo	1	R1	
							37		3310Y-001-103L 10 кОм ±5 % BOURNS	1	R2	
					ГЧИР.467755.001							Лист
Из	Лист	№ докум.	Подп.	Дата							2	
					Копировал				Формат А4			

Рисунок Е.1, лист 2

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Ролич, О. Ч. Основы программирования информационных систем. Курсовое проектирование : пособие / О. Ч. Ролич. – Минск : БГУИР, 2020. – 84 с.
- [2] Некоторые дополнительные пояснения по дипломному проекту [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_65972.docx.
- [3] Правила выбора темы диссертации [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.bsuir.by/ru/kaf-itas/magistratura>.
- [4] ОК 012–93 «Классификатор ЕСКД. Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов» [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <http://classinform.ru/ok-eskd/kod.html>.
- [5] Пустоваров, В. И. Язык ассемблера в программировании информационных и управляющих систем / В. И. Пустоваров. – Киев : «Век» ; М. : «Десс», 1998. – 304 с.
- [6] В БГУИР открылась лаборатория «Встраиваемые мобильные системы» [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа : <https://companies.dev.by/news/v-bguir-otkrylas-laboratoriya-vstraivaemye-mobilnye-sistemy>.
- [7] *STM32F4DIS-BB* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.hobbielektronika.hu/forum/getfile.php?id=202140>.
- [8] *UM1472. Discovery kit for STM32F407/417 lines. User manual* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <http://five-sigma.com/tmp/Micropro/DM00039084.pdf>.
- [9] *JTAG Debugging ESP32* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://github.com/Pro/open62541-arduino/wiki/Debugging-ESP32>.
- [10] *ESP32-GATEWAY* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.olimex.com/Products/IoT/ESP32/ESP32-GATEWAY/open-source-hardware>.
- [11] *3.2inch 320x240 Touch LCD (C) User Manual* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <http://www.belchip.by/sitedocs/18326.pdf>.
- [12] *BQ24295 I2C Controlled 3A Single Cell USB Charger With Narrow VDC* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24295.pdf>.
- [13] *BQ24295EVM-549 (PWR549) User's Guide* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.ti.com/lit/ug/sluiuao5b/sluiuao5b.pdf>.
- [14] *BQ25890/2 I2C Controlled Single Cell 5-A Fast Charger with MaxCharge™ Technology for High Input Voltage and Adjustable Voltage USB On-the-Go Boost Mode* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq25890.pdf>.
- [15] *TP4056* – модуль зарядки/зарядное устройство с защитой для *Li-Ion* аккумуляторов [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://micro-pi.ru/tp4056-модуль-зарядки-li-ion/>.
- [16] Хорошевский, В. Г. Архитектура вычислительных систем : учеб. пособие / В. Г. Хорошевский. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. –

520 с. [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://nsu.ru/xmlui/bitstream/handle/nsu/935/khor32.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

[17] Галушкин, А. И. Транспьютерные системы – начало становления в России ЭВМ с массовым параллелизмом [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.computer-museum.ru/histussr/transputer.htm>.

[18] AN2731: *Compact Planar Antennas for 2.4 GHz Communication Designs and Applications within NXP EVK Boards* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN2731.pdf>.

[19] AN1088: *Designing with an Inverted-F 2.4 GHz PCB Antenna* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.silabs.com/documents/public/application-notes/an1088-designing-with-pcb-antenna.pdf>.

[20] *ST-LINK/V2 in-circuit debugger/programmer for STM8 and STM32* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.st.com/en/development-tools/st-link-v2.html>.

[21] *MCU core board Core407I* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.waveshare.com/img/devkit/Core407I/Core407I-1.jpg>.

[22] *MCU core board Core407I* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://www.waveshare.com/img/devkit/Core407I/Core407I-2.jpg>.

[23] *nRF52840 Objective Product Specification v0.5* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF52840_OPS_v0.5.pdf.

[24] *nRF52840 USB Dongle* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : https://www.mouser.com/datasheet/2/297/Nordic_06192018_PCA10059_Schematic_And_PCB-1372278.pdf.

[25] Модуль *Wi-Fi ESP8266 (ESP-01)*: подключение, распиновка, прошивка в *IDE* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <http://wiki.amperka.ru/продукты:esp8266-wifi-module>.

[26] *UM1775. Discovery kit for STM32L0 series with STM32L053C8 MCU* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00118944-discovery-kit-for-stm32l0-series-with-stm32l053c8-mcu-stmicroelectronics.pdf.

[27] *ESP32-CAM AI-Thinker Pinout Guide: GPIOs Usage Explained* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : <https://randomnerdtutorials.com/esp32-cam-ai-thinker-pinout/>.

[28] *CAM1207-Interface* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : http://dl.btc.pl/kamami_wa/dm-cam130_sch.pdf.

[29] *Power over Ethernet* – подпитка для сети [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : [http://www.sib.com.ua/arhiv_2005/5\(24\)2005/statia_5_1_2005/5_1_2005.htm](http://www.sib.com.ua/arhiv_2005/5(24)2005/statia_5_1_2005/5_1_2005.htm).

[30] Лопаткин, А. В. Проектирование печатных плат в *AltiumDesigner* / А. В. Лопаткин. – М. : ДМК Пресс, 2016. – 400 с.

[31] *Proteus* по-русски [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа : http://radio-hobby.org/uploads/journal/RVB/2013/RVB_2013_24.pdf.

Учебное издание

Ролич Олег Чеславович
Колбун Виктор Сильвестрович

***МОБИЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ***

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *Е. С. Юрец*
Корректор *Е. Н. Батурчик*
Компьютерная правка, оригинал-макет *А. А. Лущикова*

Подписано в печать 12.07.2022. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 14,18. Уч.-изд. л. 8,2. Тираж 50 экз. Заказ 121.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск