

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»
Институт инженерно-педагогического образования
Кафедра информационных систем и технологий

**КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ И
МАТЕРИАЛОВ**

Выпускная квалификационная работа бакалавра
по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение
профиля «Энергетика»
специализации «Компьютерные технологии автоматизации и управления»

Идентификационный код ВКР: 135

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»
Институт инженерно-педагогического образования
Кафедра информационных систем и технологий

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ

Заведующий кафедрой ИС

_____ Н. С. Толстова

« ____ » _____ 2016 г.

**КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ И
МАТЕРИАЛОВ**

Выпускная квалификационная работа бакалавра
по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение
профиля «Энергетика»
специализации «Компьютерные технологии автоматизации и управления»

Исполнитель:

студент группы КТэ-401

А. О. Самойлов

Руководитель:

ст. преподаватель

В. В. Мешков

Нормоконтролер:

Т. В. Рыжкова

Екатеринбург 2016

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе выполнена на 63 страницах, содержит 22 рисунка, 4 таблицы, 24 источника, 4 приложения.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, ИЗМЕРЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, АНАЛОГОВО-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

Работа выполнена по заказу «Межотраслевого центра высокотемпературных теплофизических исследований конденсированных материалов» ФГАО ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет».

Объект исследования – электрическое сопротивление.

Предмет исследования – измерение электрического сопротивления.

Цель работы – разработка модуля измерения электрического сопротивления в широком диапазоне температур.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи:

1. Проанализированы методы измерения электрического сопротивления.
2. Разработано устройство измерения электрического сопротивления в широком диапазоне температур.
3. Разработаны методические указания по проведению измерений с помощью разработанного устройства.

Степень внедрения – результаты выпускной квалификационной работы внедрены на предприятии заказчика, имеется акт внедрения.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Измерение электрического сопротивления веществ и материалов в широком диапазоне температур	6
1.1 Электрические и термоэлектрические свойства.....	6
1.1.1 Электрические свойства.....	6
1.1.2 Термоэлектрические свойства	11
1.2 Комплекс для измерения электрического сопротивления.....	12
2 Разработка модуля измерения температуры и электрического сопротивления	14
2.1 Разработка аппаратного обеспечения	16
2.1.1 Структурная схема.....	17
2.1.2 Функциональная схема.....	18
2.1.3. Выбор компонентов и интерфейсов.....	18
2.1.4 Принципиальная электрическая схема	29
2.1.5 Документация для изготовления печатной платы.....	32
2.3 Разработка программного обеспечения	35
2.3.1 Используемые инструменты разработки.....	36
2.4 Разработка методического обеспечения.....	38
2.5.1 Средства наглядности.....	40
2.5.2 Методические указания.....	41
2.5.3 Листы рабочей тетради.....	46
Заключение	48
Список использованных источников	49
Приложение А. Лист задания.....	52
Приложение Б. Перечень элементов	54
Приложение В. Исходный код библиотеки управления SPI	56
Приложение Г. Исходный код библиотеки управления АЦП AD7739.....	58

ВВЕДЕНИЕ

Слово «теплофизика» часто расшифровывают как «область физики, исследующая и изучающая тепловые процессы». К тепловым процессам можно отнести горение топлива, нагрев/охлаждение теплоносителя и рабочих поверхностей, кипение/конденсацию и излучение световой энергии нагретым телом.

Эти процессы являются базовыми в производственных циклах ТЭС, АЭС, ТЭЦ. Знание их помогает повысить эффективность и производительность энергетического оборудования, автоматизировать и контролировать производственный цикл, предсказывать развитие экстремальных ситуаций, разрабатывать новые изоляционные и теплопередающие материалы и теплоносители с заранее заданными свойствами. Однако, знание особенностей протекания тепловых процессов необходимо и для задач самолето- и ракетостроения, космической техники и автоматики. Например, задача движения спутника в плотных слоях атмосферы или задача эффективного охлаждения быстродействующего процессора.

В «Российском государственном профессионально-педагогическом университете» на базе экспериментальных установок кафедры физико-математических дисциплин существует «Межотраслевой центр высокотемпературных теплофизических исследований конденсированных материалов» (далее по тексту Центр). Целью деятельности Центра является проведение исследований тепловых свойств веществ и материалов в диапазоне средних и высоких температур, а также разработка новых измерительных средств и модернизация имеющихся с целью расширения рабочего диапазона температур и повышения точности измерения. Одним из новых и перспективных направлений исследований для Центра является определение удельного электрического сопротивления веществ и материалов в широком диапазоне температур.

При проведении исследований электрических свойств веществ и материалов при высоких температурах требуется производить мониторинг пока-

заний, их запись, а также управление экспериментальным оборудованием. Учитывая человеческий фактор, выполнять данные операции вручную удастся с ошибками и большими временными затратами, что сказывается на точности измерений и скорости выполнения эксперимента. Логичным решением данной проблемы является частичная или полная автоматизация процесса проведения экспериментов.

Для измерения электрического сопротивления требуется устройство, способное измерять напряжения в диапазоне ± 2 В, обладающее достаточной точностью (не менее 0,01 мВ) для измерения температуры с помощью термопар, стандартизированными интерфейсами для подключения к другим устройствам и возможностью автоматизации измерений с применением ПК, т.е. наличие соответствующего интерфейса (RS-232, USB) и программного обеспечения.

Объектом данной выпускной квалификационной работы является электрическое сопротивление.

Предметом работы является измерение электрического сопротивления.

Целью работы является разработка модуля измерения электрического сопротивления в широком диапазоне температур.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- проанализировать литературу о измеряемых параметрах;
- разработать устройство измерения электрического сопротивления в широком диапазоне температур;
- разработать методические указания по проведению измерений с помощью разработанного устройства.

Выпускная квалификационная работа состоит из трех частей.

В первой части проанализированы источники информации и рассмотрены основные теоретические аспекты измерений электросопротивления.

Во второй части спроектировано устройство для измерения электрического сопротивления в широком диапазоне температур.

В третьей части разработано методическое обеспечение для освоения техникой измерений с использованием спроектированного устройства.

1 ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР

1.1 Электрические и термоэлектрические свойства

Физическое тело – совокупность материальных точек [1], т.е. это все предметы окружающего мира. Физические тела состоят из веществ. Таким образом вещество – это форма существования материи, характеризующейся массой покоя [1].

Материалы – вещества и смеси веществ, используемые для производства, изготовления вещей или преобразования в другие материальные субстанции, объекты и предметы.

Свойство материала – категория, отражающая различия или общие черты материалов, проявляющиеся при их сравнении. Также к свойствам можно отнести реакцию объекта на внешнее воздействие.

Количественным выражением свойств являются параметры свойств. Например, параметрами термических свойств, т.е. свойств, проявляющихся при изменении температуры материала в определенных условиях, являются температура плавления, температура кипения, температура вспышки и др.

В данном разделе рассмотрены электрические и термоэлектрические свойства веществ и материалов, представляющие интерес для исследования в теплофизике.

1.1.1 Электрические свойства

Электропроводность – это способность материалов проводить электрический ток [3]. Она обусловлена наличием в материалах свободных носителей заряда – электронов и/или ионов. Носители заряда перемещаются к по-

люсу с противоположенным зарядом под действием электрического поля. Соответственно, различают электронную и ионную проводимость (рисунок 1).

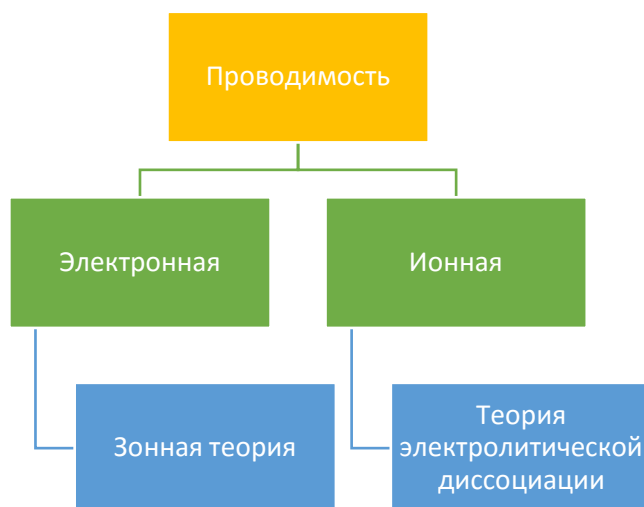


Рисунок 1 – Классификация проводимости и основание для описания

Физическая природа электронной проводимости твердых материалов на количественном уровне объясняется зонной теорией.

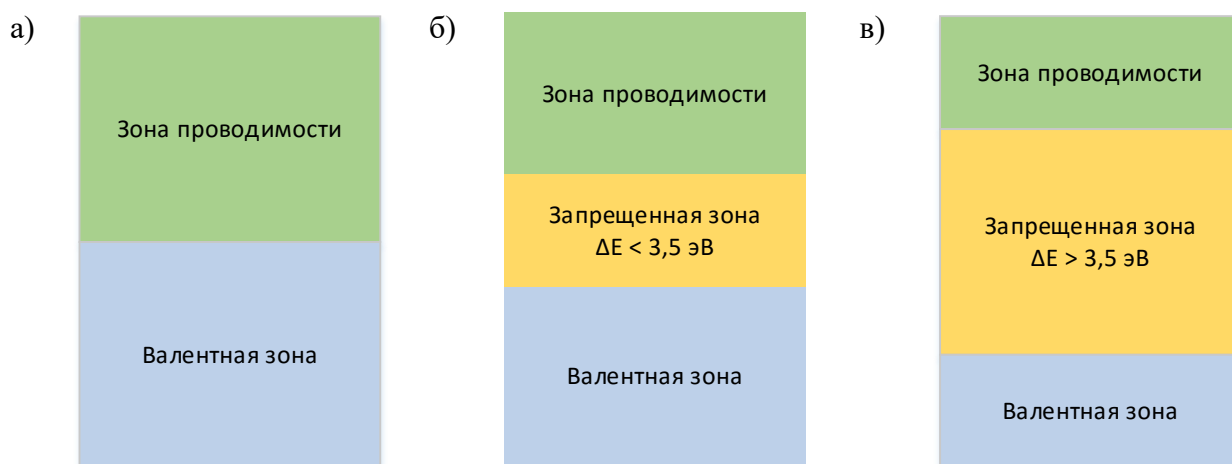


Рисунок 2 – Структура энергетических зон в проводниках (а), полупроводниках (б) и диэлектриках (в)

Согласно классификации, представленной на рисунке 2, материалы подразделяют на проводники, полупроводники и диэлектрики.

В проводниках внешние электроны атома свободно переходят в зону проводимости, т.е. становятся свободными носителями заряда.

В полупроводниках имеется запрещенная зона, для преодоления которой требуется подвод некоторого количества энергии, например, путём нагревания.

В диэлектриках ширина запрещённой зоны настолько велика, что нагревание до требуемой температуры привело бы к разрушению самого материала.

Теория электролитической диссоциации лежит в основе описания процесса ионной проводимости. В этом случае проводники называют электролитами. Электролиты могут быть как жидкими, так и твердыми (суперионники).

Электрическое сопротивление

При движении зарядов в веществе они испытывают сопротивление со стороны структурных элементов – частиц, из которых состоит вещество (атомов, молекул, ионов, электронов). Это свойство характеризует величина, называемая электрическим сопротивлением.

Таким образом, электрическое (омическое) сопротивление (R , Ом) – свойство материалов как проводников противодействовать электрическому току. Наличие омического сопротивления приводит к необратимому преобразованию электрической энергии в тепловую.

Экспериментальные исследования электрических свойств проводников основываются на законе Ома – закономерности, связывающей параметры тока и характеристики электрической цепи, впервые введенной Георгом Симоном Омом в 1826 г.

Сила тока прямо пропорциональна напряжению U и обратно пропорциональна сопротивлению R .

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

Каждый материал оказывает различное сопротивление электрическому току. Сопротивление проводника определяется из его характеристик: длины, площади сечения и материала из которого проводник изготовлен.

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2)$$

Длина l и площадь поперечного сечения S являются характеристиками формы проводника, а ρ характеризует вещество из которого он изготовлен.

ρ – называют удельным сопротивлением проводника.

Методы измерения электрического сопротивления

Для измерения сопротивления проводников, полупроводников и монокристаллических структур, пластин, диффузионных, эпитаксиальных и ионно-легированных слоев, составляющих часть полупроводников, применяют различные методы измерения. Выбор метода зависит от особенностей исследуемого материала, формы образца и особенностей метода измерений. Классификация методов представлена на рисунке 3.

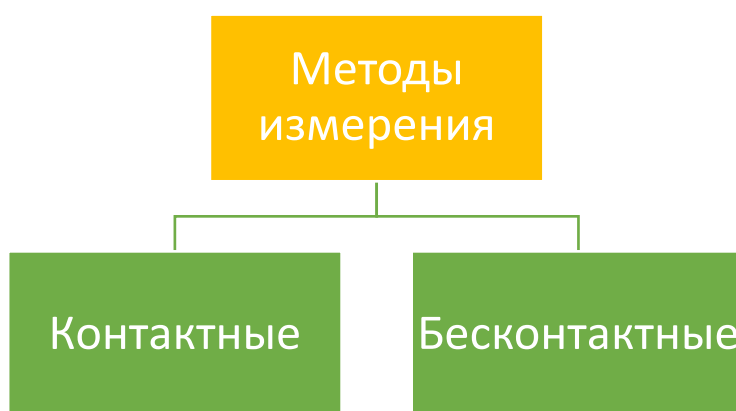


Рисунок 3 – Классификация методов измерения электрического сопротивления

Контактные методы

Наиболее распространенными являются контактные методы, в которых образец непосредственно подключен к контактам измерительных приборов или при помощи калибровочных проводов. Сопротивление образца должно во много раз превышать сопротивление контактов и калибровочных проводов, что сильно ограничивает применение этих методов.

Способ амперметра и вольтметра

Этот способ является наиболее простым и наименее точным. Существует две схемы включения приборов, представленные на рисунке 4.

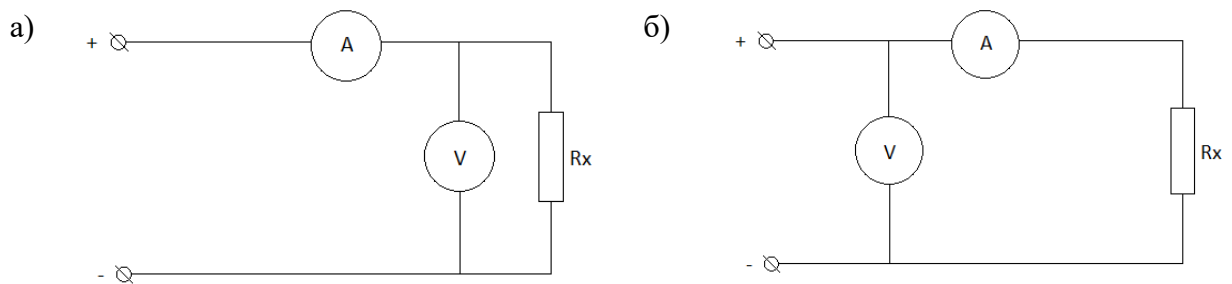


Рисунок 4 – Варианты включения вольтметра и амперметра

При измерении по схеме (а) напряжение измеряется правильно, но амперметр показывает сумму токов, протекающих через вольтметр и измеряемое сопротивление, а при использовании схемы (б) измерение напряжения является неверным, так как не учитывается падение напряжения на амперметре.

Схема (а) дает более точный результат при измерении малых сопротивлений, а схема (б) при измерении больших.

Сопротивление в обоих случаях рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{U}{I} \quad (3)$$

Где U и I показания вольтметра и амперметра соответственно.

Четырехзондовый метод

Этот метод является очень распространенным. Помимо того, что он обладает очень высокими метрологическими показателями, он так же не требует создания омических контактов к образцу. Схема включения приборов выглядит следующим образом (рисунок 5):

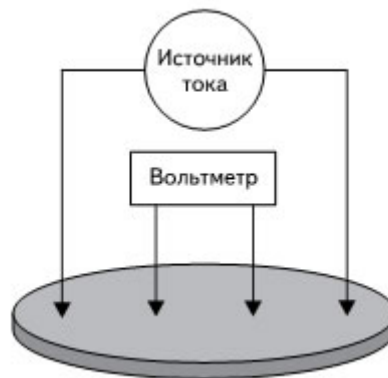


Рисунок 5 – Схема подключения при четырехзондовом методе

Схема состоит из источника тока, вольтметра, соединительных проводов и четырех зондов. Источник тока создает ток в цепи зондов, а вольтметр показывает падение напряжения на образце.

Во время измерений происходит снятие показаний с вольтметра.

Сопротивление вычисляется по следующей формуле:

$$R = \frac{U_{\text{обр}}}{I} \quad (4)$$

Где R – сопротивление образца, $U_{\text{обр}}$ – падение напряжения на образце, I – сила тока в цепи.

Бесконтактные методы

Применение бесконтактных методы измерения является целесообразным, когда сопротивление контактов соизмеримо с сопротивлением образца или невозможно установить надежный контакт.

Такими методами измеряют электросопротивление металлических порошков или спрессованных брикетов и других видов образцов, которые не обладают достаточной прочностью для создания контактов.

1.1.2 Термоэлектрические свойства

В настоящее время известно достаточно большое количество физических эффектов, в которых одно или несколько различных физических воздействий на материал вызывает в нём какой-либо специфический эффект. Реализация таких эффектов в материале обуславливает и наличие соответствующих свойств у него.

Эффект Зеебека

Эффект Зеебека – явление возникновения термо-ЭДС в замкнутой цепи, состоящей из разнородных проводников, подключенных последовательно. Для возникновения эффекта контакты между проводниками должны находиться при различных температурах. [3]

$$d\varphi = \alpha \cdot dT \quad (5)$$

где α – дифференциальная термо-ЭДС.

1.2 Комплекс для измерения электрического сопротивления

Для измерения электросопротивления в широком диапазоне температур в Межотраслевом центре высокотемпературных теплофизических исследований конденсированных материалов используется экспериментальный комплекс, структурная схема которого представлена на рисунке 6.

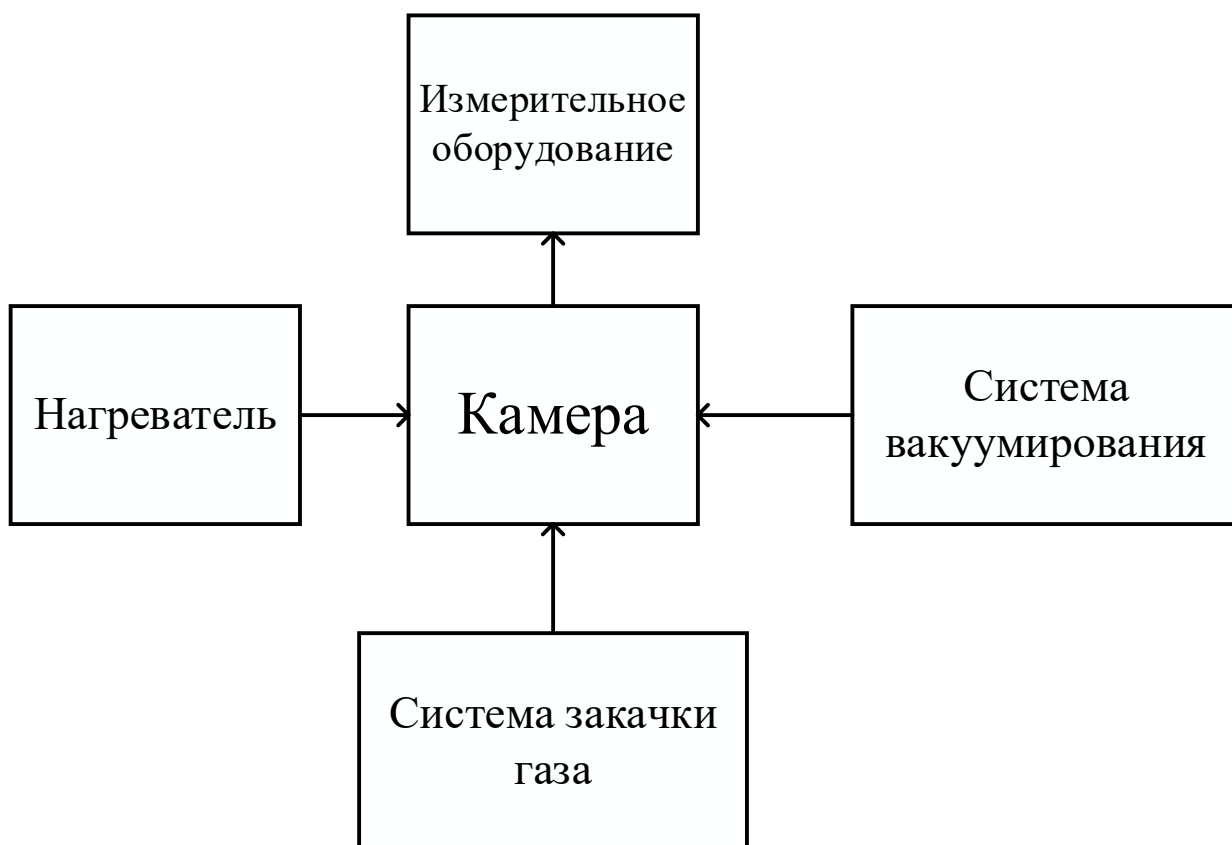


Рисунок 6 – Структурная схема комплекса для измерения электросопротивления в широком диапазоне температур

Комплекс включает в себя следующие компоненты:

1. Высокотемпературную камеру, в которой располагается исследуемый образец. В качестве образца могут выступать различные вещества и материалы произвольной формы.

2. Систему вакуумирования, необходимую для откачки воздуха из камеры. Данная система необходима для предотвращения окисления исследуемого образца при высоких температурах. Возможный вакуум, создаваемый в данной системой в камере может достигать 10^{-5} мм рт.ст.

3. Систему закачки газа, предназначенную для создания в камере избыточного давления. В качестве рабочих газов используются инертные газы, в частности гелий. Данная система может создавать давление до 5 атм. (3800 мм рт. ст.).

4. Нагреватель, используемый для нагрева исследуемого образца. Нагреватель представляет собой электрическую печь сопротивления косвенного действия. Нагревательный элемент изготовлен из молибдена. Возможная температура нагрева – 2000 К.

5. Измерительное оборудование, используемое для контроля исследуемых параметров – электрического сопротивления и температуры.

2 РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Для измерения электрического сопротивления в «Межотраслевом центре высокотемпературных теплофизических исследований конденсированных материалов» используется шестизондовый метод измерения. Данный метод представляет собой модификацию четырехзондового метода, в которой потенциальные зонды заменяются привариваемыми к образцу термопарными проводами ВР5/20. Таким образом, данный метод позволяет производить одновременное измерение температуры и падения напряжения на образце. Схема измерительной цепи представлена на рисунке 7.

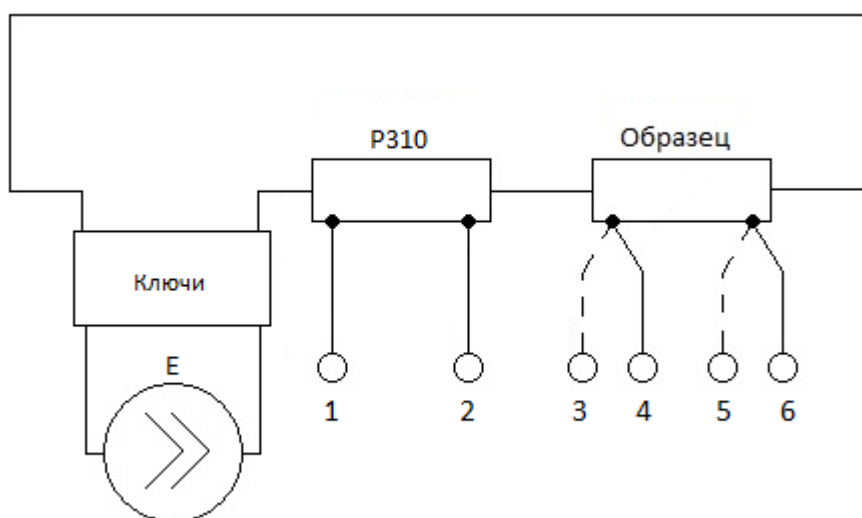


Рисунок 7 – Измерительная схема шестизондового метода

Измерение электрического сопротивления с использованием данной схемы происходит следующим образом. Источник тока E формирует ток в измерительной цепи. Аналоговые ключи коммутируют источник таким образом, что ток может течь как по часовой, так и против часовой стрелки. Разность потенциалов между контактами 1 и 2, подключенными к измерительной катушке сопротивления R_{310} для расчета тока в цепи. Разность потенциалов между термопарными проводами 3-4 и 5-6 соответственно измеряется

для определения температуры образца. На основе разность потенциалов между парой одинаковых проводов термопар, например, 3-5 или 4-6, определяется падение напряжения на образце.

Таким образом, на основе сопротивления измерительной катушки $R_{\text{изм.кат.}}$ и измеренного падения напряжения U_R вычисляется ток в цепи.

$$I = \frac{U_R}{R_{\text{изм.кат.}}} \quad (6)$$

Вычисление сопротивления образца $R_{\text{обр}}$ происходит с учетом измеренного падения напряжения на образце $U_{\text{обр}}$ и рассчитанного тока в цепи I .

$$R_{\text{обр}} = \frac{U_{\text{обр}}}{I} = \frac{U_{\text{обр}} \cdot R_{\text{изм.кат.}}}{U_R} \quad (7)$$

Для измерения электрического сопротивления в широком диапазоне температур требуется устройство, способное измерять напряжения в достаточно широком интервале - ± 20 мВ для измерения напряжения термопары и $\pm 1,5$ В для измерения падения напряжения на образцовом резисторе и исследуемом образце. При этом, для измерения температуры при помощи термопары, точность измерения не должна быть ниже 0,01 мВ.

В данном случае к устройству предъявляются следующие требования:

- возможность измерения четырех- или шестизондовым методом;
- возможность измерения напряжения в диапазоне ± 20 мВ;
- возможность измерения напряжения в диапазоне $\pm 1,5$ В;
- точность измерения не ниже 0,01 мВ;
- наличии стандартизированных интерфейсов (RS-232, RS-485, USB и др.) для подключения к другим устройствам системы;
- наличие открытого API или свободного ПО для работы с устройством.

По заданным критериям был произведён поиск устройств. Наиболее подходящим устройством оказался «измеритель универсальный прецизионный «В7-99» (рисунок 8) АО НПП «Эталон», являющегося одним из ведущих

отечественных производителей технических средств измерения температуры и метрологического оборудования для их поверки.



Рисунок 8 – Прибор «В7-99»

Данный прибор удовлетворяет практически всем установленным требованиям, но может измерять напряжение только в диапазоне ± 300 мВ. Данное ограничение не позволяет использовать его для измерения сопротивления четырехзондовым методом.

В связи с этим принято решение о самостоятельной разработке устройства для измерения электросопротивления и температуры.

2.1 Разработка аппаратного обеспечения

Основное назначение разрабатываемого устройства – измерение электрического сопротивления веществ и материалов в широком диапазоне температур. Устройство имеет четыре входных дифференциальных канала. К первому каналу подключаются потенциальные контакты образцово-катушки сопротивления. К двум каналам подключаются термопары, выступающие одновременно измерительными щупами для потенциальных контактов образца. Последний канал используется для измерения падения напряжения на измеряемом образце.

Для изготовления модуля были разработаны структурная и функциональная схемы устройства. В САПР (системе автоматизированного проекти-

рования) CircuitMaker, бесплатном аналоге САПР Altium Designer, после подбора компонентов была создана принципиальная электрическая схема устройства, а на её основе чертёж печатной платы [2].

Также в САПР CircuitMaker для изготовления принципиальной электрической схемы и макета печатной платы были созданы схемные библиотеки компонентов и посадочные места печатных плат [9].

2.1.1 Структурная схема

На рисунке 9 представлена структурная схема измерительного модуля. На ней представлены основные компоненты.

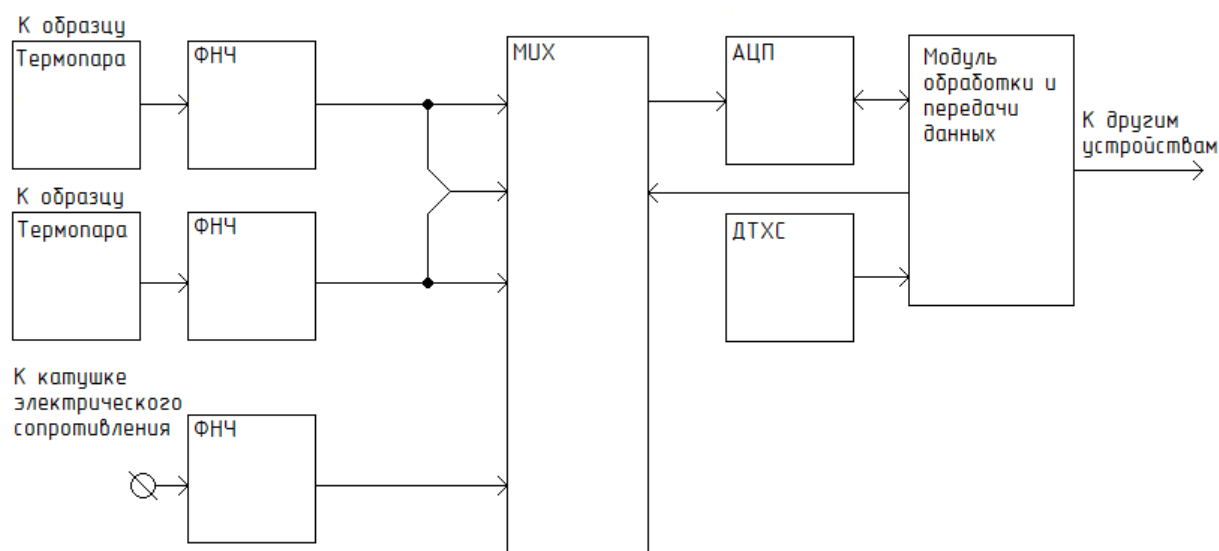


Рисунок 9 – Структурная схема устройства измерения температуры и электросопротивления

Через фильтры нижних частот (ФНЧ), фильтрующие шумы, измеряемое напряжение попадает на входы АЦП.

Датчик температуры холодных спаев (ДТХС) используется для определения температуры холодных спаев термопар и физически расположен рядом с ними.

Модуль обработки и передачи данных по своей сути является мостом между интерфейсами АЦП, датчика температуры холодных спаев и портом

USB, а также обладает возможностью промежуточной обработки данных или их мониторинга.

Данная структурная схема легла в основу для составления функциональной схемы устройства.

2.1.2 Функциональная схема

На рисунке 10 представлена функциональная схема измерительного устройства. При разработке функциональной схемы происходило уточнение и конкретизация структурной схемы устройства, а также подбирались компоненты и протоколы.

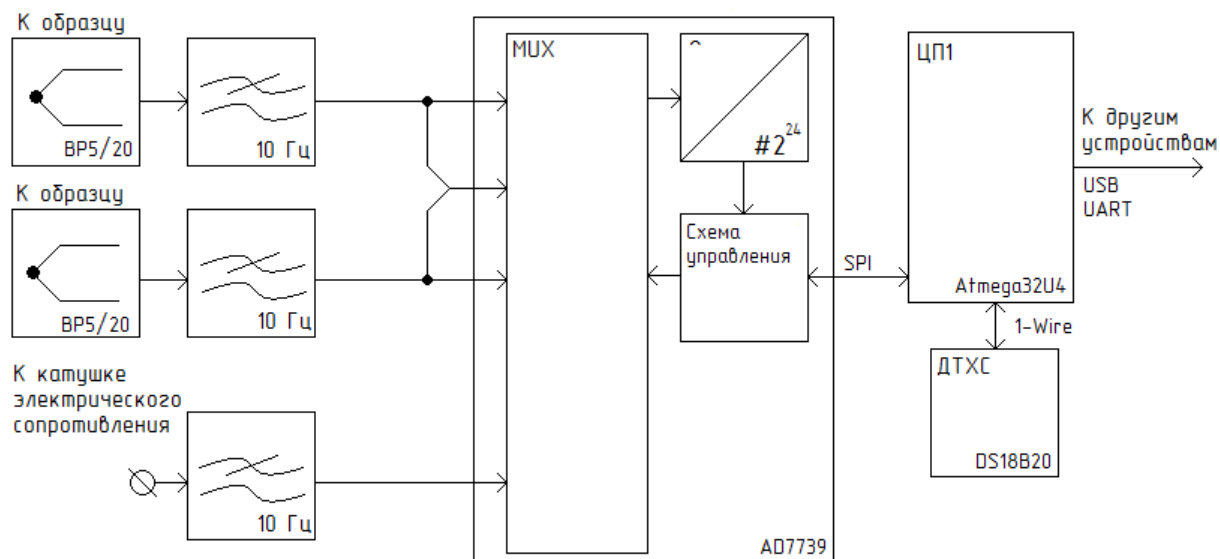


Рисунок 10 – Функциональная схема устройства измерения температуры и электросопротивления

2.1.3. Выбор компонентов и интерфейсов

AD7739

Для преобразования аналоговых значений в цифровые используется микросхема АЦП AD7739 компании Analog Device.

Выбор аналогово-цифрового преобразователя производился по следующим критериям:

- диапазон входных напряжений не менее 1,5 В;
- разрядность не менее 18 бит;
- 4 дифференциальных канала.

AD7739 включает в себя цифровую и аналоговую части. Аналоговая часть представляет собой управляемый аналоговый мультиплексор, коммутирующий напряжение с внешних входов микросхемы на буфер, предшествующий дифференциальным входам Σ - Δ АЦП. Цифровая часть представляет собой набор регистров для конфигурирования микросхемы и получения результатов измерения. Функциональная схема АЦП представлена на рисунке 11.

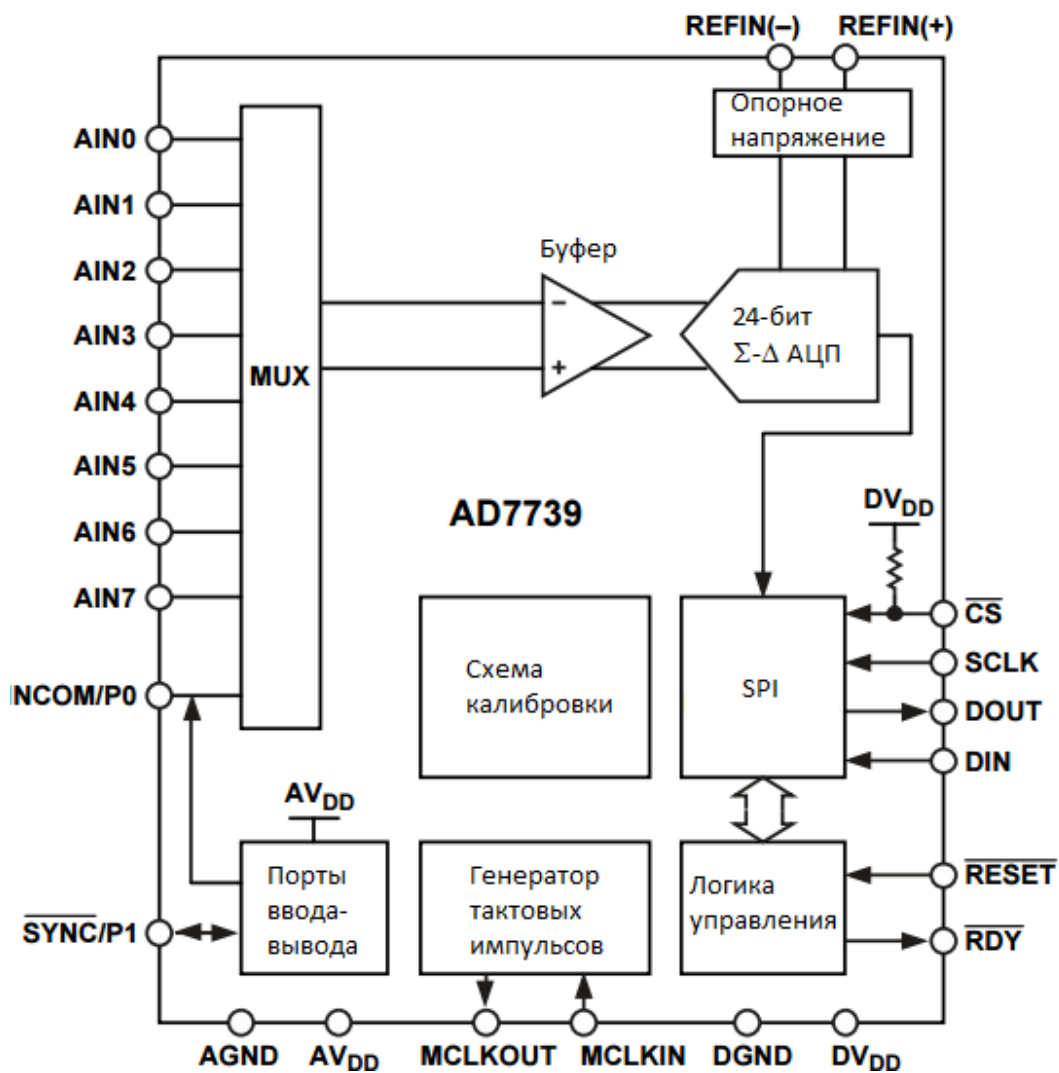


Рисунок 11 – Структурно-функциональная схема АЦП AD7739

Данная микросхема обладает следующими особенностями:

1. Высокое разрешение АЦП:
 - 24 бита;
 - $\pm 0,0015$ % нелинейности;
2. Оптимизирована для быстрого переключения каналов:
 - 21 бит эффективного разрешения при 500 Гц;
 - 19 бит эффективного разрешения при 4 КГц;
 - встроенная система индивидуальной калибровки каналов;
3. Конфигурируемые входы:
 - 8 ассиметричных или 4 симметричных (дифференциальных) входов;
4. Диапазоны входных напряжений:
 - +625 мВ, ± 625 мВ, +1.25 В, ± 1.25 В, +2.5 В, ± 2.5 В;
5. Трехпроводный последовательный интерфейс для подключения к управляющему устройству.
6. Напряжения питания:
 - питание цифровой части – 5 В;
 - питание аналоговой части – 3 В или 5 В.

DS18B20

Для измерения температуры холодных спаев используемых термопар был выбран цифровой термометр DS18B20 компании Maxim Integrated.

Данный цифровой термометр позволяет измерять температуру с точностью $\pm 0,5$ °С в диапазоне от -10 °С до +85 °С

Atmega32U4

Для управления устройством и его компонентами, передачи и обработки данных была выбрана однокристалльная микро-ЭВМ Atmega32U4 (ЦП1).

Данная микро-ЭВМ выбиралась по следующим критериям:

- тип процессора – 8-битный AVR;
- высокая частота процессора – не менее 16 МГц;
- достаточный объем программируемой памяти – не менее 16 КБ;

- достаточный объем оперативной памяти – не менее 1 КБ;
- поддержка протокола USB;
- поддержка UART;
- поддержка SPI;
- высокие температурные характеристики и наличие встроенного температурного сенсора;
- возможность внутрисистемного программирования;
- наличие свободных компиляторов для языка C и/или C++.

На данный момент на рынке программируемых однокристальных микро-ЭВМ наиболее популярными являются STMicroelectronics SMT32, Atmel AVR и Microchip PIC. В связи с опытом разработки под микро-ЭВМ компании Atmel, наличием для AVR открытого компилятора для языков C и C++ в качестве производителя микро-ЭВМ была выбрана компания Atmel.

На рисунке 12 представлен результат поиска с помощью параметрического фильтра на сайте компании Atmel. Результатом поиска стали однокристальные микро-ЭВМ семейств AT90USB, ATmegaU, ATXmega.

	More Info	(bits)	ADC Channels	DAC Channels	UART	SPI	TWI (I2C)	USB Interface
Total Devices: 608 Matching Results: 34 Clear Filters			≥ [] 3 3	≥ [] 0 0	≥ [] 0 0	≥ [] 0 1	≥ [] 0 0	Select All Clear All <input checked="" type="checkbox"/> Device <input checked="" type="checkbox"/> Device + OTG <input checked="" type="checkbox"/> Host, Device <input checked="" type="checkbox"/> USB HSIC <input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/>	AT90USB1286		28 [] 28	4 [] 4	10 [] 10	12 [] 12	8 [] 8	Device
<input type="checkbox"/>	AT90USB1287		28 [] 28	4 [] 4	10 [] 10	12 [] 12	8 [] 8	Device + OTG
<input type="checkbox"/>	AT90USB162		28 [] 28	4 [] 4	10 [] 10	12 [] 12	8 [] 8	Device
<input type="checkbox"/>	AT90USB646		28 [] 28	4 [] 4	10 [] 10	12 [] 12	8 [] 8	Device
<input type="checkbox"/>	AT90USB647		28 [] 28	4 [] 4	10 [] 10	12 [] 12	8 [] 8	Device + OTG

Рисунок 12 – Снимок экрана с отфильтрованными микро-ЭВМ

Семейство AT90USB является устаревшим, производитель не рекомендует использовать данные микро-ЭВМ. Микро-ЭВМ из семейства ATXmega превосходят по производительности все подходящие, но являются достаточ-

но дорогими. Поэтому, решено было выбрать микро-ЭВМ из семейства AtmegaU. Из данного семейства была выбрана однокристалльная микро-ЭВМ Atmega32U4 как наиболее доступная и подходящая под выдвигаемые требования.

Данная однокристалльная микро-ЭВМ обладает следующими характеристиками:

- RISC-архитектура;
- 32 КБ внутрисистемно-программируемой flash памяти;
- 1 КБ программируемой EEPROM;
- 2,5 КБ внутренней оперативной памяти SRAM;
- 10 000 циклов перезаписи flash памяти;
- отладочный интерфейс JTAG (совместимый со стандартом IEEE 1149.1);
- поддержка высокоскоростного и низкоскоростного режима USB 2.0 в качестве устройства;
- 8-битный UART;
- 8-битный SPI;
- тактовая частота до 16 МГц.

Atmega32U4 является 8-битной КМОП микро-ЭВМ с низким энергопотреблением, основанном на архитектуре RISC. Большинство инструкций процессора могут быть выполнены за один такт, что позволяет достичь скорости в 1 миллион инструкций в секунду на один мегагерц тактовой частоты [7].

Ядро AVR обладает богатым набором инструкций и имеет 32 РОНа. Все 32 РОНа напрямую соединены с АЛУ, что позволяет получить доступ к двум разным регистрам за одну инструкцию, которая выполнится за один такт. Итоговая архитектура гораздо более эффективна и достигает производительности в десять раз больше, чем у обычных CISC архитектур микро-ЭВМ.

На рисунке 13 представлена функциональная схема данной однокристалльной микро-ЭВМ.

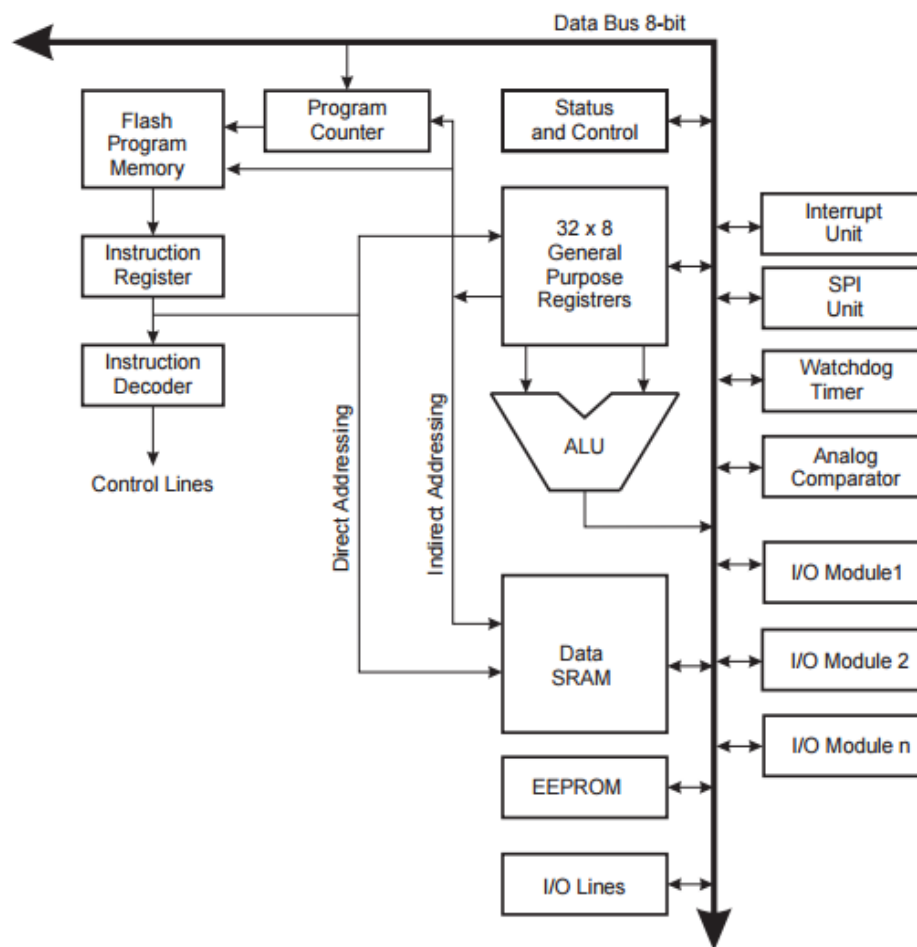


Рисунок 13 – Функциональная схема однокристалльной микро-ЭВМ

USB

В измерительном устройстве USB используется для передачи информации из микро-ЭВМ в персональный компьютер и обратно. На основе встроенного в микро-ЭВМ модуля USB реализовано устройство USB CDC [22]. Таким образом на хост-машине формируется виртуальный последовательный порт (для Windows – это COM порт, для Linux – новое символьное устройство /dev/ttyUSBn).

USB (Universal Serial Bus – универсальная последовательная шина) – последовательный интерфейс передачи данных для высокоскоростных и среднескоростных периферийных устройств в вычислительной технике.

USB – стандарт, разработанный в середине 90-х, который определяет кабели, разъёмы и протокол передачи данных, используемый в шине для соединения, связи и питания между персональным компьютером и электронным устройством [20].

USB был разработан, чтобы стандартизировать соединение компьютерной периферии к персональному компьютеру и одновременно обеспечивает связь с устройством и его питание. USB заменил множество ранних интерфейсов, таких как последовательный и параллельный порт, а также заменил отдельные зарядные устройства для портативных устройств.

Для подключения периферийных устройств к шине USB 2.0 используется четырехпроводный кабель, при этом два провода (витая пара) в дифференциальном включении используются для приёма и передачи данных, а два провода – для питания периферийного устройства. Благодаря встроенным линиям питания USB позволяет подключать периферийные устройства без собственного источника питания (максимальная сила тока, потребляемого устройством по линиям питания шины USB 2.0, не должна превышать 500 мА) [21].

UART

UART был выбран в качестве протокола передачи данных не случайно. Данный протокол встречается во многих устройствах, он может передавать данные с большой скоростью, и благодаря наличию встроенного в однокристалльную микро-ЭВМ передатчика, передача не отнимает процессорного времени, так как начала и конец передачи могут вызывать прерывания.

UART (универсальный асинхронный приёмопередатчик – УАПП) – это аппаратное средство, которое переводит информацию из параллельной формы в последовательную и обратно. UART обычно используются вместе с такими стандартами связи как EIA, RS-232, RS-422 или RS-485. Слово универсальный в названии означает то, что формат передачи и скорости передачи являются настраиваемыми параметрами. Уровни электрического сигнала и методы (например, дифференциальная пара) передачи данных управляются внешними по отношению к UART цепями.

Универсальный асинхронный приемопередатчик берёт байт данных и последовательно передаёт биты. На стороне получателя другой UART собирает биты в целый байт данных. Каждый UART содержит сдвиговый регистр, который является основным методом перевода последовательного кода в параллельный. Последовательная передача цифровой информации (бит) по одному проводнику (или в другой среде) является менее затратной, чем параллельная передача по нескольким проводникам [13].

UART обычно не принимает и не передаёт данные напрямую между устройствами. Обычно, для этого используются отдельные интерфейсные устройства, которые переводят логические уровни сигнала UART в и из уровней внешних сигналов. Внешние сигналы могут быть различной формы. Примеров стандартов являются RS-232, RS-422 и RS-485 от EIA (Electronics Industries Alliance – Альянс отраслей электронной промышленности). Исторически для передачи данных использовались токовые петли. Некоторые схемы передачи не используют проводники. Примерами таких схем являются оптоволоконно, инфракрасный порт и Bluetooth в режиме последовательного порта (Serial Port Profile – SPP). Некоторые схемы используют модуляцию. Примером является модуляция аудио сигнала в телефонной линии модема, радиочастотная модуляция в цифровых радио и другие.

Передача может быть симплексной (передача только в одном), полный дуплекс (оба устройства передают и отправляют информацию в одно и то же время) и полудуплекс (устройства передают очередь друг другу) [14].

Протокол UART является стандартом асинхронной последовательной передачи данных. Формат пакета определён как стартовый бит, за которым идут от пяти до девяти бит данных, один бит чётности (опционален) и один (или два) бита останова. Порядок бит при передаче данных от младшего к старшему. Формат одного кадра (пакета) приведён на рисунке 14.

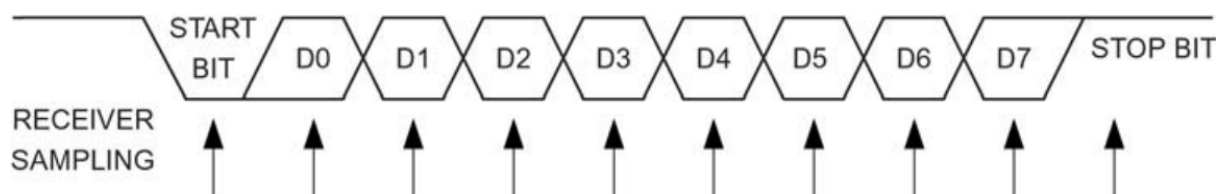


Рисунок 14 – Формат пакета (кадра) данных UART

В режиме ожидания, когда данные не передаются, принято держать линию под напряжением. Это историческое наследие, пришедшее от телеграфа, в котором линия держалась под напряжением, чтобы показать, что ни линия, ни передатчик не повреждены. Каждый символ начинается со стартового бита (логический ноль), изменяемого количества информационных бит (обычно 8, но пользователь может выбрать от пяти до 9 бит в зависимости от того, какой УАПП используется), необязательного бита чётности и завершается одним или несколькими стоповыми битами (логическая единица).

Стартовый бит сигнализирует получателю о приходе нового символа. Следующие пять-девять бит, в зависимости от выбранной кодировки, представляют собой символ. Если используется бит чётности, то он будет передан за всеми битами информации. Следующие один или два бита всегда находятся в состоянии логической единицы и называются стоповыми битами. Они сигнализируют приёмнику о конце передачи символа. Так как стартовый бит всегда логический ноль, а стоповый бит всегда логическая единица, то за один символ будет гарантирована минимум две смены уровня сигнала.

Если линия держится в состоянии логического нуля дольше, чем время передачи одного символа, это означает разрыв связи, который может быть определён УАПП [19].

SPI

SPI (Serial Peripheral Interface – последовательный периферийный интерфейс) – стандарт последовательной синхронной передачи данных, обеспечивающий высокоскоростное подключение микропроцессорных устройств и периферии.

В отличие от УАПП, SPI является синхронным интерфейсом, в котором любая передача данных синхронизирована с тактовым сигналом, генерируемым микро-ЭВМ или другим ведущим устройством.

В SPI используются четыре цифровых сигнала:

MOSI – выход ведущего, вход ведомого (англ. Master Out Slave In). Служит для передачи данных от ведущего устройства ведомому.

MISO – вход ведущего, выход ведомого (англ. Master In Slave Out). Служит для передачи данных от ведомого устройства ведущему.

SCLK – последовательный тактовый сигнал (англ. Serial Clock). Служит для передачи тактового сигнала для ведомых устройств.

CS или SS – выбор микросхемы, выбор ведомого (англ. Chip Select, Slave Select).

Существует 4 режима работы интерфейса SPI (рисунок 15), отличающихся фазой (Ф или CPHA) и полярностью (П или CPOL) сигнала тактирования относительно сигналов данных.

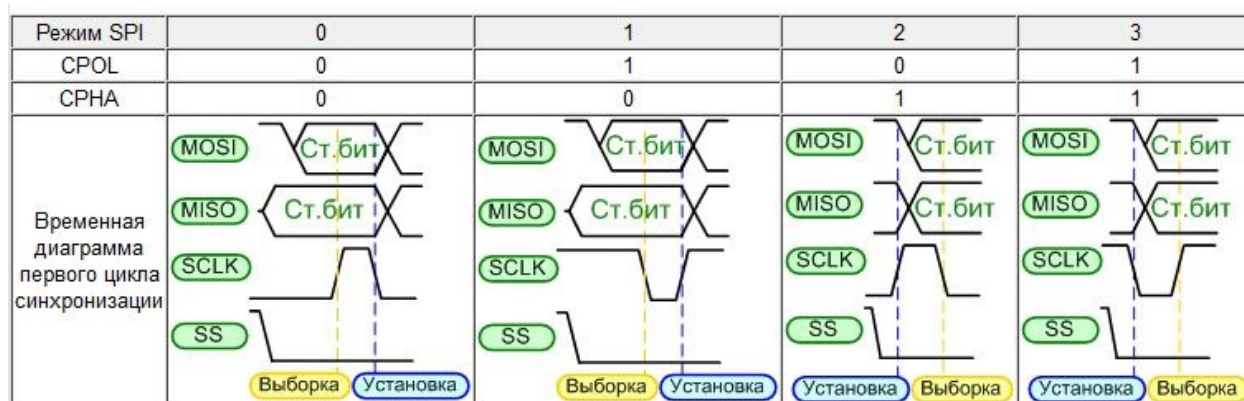


Рисунок 15 – Режимы работы интерфейса SPI

Режим работы определяется комбинацией бит Ф и П:

- П = 0 – сигнал синхронизации начинается с низкого уровня;
- П = 1 – сигнал синхронизации начинается с высокого уровня;
- Ф = 0 – выборка данных производится по переднему фронту сигнала синхронизации;
- Ф = 1 – выборка данных производится по заднему фронту сигнала синхронизации.

В разрабатываемом модуле SPI используется для связи микро-ЭВМ и АЦП.

1-Wire

В измерительном устройстве данный интерфейс используется для связи с цифровым термометром.

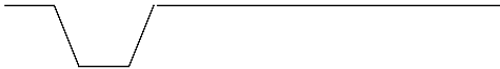

1-Wire – двунаправленная последовательная шина связи, разработанная компанией Dallas Semiconductor для устройств с низкой скоростью передачи


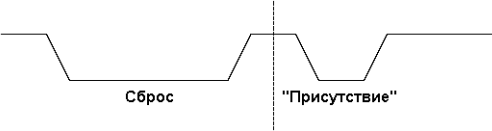
данных, обычно составляющей 15,4 Кбит/с [8]. Данные передаются по цепи питания, т.е. всего используется два провода – один для питания и передачи данных, а второй для заземления.

Ведущий инициирует каждую связь на битном уровне. Это означает, что передача каждого бита, независимо от направления, должна быть инициирована ведущим. Это достигается установкой низкого уровня на шине, который синхронизирует логику всех остальных устройств. Существует 5 основных команд для связи по шине 1-Wire: «Запись лог. 1», «Запись лог. 0», «Чтение», «Сброс» и «Присутствие». Временные диаграммы этих команд представлены в таблице 1.

Временные характеристики сигналов при передаче установлены заранее. Передача сигналов по шине 1-Wire разделена на временные слоты длительностью 60 мкс. Одним временным слотом передается только один бит данных. Подчиненным устройствам допускается иметь существенные отличия от номинальных выдержек времени. Однако это требует более точного отсчета времени ведущим, чтобы гарантировать корректность связи с подчиненными, у которых различаются временные базисы. Таким образом, следует в точности выдерживать временные границы, рассматриваемые в следующих разделах [15].

Таблица 1 – Временные характеристики шины 1-Wire

Сигнал	Временная диаграмма	Описание
1	2	3
Запись лог. 1		Ведущий устанавливает низкий уровень в течение 1–15 мкс. После этого, в течение оставшейся части временного слота он освобождает шину.
Запись лог. 0		Ведущий устанавливает низкий уровень в течение 60–120 мкс.

1	2	3
Чтение		<p>Ведущий устанавливает низкий уровень в течение 1–15 мкс. После этого подчиненный удерживает шину в низком состоянии, если желает передать лог. 0. Если необходимо передать лог. 1, то он просто освобождает линию.</p>
Сброс/Присутствие		<p>Ведущий устанавливает низкий уровень в течение 8 временных слотов (480 мкс), а затем освобождает шину. Если на шине присутствует подчиненный, то он должен в течение 60 мкс после освобождения ведущим шины установить низкий уровень длительностью не менее 60 мкс.</p>

2.1.4 Принципиальная электрическая схема

После разработки функциональной схемы и подбора компонентов была разработана принципиальная электрическая схема.

Принципиальная схема разрабатывалась при помощи САПР CircuitMaker. Данный продукт был выбран, т.к. он позволяет производить сквозное проектирование электронных устройств – с помощью него можно создать весь пакет документов, необходимых в соответствии с Единой системой конструкторской документации: от принципиальной электрической схемы и чертежа печатной платы до спецификации и сборочного чертежа. Так же он позволяет сгенерировать файлы, необходимые для производства.

Нельзя не упомянуть о том, что продукт является бесплатным, а также напрямую работает с облачными сервисами и содержит встроенную систему контроля версий. В ходе разработки были созданы стандартные библиотеки необходимых компонентов.

Принципиальные схемы разделены на три логические части: питание компонентов, входные каскады дифференциальных каналов и основная схема. На рисунке 16 представлена схема питания.

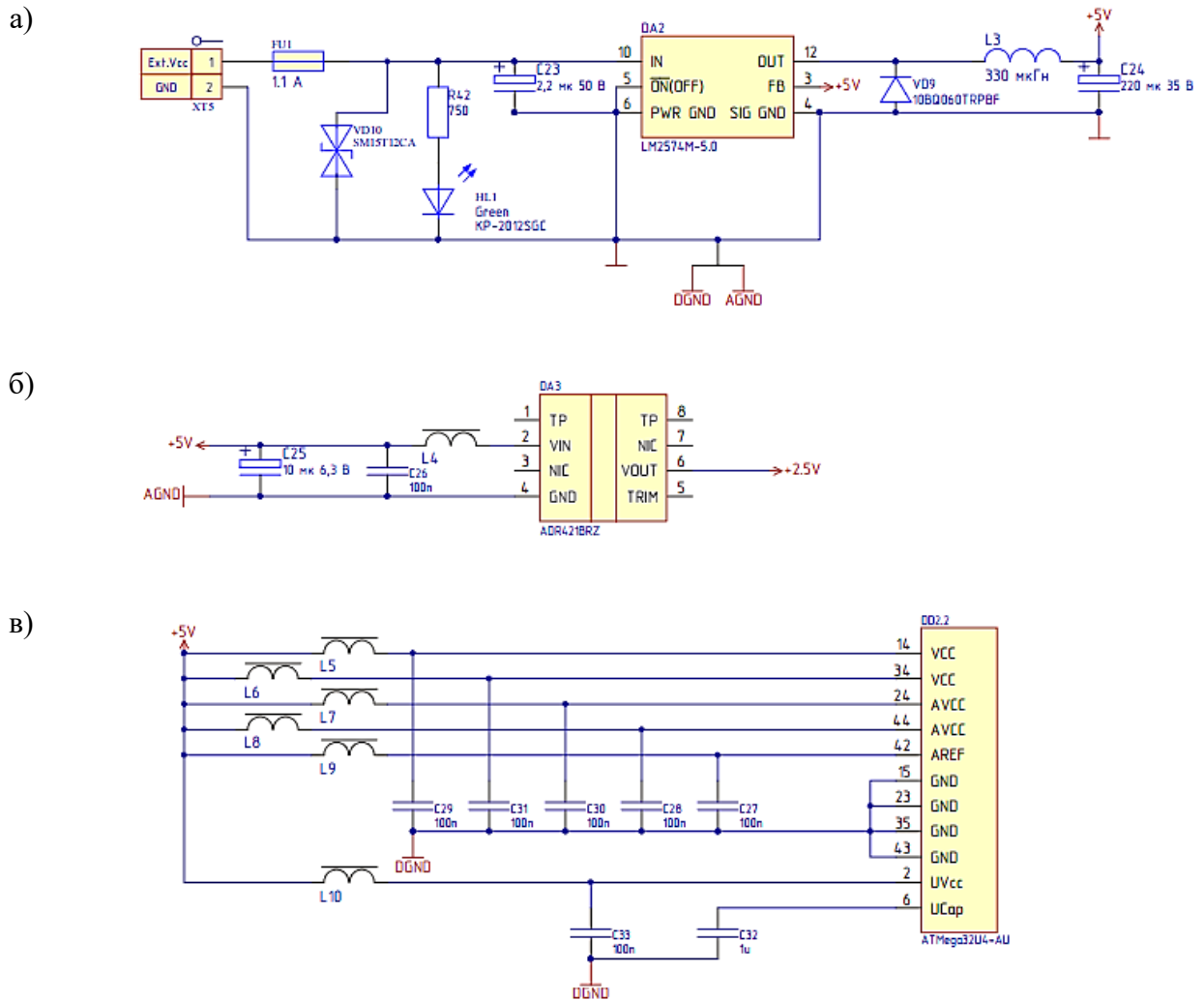


Рисунок 16 – Принципиальная электрическая схема. Схема блока питания(а), источника опорного напряжения (б) и питания микро-ЭВМ (в)

Питание в диапазоне от 7 до 30 В подаётся от внешнего источника на разъём XT5. Через предохранитель FU1 питание подаётся на понижающий

DC-DC преобразователь LM2574M-5.0, который понижает напряжение до 5 В [4]. Индикатор HL1 показывает наличие питания от внешнего источника.

Питание в 5 В с микросхемы LM2574M-5.0 подаётся на четыре устройства: однокристалльную микро-ЭВМ Atmega32U4 (DD2), аналогово-цифровой преобразователь AD7739 (DD1), источник опорного напряжения ADR421 (DA3) и цифровой термометр DS18B20 (DA1). Некоторые устройства, такие как ИОН [5] и АЦП [6], требуют дополнительной электрической обвязки в виде конденсаторов для понижения шума на линии питания.

На рисунке 17 представлена принципиальная электрическая схема входного каскада дифференциального канала. Входной каскад снабжен RC-фильтром нижних частот (R5-C1-C3-C5-R9), рассчитанным на 10 Гц. Предусмотрена защита от перенапряжения, обеспечиваемая диодными сборками BAV199 (VD1, VD3), а также защита по току (R7, R11).

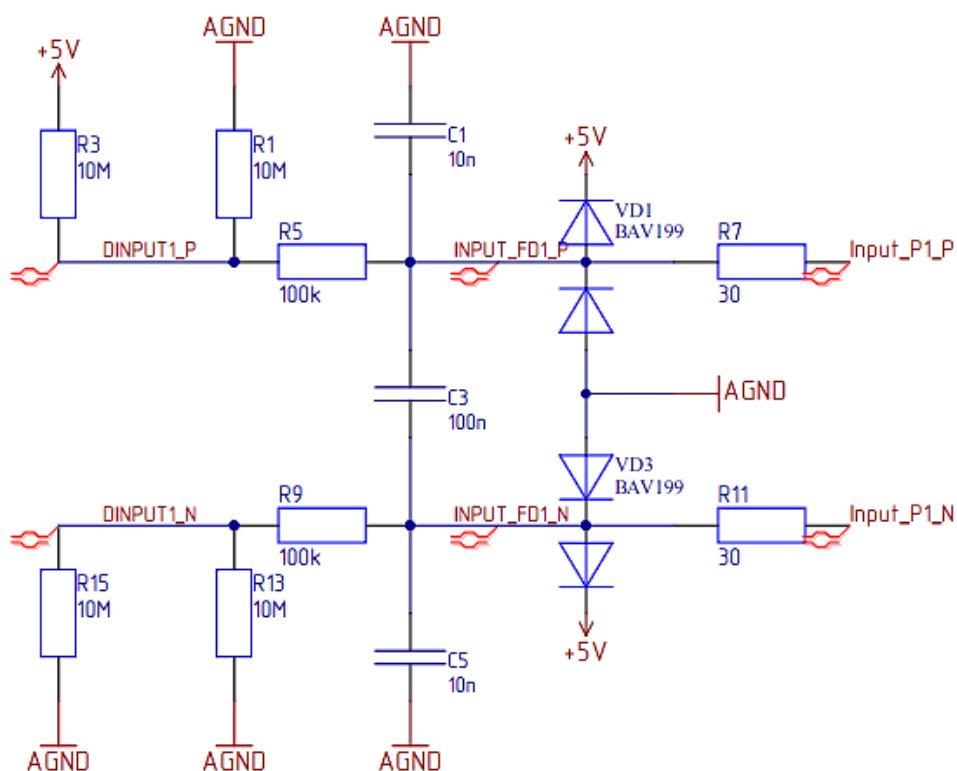


Рисунок 17 – Принципиальная электрическая схема. Входной каскад дифференциального канала

На рисунке 18 изображена основная принципиальная электрическая схема устройства. Однокристалльная микро-ЭВМ Atmega32U4 является цен-

тральной частью модуля. Она соединена с микросхемой АЦП через четыре вывода, которые формируются встроенным SPI-контроллером. Также к разъему USB2.0-B (XS2) подключены 4 вывода (UVCC, UGND, D-, D+) однокристалльной микро-ЭВМ. Данные выводы относятся к встроенному в микро-ЭВМ модулю USB. Цифровой термометр DS18B20 (DA1) подключен к выводу PD4 порта D. Взаимодействие с ним, т.е. реализация протокола 1-Wire, выполняется на программном уровне, т.к. Atmega32U4 не содержит аппаратного модуля 1-Wire, а модуль UART используется для других целей.

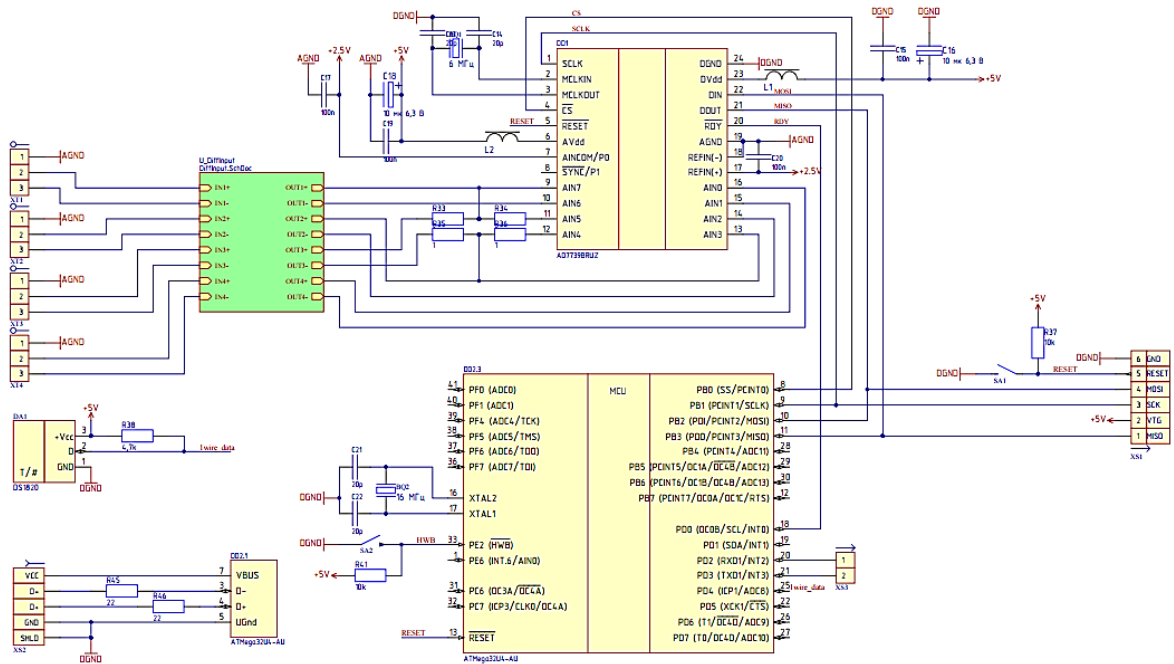


Рисунок 18 – Принципиальная электрическая схема. Основная схема

2.1.5 Документация для изготовления печатной платы

Чертёж печатной платы

На основе принципиальной электрической схемы был разработан чертёж печатной платы. Он представлен на рисунках 19 и 20.

Несмотря на хорошее качество разработки, было предположено, что устройство сопряжения потребует аппаратной отладки. В связи с этим было принято решение об изготовлении печатной платы средней плотности, аппа-

ратная отладка которой не вызвала бы больших проблем. Печатная плата прототипа устройства была заказана на производстве.

Размеры разработанной печатной платы составили 91×102 мм. Печатная плата включает в себя 2 слоя, соединенных металлизированными переходными отверстиями. На плату нанесена маска и шелкография.

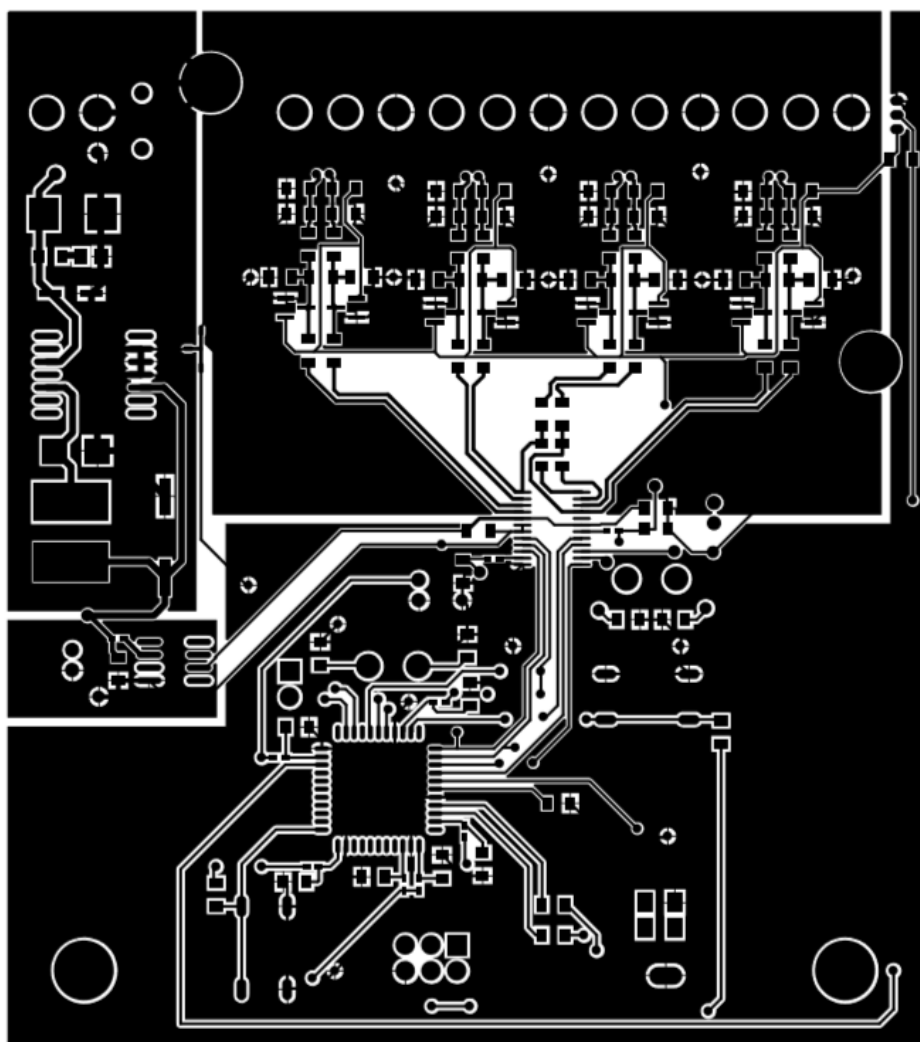


Рисунок 19 – Чертеж печатной платы. Верхний слой

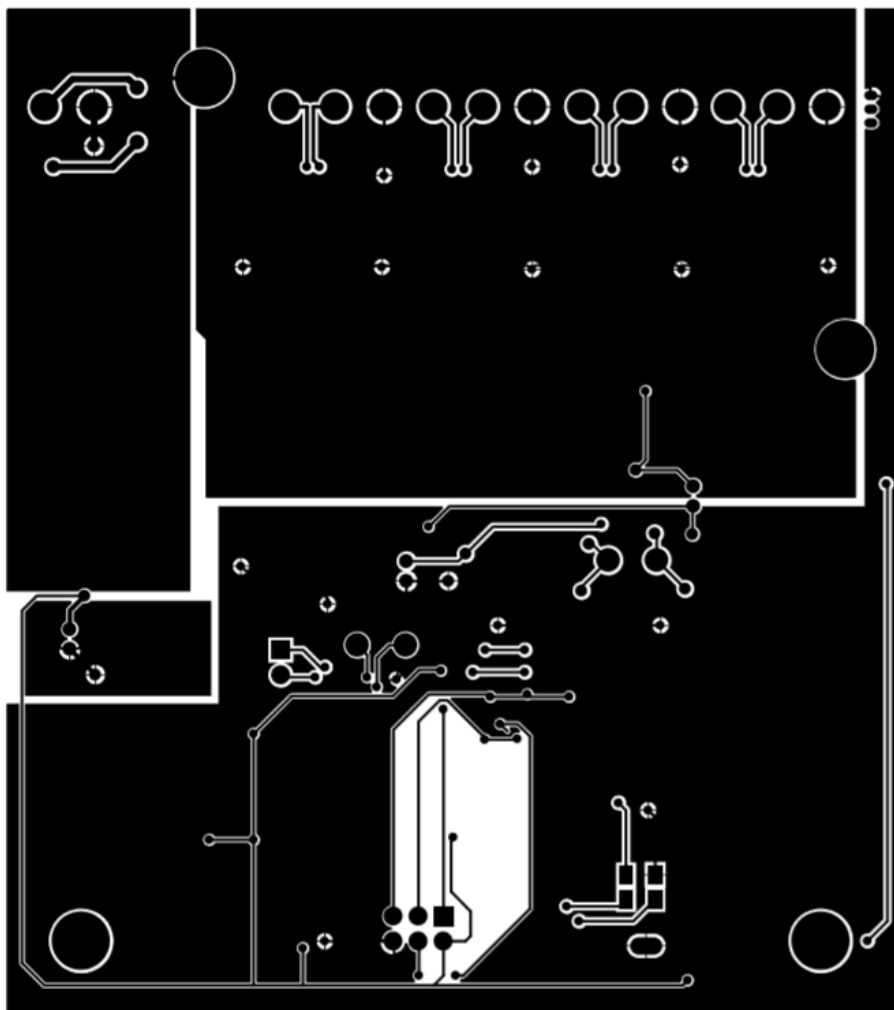


Рисунок 20 – Чертёж печатной платы. Нижний слой

В дальнейшем, после аппаратной отладки, планируется разработка печатной платы высокой плотности и её изготовление.

Перечень компонентов

Перечень компонентов, необходимых для сборки устройства, представлен в приложении А.

Сборочный чертёж

Для сборки устройства в соответствии с ЕСКД разрабатывается сборочный чертёж. Он представлен на рисунке 21.

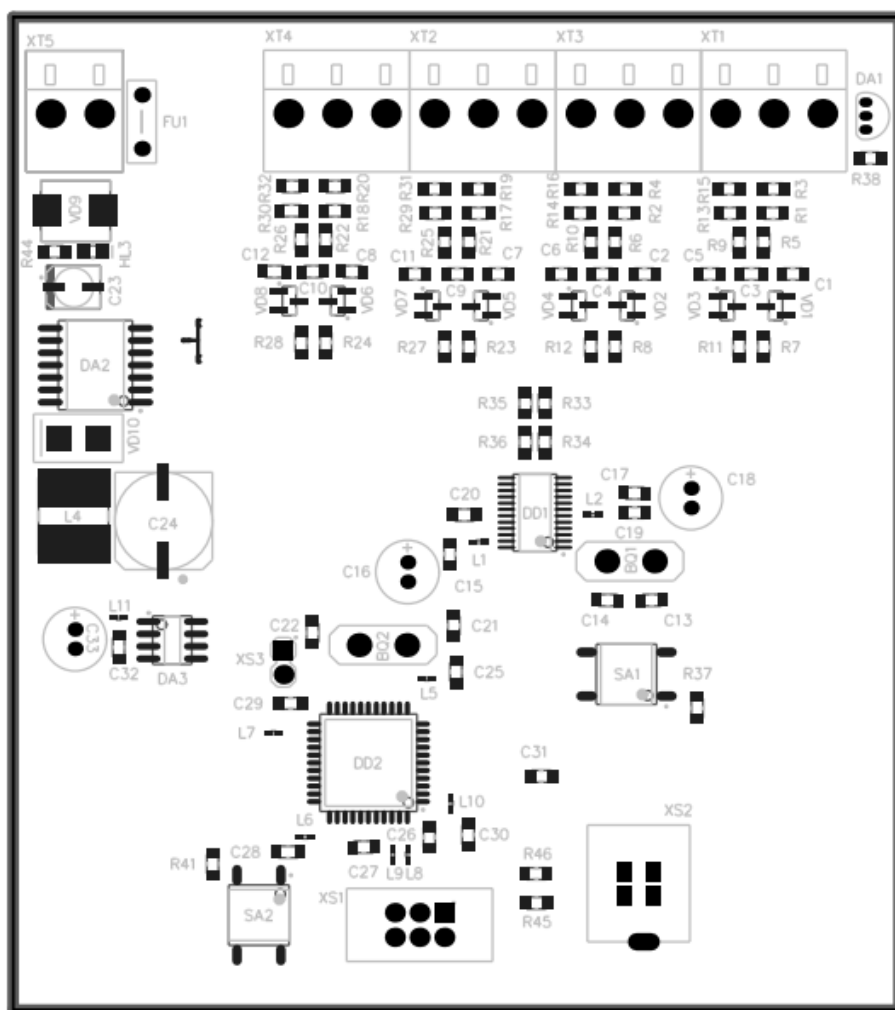


Рисунок 21 – Сборочный чертёж

2.3 Разработка программного обеспечения

При написании программного обеспечения для устройства было разработано несколько высокоуровневых библиотек – так называемых драйверов периферийных устройств. Библиотеки были созданы для того, чтобы обеспечить простоту и читаемость кода основной программы.

Драйвер для встроенного в микро-ЭВМ модуля SPI (приложение 3) состоит из функции инициализации, функций отправки и одновременной отправки и приёма байта. Данный драйвер является вспомогательным и использовался для написания драйвера АЦП AD7739.

Драйвер АЦП AD7739 (приложение 4) состоит из двух заголовочных и одного файла исходного кода. В заголовочном файле `ad7739_addr_comm.h` содержатся названия и адреса регистров микросхемы, названия битов в регистрах и их порядковые номера, а также макросы, облегчающие правильное конфигурирование АЦП. Данный файл является вспомогательным, его содержимое используется в основном коде драйвера. Драйвер включает в себя функции инициализации, сброса, чтения и записи из регистров АЦП, а также функции системной и поканальной калибровки нуля и полного значения. Основной функцией в драйвере является `uint32_t ad7739SingleConversion(uint8_t channel)`. Данная функция в качестве параметра принимает номер канала, на котором необходимо произвести измерение, и возвращает значение, считанное АЦП с данного канала.

2.3.1 Используемые инструменты разработки

Для разработки программы (прошивки) для контроллера использовались различные инструменты, в том числе и свободные с открытым исходным кодом. К ним относятся интегрированная среда разработки (IDE) Atmel Studio 7.0 [11], использующая компилятор GCC [17], изменённый для работы с RISC архитектурой и ядром AVR, программы для прошивки микро-ЭВМ `avrdude`, Atmel Flip [16], библиотеку USB LUFA [18].

Atmel Studio – это IDE для разработки и отладки программ под микро-ЭВМ Atmel SMART с архитектурой ARM и Atmel AVR с архитектурой AVR-8 и AVR-32. IDE обеспечивает легкое написание, сборку и отладку программ, написанных на C/C++ или ассемблере. В качестве компилятора в Atmel Studio используется GCC.

GCC является свободным программным обеспечением, распространяется фондом свободного программного обеспечения на условиях GNU GPL и GNU LGPL и является ключевым компонентом GNU toolchain. Он использу-

ется как стандартный компилятор для свободных UNIX-подобных операционных систем [17].

Изначально названный GNU C Compiler поддерживал только язык Си. Позднее GCC был расширен для компиляции исходных кодов на таких языках программирования как C++, Objective-C, Java, Фортран и Ada. Версия компилятора под ядро AVR поддерживает языки C, C++, Assembly.

Есть несколько способов прошивки микро-ЭВМ: высоковольтное программирование, программирование через любой порт с использованием загрузочного кода, программирование через интерфейс JTAG, программирование через интерфейс SPI.

Для прошивки бинарных файлов в микро-ЭВМ использовалось два программных продукта.

При программировании через SPI использовалась программа Avrdude. Основные достоинства данной программы – простота конфигурирования, возможность использовать множество различных программаторов, простота использования.

Для прошивки через интерфейс USB использовалась программа Atmel Flip. Данная программа свободно распространяется компанией Atmel и используется для прошивки микро-ЭВМ, содержащие загрузчик типа DFU [23].

Для работы со встроенным в микро-ЭВМ модулем USB была использована свободно распространяемая библиотека с открытым исходным кодом – LUFA (Lightweight USB Framework for AVR) – легковесный USB фреймворк для AVR) [18]. Данная библиотека поставляется с множеством примеров демонстрационных программ, показывающих, как использовать библиотеку. Среди них встречается пример, реализующий USB устройство виртуального последовательного порта, который и был взят за основу проекта.

2.4 Разработка методического обеспечения

При работе с измерительным устройством требуются определенные навыки и умения. Для их формирования было разработано методическое обеспечение лабораторной работы, включающее в себя наглядную схему, методические указания выполнению лабораторной работы с технологической картой и листы рабочей тетради.

Разработанное методическое обеспечение можно использовать для формирования профессиональных компетенций у обучающихся по профессии 240100.01 «Лаборант по физико-механическим испытаниям». Методическое обеспечение может применяться при проведении лабораторных работ в рамках МДК.03.01. «Технология выполнения физико-механических испытаний» профессионального модуля ПМ.03 «Выполнение физико-механических испытаний на лабораторном оборудовании». Кроме того, средства наглядности и технологическая карта лабораторной работы могут быть использованы научным персоналом, обслуживающим разработанное техническое обеспечение.

Лабораторная работа рассчитана на 4 академических часа. В рамках лабораторной работы обучающиеся визуально оценивают целостность устройства, производят подготовку устройства к проведению измерений, настраивают необходимое программное обеспечение и производят измерение удельного сопротивления металлического образца, оформляют отчет о проделанной работе и отвечают на контрольные вопросы.

Предполагаемый ход проведения лабораторной работы представлен в таблице 2.

Таблица 2 – План лабораторной работы

Структурный элемент лабораторной работы	План деятельности педагога	План деятельности обучающихся	Время этапа лабораторной работы, мин.	Кол-во обучающихся задействованных на этапе урока, чел..
1. Организация начала лабораторной работы	Приветствует обучающихся Проверяет присутствующих	Приветствуют педагога. Отмечают присутствие	3	25
2. Постановка темы и целей лабораторной работы	Сообщает тему лабораторной работы. Формулирует цели лабораторной работы.	Записывают тему и цели лабораторной работы	5	25
3. Актуализация опорных знаний	Актуализирует знания. Используемые средства обучения: средства наглядности	Вспоминают пройденный материал, по желанию – делают записи.	10	25
4. Проведение лабораторных испытаний	Формулирует задание. Содержание задания: проведение измерений удельного электрического сопротивления с использованием программно-аппаратного комплекса Используемые средства обучения: методические указания к выполнению лабораторной работы	Выполняют задание согласно методическим указаниям. Оформляют отчёт о проделанной работе.	70	25
5. Подведение итогов лабораторной работы	Подводит итоги занятия. Выдает домашнее задание. Д/З: заполнить листы рабочей тетради	Получают домашнее задание. Задают уточняющие вопросы.	5	25

2.5.1 Средства наглядности

Для актуализации опорных знаний разработано средство наглядности, представляющее собой схему (рисунок 22). На схеме представлены основные понятия, необходимые для выполнения лабораторной работы.



Рисунок 22 – Наглядная схема проведения испытаний

2.5.2 Методические указания

Тема: Проведение испытаний по определению удельного электрического сопротивления конденсированных материалов.

Цель: формирование навыков работы с цифровым измерительным оборудованием. Освоение четырёхзондового метода измерения удельного электрического сопротивления.

МТО: персональный компьютер с установленной операционной системой Windows, программно-аппаратный комплекс для измерения удельного электрического сопротивления.

Задание: проведение измерений удельного электрического сопротивления с использованием программно-аппаратного комплекса для измерения удельного электрического сопротивления.

Основные сведения:

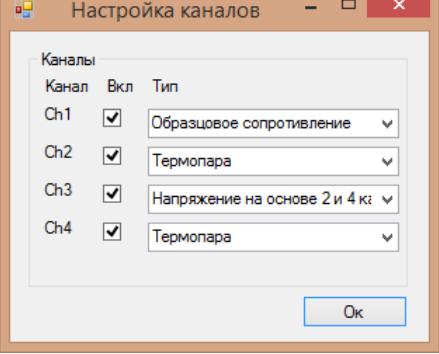
Данная лабораторная работа описывает подготовку к проведению электрических измерений, а также сам процесс измерений и обработку полученных результатов.

Программно-аппаратный комплекс для измерения удельного электрического сопротивления представляет собой совокупность дифференциально-четырёхканального измерительного прибора, оснащенного интерфейсом USB 2.0 для подключения к персональному компьютеру (ПК), а также программного обеспечения (ПО), позволяющего управлять измерительным прибором, отслеживать его состояние, сохранять и представлять в наглядной форме измеренные значения.

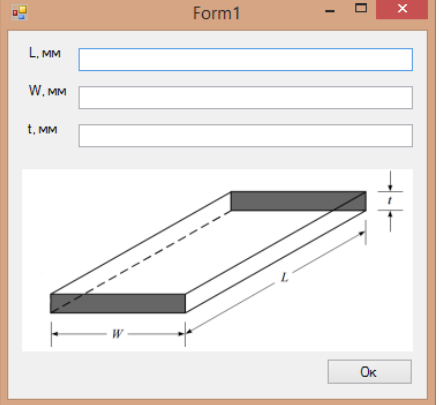
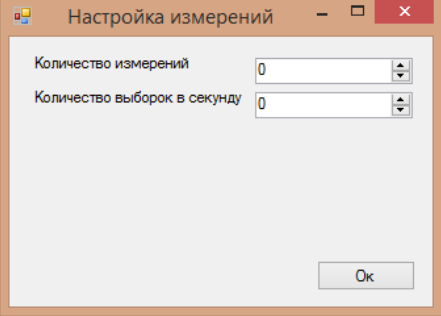
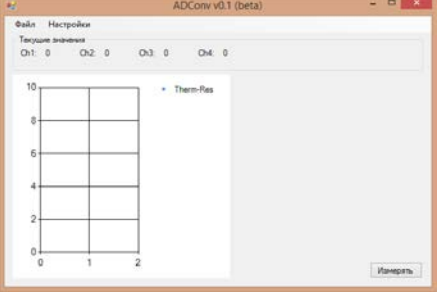
Таблица 3 – Технологическая карта лабораторной работы

Название операции	Способы выполнения	Контроль выполнения
1	2	3
1. Проверка оборудования	<p>1.1. Произвести визуальный осмотр измерительного оборудования</p> <p>1.1.1. Проверить целостность всех разъёмов</p> <p>1.1.2. Проверить целостность измерительных проводов</p> <p>1.2.</p>	
	<p>1.2.1. Проверить целостность шнура питания</p> <p>1.2.2. Проверить целостность шнура USB</p> <p>В случае обнаружения каких-либо визуальных повреждений обратиться к преподавателю</p>	
2. Подготовка оборудования к проведению испытаний	<p>2.1. Подключение измерительных проводов к прибору</p> <p>2.1.1. Подключить потенциальные провода образцового резистора к первому дифференциальному каналу измерительного устройства</p>	<p>Потенциальные провода образцового резистора подключены к первому дифф. каналу.</p>

Продолжение таблицы 3

1	2	3
	<p>2.1.2. Подключить первую термопару от образца ко второму дифференциальному каналу измерительного устройства</p> <p>Подключить вторую термопару от образца к четвертому дифференциальному каналу измерительного устройства</p>	<p>Термопара подключена ко второму дифф. каналу.</p>
	<p>2.2. Подключение дополнительных проводов к прибору</p> <p>2.2.1. В разъем USB устройства вставьте штекер USB провода для подключения к ПК. Другой конец провода подключите к ПК</p> <p>В разъем питания вставьте штекер питания. Вилку блока питания подключите к сети ~220V</p>	<p>Термопара подключена к четвертому дифф. каналу.</p>
<p>3. Настройка программы на ПК</p>	<p>3.1. Настройка измерительных каналов</p> <p>3.1.1. В настройках программы выбрать пункт «Каналы»</p> <p>3.1.2. В открывшемся окне поставить галочки напротив всех каналов</p> <p>3.1.3. Выбрать «Образцовое сопротивление» для первого канала</p>	

Продолжение таблицы 3

1	2	3
	<p>3.1.4. Выбрать «Термопара» для второго и четвертого каналов</p> <p>Выбрать «Напряжение на основе 2 и 4 каналов» для третьего канала</p>	
	<p>3.2. Настройка параметров образца</p> <p>3.2.1. В настройках программы выбрать пункт «Образец»</p> <p>3.2.2. В появившемся окне указать геометрические размеры образца</p>	
	<p>3.3. Настройка параметров измерения</p> <p>3.3.1. В настройках программы выбрать пункт «Измерения»</p> <p>3.3.2. Указать желаемое количество измерений</p> <p>3.3.3. Указать количество выборок в секунду</p>	
<p>4. Проведение измерений</p>	<p>4.1. Для проведения измерений в основном окне программы нажмите на кнопку «Измерять»</p> <p>4.2. В области «Текущие значения» будут показаны текущие значение на всех включенных каналах измерительного устройства</p>	

Окончание таблицы 3

1	2	3
	4.3. В области диаграммы отобразятся результаты расчетов	
	4.4. Дождаться окончания измерения	
5. Обработка результатов	5.1. Сохранение результатов 5.1.1. Для сохранения результатов измерения используется пункт меню «Файл» – «Сохранить»	После выполнения действий в выбранной папке появляется текстовый файл, содержащий результаты измерений

Задание для самостоятельной работы:

1. Произвести измерение образца по своему варианту. Варианты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Варианты заданий для самостоятельной работы

Вариант	№ образца
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5

2. Оформить отчёт по выполненной лабораторной работе. Отчёт должен содержать исходные данные, таблицу, содержащую результаты измерений, график зависимости удельного электрического сопротивления от температуры.

3. Ответьте на вопросы:

Дайте определение удельного электрического сопротивления.

Объясните разницу между электрическим и удельным электрическим сопротивлением.

Опишите суть четырехзондового метода измерения удельного электрического сопротивления.

Опишите алгоритм проведения измерения удельного электрического сопротивления.

2.5.3 Листы рабочей тетради

Для закрепления знаний, полученных в ходе выполнения лабораторной работы, разработаны листы рабочей тетради, заполнение которых предусмотрено в качестве домашней работы.

Дополните.

1. Удельное электрическое сопротивление – это

2. Удельное электрическое сопротивление обозначается греческой буквой

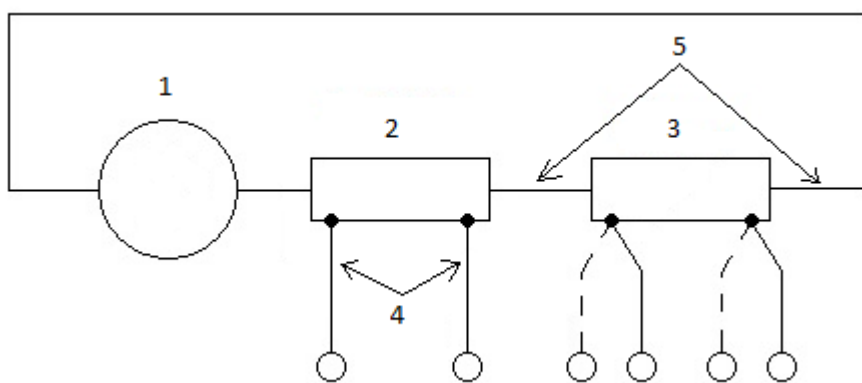
3. Величина, обратная удельному электрическому сопротивлению, называется _____

4.

Удельное электрическое сопротивление	Электрическое сопротивление
является свойством	
зависит от	

5. При измерении удельного электрического сопротивления с использованием программно-аппаратного комплекса используется _____ метод измерения. Данный метод обладает следующими _____ достоинствами:

6. Подпишите элементы схемы



1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Дополните.

7. Подготовка и проведение измерений удельного электрического сопротивления с использованием программно-аппаратного комплекса производится за ___ основных шагов:

1. _____
 2. _____
-
-
-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была достигнута основная цель – создано устройство для измерения электрического сопротивления и температуры.

Устройство внедрено в «Межотраслевом центре высокотемпературных теплофизических исследований конденсированных материалов» РГПШУ, имеются акты внедрения.

Этап разработки устройства осуществлялся с использованием программного пакета CircuitMaker. В рамках этого пакета в соответствии с ЕСКД были созданы:

- принципиальная электрическая схема;
- перечень элементов;
- чертёж печатной платы;
- сборочный чертёж.

Отладка программного обеспечения однокристалльной микро-ЭВМ осуществлялась в IDE Atmel Studio с использованием свободного программного обеспечения – GCC, AvrDUDE.

Было разработано методическое обеспечение лабораторной работы «проведение испытаний по определению удельного электрического сопротивления металлических образцов». Методическое обеспечение позволяет не только развивать компетенции у обучающихся, но также может использоваться научным персоналом, работающим с данным устройством.

Разработанное устройство и программное обеспечение в дальнейшем может быть усовершенствованы на основании имеющейся документации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ивлиев А.Д. Физика [Текст]: учебное пособие / А.Д. Ивлиев – М : Издательство «Лань», 2008. – 672 с.
2. Сабунин А. Е Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств [Текст]. / А. Е. Сабунин – М : СОЛОН-Пресс, 2009. – 432 с.
3. Сулейманов Е.В. Свойства материалов и методы их прогнозирования [Текст]: Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Физико- химические основы нанотехнологий» / Е.В. Сулейманов. – Нижний Новгород, 2007. – 117 с.
4. Техническое описание импульсного понижающего DC-DC преобразователя LM2574M-5.0 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2574hv.pdf> (дата обращения: 8.02.2016).
5. Техническое описание источника опорного напряжения ADR421 [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADR420_421_423_425.pdf (дата обращения: 8.02.2016).
6. Техническое описание микросхемы AD7739 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7739.pdf> (дата обращения: 30.01.2016).
7. Техническое описание однокристалльной микро-ЭВМ ATmega32U4 [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.atmel.com/images/atmel-7766-8-bit-avr-atmega16u4-32u4_datasheet.pdf (дата обращения: 8.02.2016).
8. 1-Wire – Википедия [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/1-Wire> (дата обращения: 03.06.2016).
9. Altium Wiki [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://wiki.altium.com> (дата обращения: 18.01.2016).

10. AN-615. Peak-to-Peak Resolution Versus Effective Resolution. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-615.pdf> (дата обращения: 25.01.2016).

11. Atmel Studio [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.atmel.com/ru/ru/tools/atmelstudio.aspx> (дата обращения: 07.06.2016).

12. AVR Dragon [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.atmel.com/webdoc/avrdragon/index.html> (дата обращения: 06.04.2016).

13. AVR304: Half Duplex Interrupt Driven Software UART [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.atmel.com/images/doc0941.pdf> (дата обращения: 10.02.2016).

14. AVR306: Using the AVR UART in C [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.atmel.com/Images/doc1451.pdf> (дата обращения: 12.02.2016).

15. AVR318: Dallas 1-Wire® master [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.atmel.com/images/doc2579.pdf> (дата обращения: 06.06.2016).

16. FLIP [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.atmel.com/ru/ru/tools/flip.aspx> (дата обращения: 10.06.2016).

17. GCC, the GNU Compiler Collection [Электронный ресурс] / Режим доступа: – <https://gcc.gnu.org> (дата обращения: 10.06.2016).

18. LUFA Library Documentation [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.fourwalledcubicle.com/files/LUFA/Doc/151115/html/> (дата обращения: 10.06.2016).

19. Universal asynchronous receiver/transmitter [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver_transmitter (дата обращения: 12.02.2016).

20. USB – Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс] / Режим доступа: en.wikipedia.org/wiki/USB (дата обращения: 17.06.2016).

21. USB – Википедия [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/USB> (дата обращения: 17.06.2016).

22. USB communications device class [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/USB_communications_device_class (дата обращения: 15.02.2016).

23. USB DFU Bootloader Datasheet [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.atmel.com/Images/doc7618.pdf> (дата обращения: 10.06.2016).

24. USB.org USB 2.0 Documentation [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/ (дата обращения: 03.05.2016).

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ЛИСТ ЗАДАНИЯ

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«Российский государственный профессионально-педагогический университет»

Институт инженерно-педагогического образования
Кафедра информационных систем и технологий
направление 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)
профиль «Энергетика»
профилизация «Компьютерные технологии автоматизации и управления»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Н. С. Толстова

« ____ » _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы бакалавра

студента 4 курса, группы КТэ-401 Самойлова Антона Олеговича

1. Тема Комплекс для измерения электрического сопротивления веществ и материалов утверждена распоряжением по институту от 28.03.2016 г. № 57.
2. Руководитель Мешков Владислав Витальевич, старший преподаватель кафедры ИС
3. Место преддипломной практики Межотраслевой центр высокотемпературных теплофизических исследований конденсированных материалов
4. Исходные данные к ВКР Ивлиев А.Д. «Физика», Сулейманов Е.В. «Свойства материалов и методы их прогнозирования»
5. Содержание текстовой части ВКР (перечень подлежащих разработке вопросов)
Теоретический раздел. Измерение электрического сопротивления веществ и материалов в широком диапазоне температур
Практический раздел. Разработка модуля измерения температуры и электрического сопротивления
Методический раздел. Разработка методического обеспечения для работы с устройством
6. Перечень демонстрационных материалов
Презентация, созданная в MS PowerPoint 2016

7. Календарный план выполнения выпускной квалификационной работы

№ п/п	Наименование этапа дипломной работы	Срок выполнения этапа	Процент выполнения ВКР	Отметка руководителя о выполнении
1	Сбор информации по выпускной работе и сдача зачета по преддипломной практике	10.03.2016	15	
2	Выполнение работ по разрабатываемым вопросам их изложение в выпускной работе:			
	Выполнение и оформление теоретического раздела ВКР	20.03.2016	20	
	Работа над практическим разделом	01.04.2016	10	
	Выполнение и оформление практического раздела ВКР	20.04.2016	10	
	Работа над методическим разделом	01.05.2016	15	
	Выполнение и оформление методического раздела	10.05.2016	10	
3	Оформление текстовой части ВКР	25.05.2016	5	
4	Выполнение демонстрационных материалов к ВКР	30.05.2016	5	
5	Нормоконтроль	03.06.2016	5	
6	Подготовка доклада к защите в ГЭК	10.06.2016	5	

8. Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Наименование раздела	Консультант	Задание выдал		Задание принял	
		подпись	дата	подпись	дата
Методическая часть					
Нормоконтроль					
Предварительная защита					

Руководитель _____
подпись дата

Задание получил _____
подпись студента дата

9. Выпускная квалификационная работа и все материалы проанализированы. Считаю возможным допустить Самойлова А.О. к защите выпускной квалификационной работы в государственной экзаменационной комиссии.

Руководитель _____
подпись дата

10. Допустить Самойлова А.О. к защите выпускной квалификационной работы в государственной экзаменационной комиссии (протокол заседания кафедры от _____)

Заведующий кафедрой _____
подпись дата

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ

Таблица А.1 – Перечень элементов

Поз. обозначение	Наименование	Кол	Примечание
1	2	3	4
	Дисплеи и индикаторы		
HL1	КР-2012SURC	1	
	Кварцевые резонаторы		
BQ1	16000 кГц 20ppm 20pF	1	
BQ2	6000 кГц 20ppm 20pF	1	
	Конденсаторы		
C1, C2, C5, C6, C7, C8, C11, C12	C2012C0G1H103J чип 0805 NP0 0.01uF 5% 50V	8	
C3, C4, C9, C10, C15, C17, C19, C20, C25, C26, C27, C28, C29, C30, C32	C2012X7R1H104K чип 0805 X7R 0.1uF 10% 50V	15	
C13, C14, C21, C22	CC0805JRNPO9BN200 чип 0805 NP0 20pF 5% 50V	4	
C16, C18, C33	SH016M0010B2F-0511 16V 10uF	3	
C23	SH050M2R20B2F-0511 50V 2.2uF	1	
C24	SH035M0220B3F-0811 35V 220uF	1	
C31	C2012X7R1E105K чип 0805 X7R 1.0uF 10%	1	
	Микросхемы		
DA1	DS18B20	1	
DA2	LM2574M-5.0	1	
DA3	ADR421BRZ	1	
DD1	AD7739BRZ	1	
	Предохранители		
FU1	LP60-110F	1	

Окончание таблицы А.1

1	2	3	4
	Резисторы		
R1, R2, R3, R4, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R29, R30, R31, R32	RC0805FR-0710ML чип 0805 10М 1%	16	
R5, R6, R9, R10, R21, R22, R25, R26	RC0805JR-07100KL чип 0805 100К 5%	8	
R7, R8, R11, R12, R23, R24, R27, R28	RC0805JR-0730RL чип 0805 30 5%	8	
R33, R34, R35, R36	RC0805JR-070RL чип 0805 0 5%	4	
R37, R41	RC0805FR-0710KL чип 0805 10.0К 1%	2	
R38	RC0805FR-074K7L чип 0805 4.70К 1%	1	
R44	RC0805FR-07750RL чип 0805 750 1%	1	
R45, R46	RC0805FR-0722RL чип 0805 22 1%	2	
	Кнопки		
SA1, SA2	DTSM20-4.3	2	
	Диоды		
VD1, VD2, VD3, VD4, VD5, VD6, VD7, VD8	BAV199	8	
VD9	SM15T30CA	1	
VD10	10BQ060TRPBF	1	
	Разъемы		
XS1	IDC-06M	1	
XS2	USB2.0-BR	1	
XS3	PLS-02	1	
XT1, XT2, XT3, XT4	D 330-031-12	4	
XT5	D 330-021-12	1	

ПРИЛОЖЕНИЕ В. ИСХОДНЫЙ КОД БИБЛИОТЕКИ УПРАВЛЕНИЯ SPI

Заголовочный файл spi.h

```
#ifndef SPI_H_
#define SPI_H_

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <stdbool.h>

#define SPI_DDR DDRB
#define SPI_PORT PORTB
#define SPI_PIN PINB
#define SPI_SS PINB0
#define SPI_SCLK PINB1
#define SPI_MOSI PINB2
#define SPI_MISO PINB3

void spiInit();
void spiSendByte(uint8_t data);
uint8_t spiTransferByte(uint8_t data);

#endif /* SPI_H_ */
```

Файл spi.c

```
#include "spi.h"

// Comment-out or uncomment this line as necessary

// global variables
volatile bool spiTransferComplete = true;

// SPI interrupt service handler
ISR(SPI_STC_vect) {
    spiTransferComplete = true;
}

// access routines
void spiInit() {
    // setup SPI I/O pins
    SPI_PORT |= _BV(SPI_SS);
    SPI_DDR |= _BV(SPI_MOSI) | _BV(SPI_SCLK) | _BV(SPI_SS);
    SPI_DDR &= ~_BV(SPI_MISO);
    // setup SPI interface :
    // select clock phase positive-going in middle of data
    // master mode
    // enable SPI
    SPCR =
        _BV(SPIE) | _BV(SPE) | (0<<DORD) | _BV(MSTR) |
        _BV(CPOL) | _BV(CPHA) | _BV(SPR1) | _BV(SPR0);
    // clear status
    // enable SPI interrupt
}

void spiSendByte(uint8_t data) {
    // send a byte over SPI and ignore reply
```

```

    while (!spiTransferComplete)
        ;
    spiTransferComplete = false;
    SPI_PORT &= ~_BV(SPI_SS);
    SPDR = data;
    SPI_PORT |= _BV(SPI_SS);
}

uint8_t spiTransferByte(uint8_t data) {
    // send the given data
    while (!spiTransferComplete);

    spiTransferComplete = false;
    SPI_PORT &= ~_BV(SPI_SS);
    SPDR = data;
    // wait for transfer to complete
    while (!spiTransferComplete)
        ;
    SPI_PORT |= _BV(SPI_SS);
    // return the received data
    return SPDR;
}

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ИСХОДНЫЙ КОД БИБЛИОТЕКИ УПРАВЛЕНИЯ АЦП AD7739

Заголовочный файл ad7739_addr_comm.h

```
#ifndef AD7739_ADDR_COMM_H_
#define AD7739_ADDR_COMM_H_

//Communications Register Description
#define Communications 0x00
#define RW 6
#define ADDRESS5 5
#define ADDRESS4 4
#define ADDRESS3 3
#define ADDRESS2 2
#define ADDRESS1 1
#define ADDRESS0 0

//I/O Port Register Description
#define IOport 0x01
#define P0 7
#define P1 6
#define P0DIR 5
#define P1DIR 4
#define RDYFN 3
#define REDPWR 2
#define Sync 0

//Revision Register Description
#define Revision 0x02

//Test Register Description
#define Test 0x03

//ADC Status Register Description
#define ADCStatus 0x04
#define RDY7 7
#define RDY6 6
#define RDY5 5
#define RDY4 4
#define RDY3 3
#define RDY2 2
#define RDY1 1
#define RDY0 0

//Checksum Register Description
#define Checksum 0x05

//ADC Zero-Scale Calibration Register Description
#define ADCZeroScaleCalibration 0x06

//ADC Full-Scale Calibration Register Description
#define ADCFullScaleCalibration 0x07

//Chanel Address Description
#define Channel0_baseadr 0b00000000
#define Channel1_baseadr 0b00000001
#define Channel2_baseadr 0b00000010
#define Channel3_baseadr 0b00000011
```

```

#define Channel4_baseadr 0b00000100
#define Channel5_baseadr 0b00000101
#define Channel6_baseadr 0b00000110
#define Channel7_baseadr 0b00000111

//Channel Data Register Description
#define ChannelData_baseadr 0x08

#define ChannelData0 ((ChannelData_baseadr)+Channel0_baseadr)
#define ChannelData1 ((ChannelData_baseadr)+Channel1_baseadr)
#define ChannelData2 ((ChannelData_baseadr)+Channel2_baseadr)
#define ChannelData3 ((ChannelData_baseadr)+Channel3_baseadr)
#define ChannelData4 ((ChannelData_baseadr)+Channel4_baseadr)
#define ChannelData5 ((ChannelData_baseadr)+Channel5_baseadr)
#define ChannelData6 ((ChannelData_baseadr)+Channel6_baseadr)
#define ChannelData7 ((ChannelData_baseadr)+Channel7_baseadr)

//Channel Zero-Scale Calibration Register Description
#define ChannelZeroScaleCalibration_baseadr 0x10

#define ChannelZeroScaleCalibration0 (ChannelZeroScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel0_baseadr)
#define ChannelZeroScaleCalibration1 (ChannelZeroScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel1_baseadr)
#define ChannelZeroScaleCalibration2 (ChannelZeroScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel2_baseadr)
#define ChannelZeroScaleCalibration3 (ChannelZeroScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel3_baseadr)
#define ChannelZeroScaleCalibration4 (ChannelZeroScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel4_baseadr)
#define ChannelZeroScaleCalibration5 (ChannelZeroScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel5_baseadr)
#define ChannelZeroScaleCalibration6 (ChannelZeroScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel6_baseadr)
#define ChannelZeroScaleCalibration7 (ChannelZeroScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel7_baseadr)

//Channel Full-Scale Calibration Register Description
#define ChannelFullScaleCalibration_baseadr 0x18

#define ChannelFullScaleCalibration0 (ChannelFullScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel0_baseadr)
#define ChannelFullScaleCalibration1 (ChannelFullScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel1_baseadr)
#define ChannelFullScaleCalibration2 (ChannelFullScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel2_baseadr)
#define ChannelFullScaleCalibration3 (ChannelFullScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel3_baseadr)
#define ChannelFullScaleCalibration4 (ChannelFullScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel4_baseadr)
#define ChannelFullScaleCalibration5 (ChannelFullScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel5_baseadr)
#define ChannelFullScaleCalibration6 (ChannelFullScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel6_baseadr)
#define ChannelFullScaleCalibration7 (ChannelFullScaleCalibra-
tion_baseadr+Channel7_baseadr)

//Channel Status Register Description
#define ChannelStatus_baseadr 0x20

#define ChannelStatus0 (ChannelStatus_baseadr+Channel0_baseadr)
#define ChannelStatus1 (ChannelStatus_baseadr+Channel1_baseadr)
#define ChannelStatus2 (ChannelStatus_baseadr+Channel2_baseadr)
#define ChannelStatus3 (ChannelStatus_baseadr+Channel3_baseadr)
#define ChannelStatus4 (ChannelStatus_baseadr+Channel4_baseadr)

```

```

#define ChannelStatus5 (ChannelStatus_baseadr+Channel5_baseadr)
#define ChannelStatus6 (ChannelStatus_baseadr+Channel6_baseadr)
#define ChannelStatus7 (ChannelStatus_baseadr+Channel7_baseadr)

#define CH2 7
#define CH1 6
#define CH0 5
#define P0_Status 4
#define RDY_P1 3
#define NOREF 2
#define Sign 1
#define OVR 0

//Channel Setup Register Description
#define ChannelSetup_baseadr 0x28

#define ChannelSetup0 (ChannelSetup_baseadr+Channel0_baseadr)
#define ChannelSetup1 (ChannelSetup_baseadr+Channel1_baseadr)
#define ChannelSetup2 (ChannelSetup_baseadr+Channel2_baseadr)
#define ChannelSetup3 (ChannelSetup_baseadr+Channel3_baseadr)
#define ChannelSetup4 (ChannelSetup_baseadr+Channel4_baseadr)
#define ChannelSetup5 (ChannelSetup_baseadr+Channel5_baseadr)
#define ChannelSetup6 (ChannelSetup_baseadr+Channel6_baseadr)
#define ChannelSetup7 (ChannelSetup_baseadr+Channel7_baseadr)

#define BUFOFF 7
#define COM1 6
#define COM0 5
#define StatOPT 4
#define Enable 3
#define RNG2 2
#define RNG1 1
#define RNG0 0

//Channel Conversion Time Register Description
#define ChannelConversionTime_baseadr 0x30

#define ChannelConversionTime0 (ChannelConversionTime_baseadr+Channel0_baseadr)
#define ChannelConversionTime1 (ChannelConversionTime_baseadr+Channel1_baseadr)
#define ChannelConversionTime2 (ChannelConversionTime_baseadr+Channel2_baseadr)
#define ChannelConversionTime3 (ChannelConversionTime_baseadr+Channel3_baseadr)
#define ChannelConversionTime4 (ChannelConversionTime_baseadr+Channel4_baseadr)
#define ChannelConversionTime5 (ChannelConversionTime_baseadr+Channel5_baseadr)
#define ChannelConversionTime6 (ChannelConversionTime_baseadr+Channel6_baseadr)
#define ChannelConversionTime7 (ChannelConversionTime_baseadr+Channel7_baseadr)

#define Chop 7
#define FW6 6
#define FW5 5
#define FW4 4
#define FW3 3
#define FW2 2
#define FW1 1
#define FW0 0

//Mode Register Description
#define Mode_baseadr 0x38

#define Mode0 (Mode_baseadr+Channel0_baseadr)
#define Mode1 (Mode_baseadr+Channel1_baseadr)
#define Mode2 (Mode_baseadr+Channel2_baseadr)
#define Mode3 (Mode_baseadr+Channel3_baseadr)
#define Mode4 (Mode_baseadr+Channel4_baseadr)
#define Mode5 (Mode_baseadr+Channel5_baseadr)
#define Mode6 (Mode_baseadr+Channel6_baseadr)

```

```

#define Mode7 (Mode_baseadr+Channel7_baseadr)

#define MD2 7
#define MD1 6
#define MD0 5
#define CLKDIS 4
#define Dump 3
#define ContrD 2
#define Set16_24bit 1
#define Clamp 0

// bit settings
//Channel settings
#define CHANNEL_SETUP_BUFOFF (_BV(BUFOFF))
#define CHANNEL_SETUP_PLUS_MINUS250V ((1<<RNG2)|(0<<RNG1)|(0<<RNG0))
#define CHANNEL_SETUP_PLUS250V (_BV(RNG2)|_BV(RNG0))
#define CHANNEL_SETUPSETUP_PLUS_MINUS125V 0x00
#define CHANNEL_SETUPSETUP_PLUS125V (_BV(RNG0))
#define CHANNEL_SETUPSETUP_PLUS_MINUS0625V (_BV(RNG1))
#define CHANNEL_SETUP_PLUS0625V (_BV(RNG1)|_BV(RNG0))
#define CHANNEL_SETUP_AIN_TO_AINCOM 0x00
#define CHANNEL_SETUP_AIN_TO_AIN (_BV(COM0)|_BV(COM1))
#define CHANNEL_SETUP_STAT_OPT_SET (_BV(StatOPT)) //0=RDY bit in STATUS register is
set to 1 when conversion is ready
#define CHANNEL_SETUP_ENABLE (_BV(Enable))

#define CHANNEL_CONVTIME_CHOP_EN (_BV(Chop))

#define MODE_IDLE 0x00
#define MODE_CONTINUOUS_CONVERSION (_BV(MD0))
#define MODE_SINGLE_CONVERSION (_BV(MD1))
#define MODE_POWER_DOWN (_BV(MD1)|_BV(MD0))
#define MODE_ADC_ZS_calibration (_BV(MD2))
#define MODE_ADC_FS_calibration (_BV(MD2)|_BV(MD0))
#define MODE_CHANNEL_ZS_calibration (_BV(MD2)|_BV(MD1))
#define MODE_CHANNEL_FS_calibration (_BV(MD2)|_BV(MD1)|_BV(MD0))
#define MODE_CLKDIS (_BV(CLKDIS))
#define MODE_DUMP_ENABLE (_BV(Dump))
#define MODE_CONTINUOUS_READ_ENABLE (_BV(ContrD))
#define MODE_CLAMP_ENABLE (_BV(Clamp))
#define MODE_24BIT (_BV(Set16_24bit))

#define CHANNEL_STATUS_RDY 0x08

#endif /* AD7739_ADDR_COMM_H_ */

```

Заголовочный файл ad7739.h

```

#ifndef AD7739_H_
#define AD7739_H_

#include "spi.h"
#include "ad7739_addr_comm.h"

//AD7739 Pin Description
#define AD7739_DDR DDRD
#define AD7739_PORT PORTD
#define AD7739_PIN PIND
#define AD7739_RDY PIND0

//AD7739 Driver
void ad7739Init(void);
uint32_t ad7739SetReg(uint8_t reg, uint8_t nbytes, uint32_t data);

```

```

void ad7739Reset(void);
uint32_t ad7739GetReg(uint8_t reg, uint8_t nbytes);
uint32_t ad7739SingleConversion(uint8_t channel);
void ad7739Col(void);
void ad7739ZeroScaleCalibration(void);
void ad7739FullScaleCalibration(void);
void ad7739AllChannelZeroScaleCalibration(void);
void ad7739AllChannelFullScaleCalibration(void);
void ad7739Calibration(void);

#endif /* AD7739_H_ */

```

Файл ad7739.c

```

#include "ad7739.h"

void ad7739Reset(void) {
    spiTransferByte(0x00);
    spiTransferByte(0xff);
    spiTransferByte(0xff);
    spiTransferByte(0xff);
    spiTransferByte(0xff);
}

uint32_t ad7739GetReg(uint8_t reg, uint8_t nbytes) {
    uint32_t rxData = 0;

    // send register address and read flag
    //need only 6 less significant bits (LSB)
    reg &= 0x3f;
    spiTransferByte((0x40 | reg));
    for (uint8_t i = nbytes; i > 0; i--) {
        rxData |= (((uint32_t) (spiTransferByte(0) & 0xFF)) << ((i - 1) * 8));
    }
    // return the received data
    return rxData;
}

uint32_t ad7739SetReg(uint8_t reg, uint8_t nbytes, uint32_t data) {
    uint32_t rxData = 0;
    uint8_t i;

    // send register address and not read flag
    reg &= 0x3f;
    spiTransferByte((0x00 | reg));
    for (i = nbytes; i > 0; i--) {
        rxData |= (((uint32_t) spiTransferByte(
            (uint8_t) (data >> ((i - 1) * 8)))) << ((i - 1) * 8));
    }
    // return the received data
    return rxData;
}

void ad7739Col(void)
{
    for(int i = 0; i<8; i++)
    {
        ad7739SetReg(ChannelConversionTime_baseadr|i,1,0xFF);
        ad7739SetReg(ChannelSetup_baseadr | i, 1,
            CHANNEL_SETUP_PLUS_MINUS250V | CHANNEL_SETUP_AIN_TO_AIN);
    }

    ad7739SetReg(Mode_baseadr|7, 1, MODE_ADC_ZS_calibration);
    while (bit_is_set(AD7739_PIN, AD7739_RDY));
}

```

```

ad7739SetReg(Mode_baseadr|7, 1, MODE_ADC_FS_calibration);
while (bit_is_set(AD7739_PIN, AD7739_RDY));

// for(int i = 0; i<8; i++)
// {
//     ad7739SetReg(Mode_baseadr | i, 1, MODE_CHANNEL_ZS_calibration);
//     while (bit_is_set(AD7739_PIN, AD7739_RDY));
// }
}

void ad7739ZeroScaleCalibration(void) {
    for (int i = 0; i < 8; i++) {
        ad7739SetReg(ChannelConversionTime_baseadr | i, 1, 0xFF);
        ad7739SetReg(ChannelSetup_baseadr | i, 1,
            CHANNEL_SETUP_PLUS_MINUS250V | CHANNEL_SETUP_AIN_TO_AIN);
    }
    ad7739SetReg(Mode_baseadr, 1, MODE_ADC_ZS_calibration);
    while (bit_is_set(AD7739_PIN, AD7739_RDY));
}

void ad7739FullScaleCalibration(void) {
    for (int i = 0; i < 8; i++) {
        ad7739SetReg(ChannelConversionTime_baseadr | i, 1, 0xFF);
        ad7739SetReg(ChannelSetup_baseadr | i, 1,
            CHANNEL_SETUP_PLUS_MINUS250V | CHANNEL_SETUP_AIN_TO_AIN);
    }
    ad7739SetReg(Mode_baseadr, 1, MODE_ADC_FS_calibration);
    while (bit_is_set(AD7739_PIN, AD7739_RDY));
}

void ad7739AllChannelZeroScaleCalibration(void) {
    for (int i = 0; i < 8; i++) {
        ad7739SetReg(ChannelSetup_baseadr | i, 1,
            CHANNEL_SETUP_PLUS_MINUS250V | CHANNEL_SETUP_AIN_TO_AIN);
        ad7739SetReg(ChannelConversionTime_baseadr | i, 1, 0xFF);
        ad7739SetReg(Mode_baseadr | i, 1, MODE_CHANNEL_ZS_calibration);
        while (bit_is_set(AD7739_PIN, AD7739_RDY));
    }
}

void ad7739AllChannelFullScaleCalibration(void) {
    for (int i = 0; i < 8; i++) {
        ad7739SetReg(ChannelSetup_baseadr|i,1,CHANNEL_SETUP_PLUS_MINUS250V|CHANNEL_SETUP_A
IN_TO_AINCOM);
        ad7739SetReg(ChannelConversionTime_baseadr|i,1,0xFF);
        ad7739SetReg(Mode_baseadr|i,1,MODE_CHANNEL_FS_calibration);
        while (bit_is_set(AD7739_PIN,AD7739_RDY));
//         ad7739SetReg(ChannelFullScaleCalibration_baseadr | i, 3, 0xFFFFFFFF);
    }
}

void ad7739Calibration(void) {
    ad7739ZeroScaleCalibration();
    ad7739SetReg(ADCFullScaleCalibration, 3, 0xFFFFFFFF);
    ad7739FullScaleCalibration();

    ad7739AllChannelZeroScaleCalibration();
    ad7739AllChannelFullScaleCalibration();
}

uint32_t ad7739SingleConversion(uint8_t channel) {
    uint32_t data = 0;
    uint16_t i;

```



```

uint8_t ConvTime = 0xFF;
uint8_t ChSetup = CHANNEL_SETUP_PLUS_MINUS250V | CHANNEL_SETUP_AIN_TO_AIN;
uint8_t SetMode = MODE_SINGLE_CONVERSION | MODE_24BIT | MODE_DUMP_ENABLE;
channel &= 0x07;
ad7739SetReg(ChannelConversionTime_baseadr | channel, 1, ConvTime); // slowest
conversion rate
ad7739SetReg(ChannelSetup_baseadr | channel, 1, ChSetup); // +-2.5V range
ad7739SetReg(Mode_baseadr | channel, 1, SetMode); // single conversion 24bit+dump
for (i = 0xffff; i; i--) { //TIMEOUT
    if (bit_is_clear(AD7739_PIN, AD7739_RDY)) {
        if (bit_is_set(SetMode, Dump)) {
            data = ad7739GetReg(ChannelData_baseadr + channel, 4);

            break;
        } else {
            data = ad7739GetReg(ChannelData_baseadr + channel, 3);
            break;
        }
    }
}
return data;
}

void ad7739Init(void) {
    AD7739_DDR &= ~_BV(AD7739_RDY);
    AD7739_PORT |= _BV(AD7739_RDY);
    ad7739Reset();
    ad7739Col();
    ad7739Col();
    ad7739Col();
    ad7739Col();
    // ad7739Calibration();
}

```