

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
информационных технологий
и электроники
(наименование)

Кафедра
«Нано- и микроэлектроника»
(наименование)

Направление подготовки

11.04.04. «Электроника и
наноэлектроника»
(код и наименование)

Магистерская программа

Нано- и микроэлектроника
(наименование)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему
Электронный термометр

Студент 19ПДм1
номер группы

Мор 16.06.21
подпись, дата

Борисов Владислав Михайлович
ФИО полностью

Научный руководитель
доцент, ПГУ
должность, наименование организации

Аверин 16.06.21
подпись, дата

А.А. Вольсков
инициалы, фамилия

Рецензент
нач. отдела АО, ПО, Микроэлектроника
должность, наименование организации

Клименко 17.06.21
подпись, дата

Клименко А.В.
инициалы, фамилия

Нормоконтролер ст. преподаватель
должность

Рыжова 17.06.21
подпись, дата

Т.Н. Рыжова
инициалы, фамилия

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 7 июня 2021 № 11)

Заведующий кафедрой НнМЭ
профессор, ПГУ
должность, наименование организации

Аверин 18.06.21
подпись, дата

И.А. Аверин
инициалы, фамилия

Работа защищена с оценкой отл. (протокол ГЭК от 22.06.21 № 2)

Секретарь ГЭК
доцент, ПГУ
должность, наименование организации

Вольсков 22.06.21
подпись, дата

А.А. Вольсков
инициалы, фамилия

2021

год выпуска

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОТЗЫВ

на магистерскую диссертацию студента группы 19ПДм1

Борисова Владислава Михайловича

Тема диссертации: «Электронный термометр»

Тема диссертации Борисова В.М. является актуальной. Разработанный электронный термометр может использоваться в учебном процессе.

Магистерская диссертация Борисова В.М. обладает научной новизной, заключающейся:

– в разработке электронного термометра с высокой точностью измерения температуры.

Практическая ценность работы состоит в разработке электронного термометра, который может использоваться в учебном процессе кафедры «Нано- и микроэлектроника» ПГУ.

Результаты, представленные в магистерской диссертации, теоретически обоснованы и подтверждены экспериментальными данными.

В процессе написания магистерской диссертации Борисов В.М. проявил отличные знания по дисциплинам, связанным со схемотехникой, системотехникой и микропроцессорной техникой.

По результатам исследований опубликованы 2 научные работа.

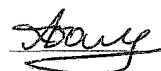
Содержание магистерской диссертации соответствует выданному техническому заданию.

В качестве недостатка работы можно указать то, что не рассмотрен вопрос повышения точности измерения температуры за счет программных средств.

На основании вышеизложенного считаю, что магистерская диссертация заслуживает оценки «отлично», а Борисов Владислав Михайлович – присвоения степени (квалификации) – магистр по направлению 11.04.04 – Электроника и наноэлектроника.

Руководитель выпускной
квалификационной работы, к.т.н., доцент каф. НиМЭ

«18» июня 2021 г.

 А.А. Вольсков

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию Борисова Владислава Михайловича

«Электронный термометр»

Целью работы магистранта Борисова В.М. является разработка цифрового электронного термометра. Изделие предназначено для использования в учебном процессе подготовки бакалавров направлений подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника». Учитывая имеющуюся необходимость укрепления технической базы учебных заведений, представленные материалы являются актуальными.

Содержание работы соответствует заявленной теме и поставленным научным задачам. Структура диссертации выстроена логично и обоснована задачами исследования. Первая глава отражает теоретическую часть диссертации и посвящена анализу электронных термометров и их комплектующих с указанием достоинств и недостатков определенных компонентов.

Во второй главе ведется разработка цифрового электронного термометра. Автором произведен выбор аппаратных комплектующих цифрового электронного термометра и рассмотрен способ их подключения. Разработаны структурная электрическая схема и электрическая принципиальная схема электронного термометра, а также код управляющей программы микроконтроллера. Дополнительно произведено моделирование работы изделия с помощью программной среды. В результате был собран и протестирован опытный образец электронного термометра, который соответствует требованиям технического задания.

Экономическая часть работы представлена в третьей главе. Данная глава отражает расчет стоимости комплектующих для сборки опытного образца электронного термометра.

Стиль и язык изложения в магистерской диссертации Борисова В.М. соответствует требованиям, предъявляемым к квалификационным работам магистрантов.

Рецензируемая работа выполнена на достойном техническом уровне с применением современных информационных технологий. Магистрант демонстрирует полученные профессиональные знания на высоком уровне.

Недостатком работы является отсутствие анализа возможных недостатков разработанного электронного термометра.

Работа Борисова В.М. соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и микроэлектроника» и заслуживает оценки «отлично».

Рецензент:

начальник отдела

АО «ПО «Электроприбор»

Комиссаров Александр Владимирович



РЕФЕРАТ

Пояснительная записка к магистерской работе содержит 52 страницы машинописного текста, 35 рисунков, 8 таблиц, 10 слайдов презентации, 20 использованных источников и 23 страницы приложения.

Ключевые слова: цифровой электронный термометр, цифровой измеритель температуры, датчик температуры *DS18B20*, *Arduino Uno*.

Цель работы: проектирование и сборка опытного образца электронного термометра в соответствии с техническим заданием (ТЗ).

Объект исследования: электронный термометр.

Предмет исследования: повышение точности измерения температуры.

Актуальность работы: использование разработанного электронного термометра в учебном процессе подготовки бакалавров направлений подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника».

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Сведения об электронных термометрах	5
1.1 Назначение электронных термометров	5
1.2 Виды электронных термометров	6
1.3 Датчики электронных термометров	10
1.4 Анализ схемотехнических решений	21
2 Разработка электронного термометра	25
2.1 Разработка структурной схемы	25
2.2 Разработка электрической принципиальной схемы	31
2.3 Разработка кода управляющей программы	38
2.4 Моделирование и отладка изделия	46
3 Экономический расчет себестоимости изделия	48
3.1 Расчет стоимости основных аппаратных комплектующих	48
3.2 Расчет стоимости дополнительных электронных деталей	49
3.3 Расчет итоговой стоимости изготовления опытного образца	50
Заключение	51
Список использованных источников	52
Приложение А. Задание на магистерскую диссертацию	54
Приложение Б. Схема электрическая структурная электронного термометра	57
Приложение В. Схема электрическая принципиальная электронного термометра	59
Приложение Г. Заявление и протокол проверки магистерской диссертации на оригинальность	62
Приложение Д. Презентация	65

ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых распространенных видов измерений является измерение температуры. Причем, в некоторых случаях, требуется не только одиночное измерение значения температуры, но и постоянный контроль над изменением данной величины.

Точность – является главным параметром измерения. В случае измерения температуры, точность зависит от аппаратно-программных компонент, входящих в состав определенного электронного термометра.

Основными компонентами, обеспечивающими высокую точность в электронном термометре являются датчики температуры и устройства обработки и управления. В случае построения цифровой архитектуры электронного термометра с использованием микроконтроллеров и программно-логических интегральных схем (ПЛИС), появляется возможность программного влияния на точность.

Таким образом, в рамках данной работы задача реализации электронного термометра сводиться к выбору архитектуры разрабатываемого изделия и её реализации в соответствии с требованиями технического задания на магистерскую диссертацию.

1 Сведения об электронных термометрах

1.1 Назначение электронных термометров

Температура является одной из наиболее часто измеряемых физических величин, а датчики температуры являются одной из важнейших разновидностей датчиков. Температуру необходимо учитывать при управлении многими естественными и искусственными процессами. Устройства измерения и регулирования температуры нашли широкое применение в бытовой технике.

Благодаря многообразию процессов, в которых необходимо знать и учитывать температурные характеристики объектов, появилось множество различных по назначению датчиков для измерения температуры. Широко известны измерительные преобразователи температуры в электрические величины, такие как сопротивление и напряжение.

На современном этапе благодаря развитию вычислительной техники и средств электронных коммуникаций, получили распространение датчики с цифровым выходным сигналом. Использование цифровых датчиков температуры связано с разработкой устройств обработки их выходных сигналов. Эти устройства используются для передачи сигналов датчиков в устройства автоматики, а также для преобразования этих сигналов с выводом на устройства индикации в виде, удобном для восприятия человеком.

Помимо непосредственных измерений, по значению температуры можно косвенно определять и другие параметры, например, скорость потока жидкостей и газов, а также учитывать влияние температуры на другие параметры, такие как давление, длину, объём.

Задача реализации устройств измерения температуры (УИТ), исходя из рассмотренного выше разнообразия регулируемых процессов, определяется многими переменными. В каждом конкретном случае подлежат решению вопросы структуры устройства, алгоритма измерения, модульной базы и результирующей точности проектируемого прибора. Причем все они взаимосвязаны, поэтому необходимо решать их совместно.

Рост количества фирм и номенклатуры изделий для регистрации, измерения, преобразования, обработки и регулирования температуры ярко свидетельствует об актуальности темы. Однако при всем многообразии выпускаемых приборов нет универсальных средств или структур этих приборов, позволяющих эффективно подходить к решению задач конкретного измерения [1].

1.2 Виды электронных термометров

Существует две большие группы электронных термометров – это аналоговые и цифровые термометры. Разделение на аналоговые и цифровые термометры может происходить по следующим особенностям:

- по общей структуре изделия;
- по типу используемого датчика измерения температуры;
- по типу используемых устройств обработки и вывода.

К примеру, схемотехническое решение электронного термометра на основе терморезистора, согласующей схемы и аналогового (стрелочного) индикатора будет относиться к аналоговому термометру.

1.2.1 Аналоговые термометры. Аналоговыми термометрами (АТ) называются изделия, которые в процессе измерения не производят (или частично производят) преобразование непрерывной измеряемой величины, с дальнейшей индикацией на аналоговом устройстве отображения или ином аналоговом устройстве вывода.

Рассмотрим типовую структурную схему АТ, которая показана на рисунке ниже (Рисунок 1).

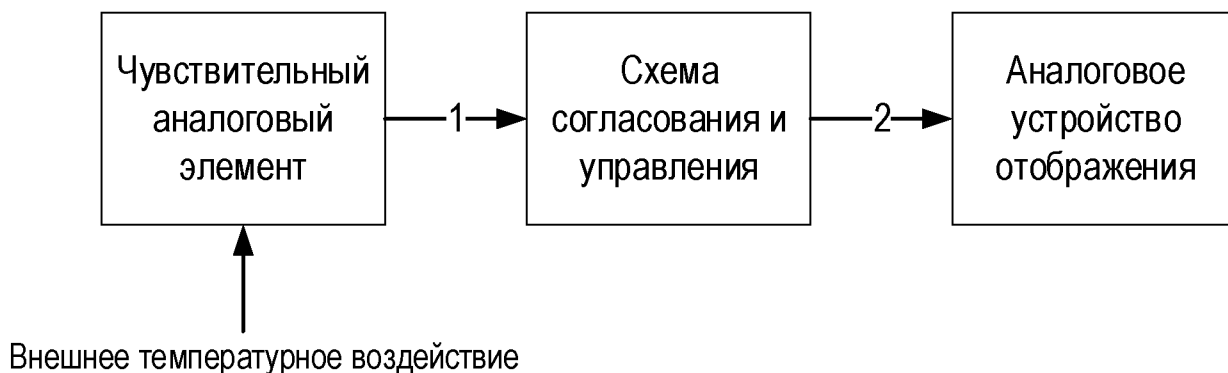


Рисунок 1 – Структурная схема АТ

В состав рассматриваемого аналогового термометра входят следующие элементы.

Чувствительный аналоговый элемент – представляет собой пассивный или активный электронный элемент, который под действием изменения температуры способен изменять выходную величину. В качестве чувствительного аналогового элемента могут быть использованы транзисторы и терморезисторы с изменяющейся от температуры выходной величиной – ток или напряжения.

Схема согласования и управления – представляет собой цепочку пассивных и активных электронных компонентов (резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы, стабилизаторы) которая требуется для определенного преобразования и дальнейшей фильтрации выходной величины. Данный структурный элемент также используется для настройки и калибровки готового изделия. В качестве устройств управления выступают подстроечные резисторы или конденсаторы, а также потенциометры.

Аналоговое устройство отображения – представляет собой аналоговый измерительный прибор. В общем случае используются стрелочные амперметры и вольтметры.

К достоинствам аналоговых термометров относят:

- дешевизна используемых электронных компонент;
- отсутствие программного обеспечения.

К недостаткам аналоговых электронных термометров относят:

- необходимость калибровки перед использованием;
- отсутствие возможности прямой передачи данных на ЭВМ;
- большое количество электронных активных и пассивных компонентов на одной плате;
- большая погрешность измеряемой величины;
- общая сложность схемотехнического решения.

1.2.2 Цифровые термометры. Цифровыми термометрами (ЦТ) называются изделия, которые в процессе измерения осуществляют автоматическое преобразование непрерывной измеряемой величины в дискретную, с последующей индикацией результата измерений на цифровом отсчетном устройстве или регистрацией его при помощи цифропечатающего устройства.

Процесс преобразования аналоговой формы сигнала в цифровую, называется аналого-цифровым преобразованием, а преобразователь, осуществляющий это преобразование – аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

Рассмотрим типовую структурную схему ЦТ, которая показана на рисунке ниже (Рисунок 2).

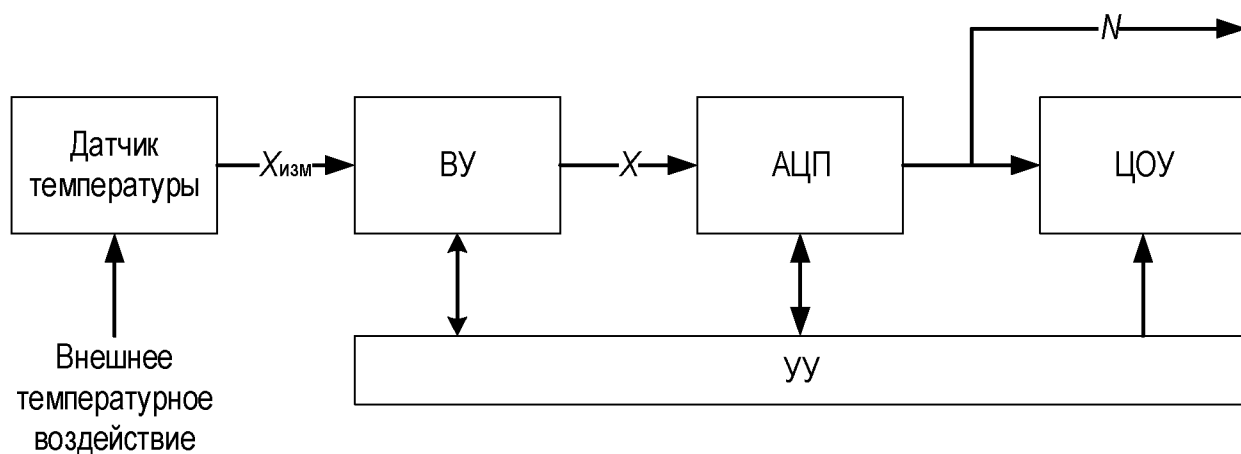


Рисунок 2 – Обобщенная функциональная схема ЦТ

Измеряемая величина $X_{изм}$, подается на входное устройство (ВУ), предназначенное для масштабного преобразования входной величины и отделения ее от помех. Далее, АЦП преобразует величину X в код N , который

подается на цифровое отсчетное устройство (ЦОУ), где индицируется в виде ряда цифр.

Код N может выводиться и во внешние устройства, например, в ЭВМ для дальнейшей обработки или хранения. Управляет работой ЦТ устройство управления (УУ) с помощью выработки определенной последовательности командных сигналов, поступающих во все функциональные узлы ЦТ.

Аналого-цифровые преобразователи имеют важное самостоятельное значение. Они широко используются для связи первичных преобразователей электрических и неэлектрических величин с цифровыми вычислительными машинами, микропроцессорами и другими устройствами накопления и обработки результатов наблюдений. Интегральные микросхемы АЦП производятся миллионными тиражами, что позволило снизить их цену и сделать доступными для производства недорогой высококачественной измерительной аппаратуры.

Цифровые термометры имеют следующие преимущества:

- высокая точность;
- получение результатов измерения в удобной для считывания оператором форме и возможность цифрового преобразования и ввода измерительной информации в ЭВМ;
- автоматического введения поправок для уменьшения систематических погрешностей (автоматическая калибровка).

Недостатками цифровых приборов являются

- меньший диапазон рабочих температур;
- необходимость в источнике питания измерительных и регистрирующих устройств;
- необходимость разработки программного обеспечения [2].

1.3 Датчики электронных термометров

В настоящее время в свободной продаже имеется большая номенклатура электронных термометров с различными характеристиками. Характеристики термометра, в первую очередь, определяются используемым датчиком температуры. В данном разделе рассмотрены различные виды датчиков температуры, используемых в современных электронных термометрах.

В настоящее время, активно применяются следующие виды датчиков для измерения температуры:

- датчики на основе термопары;
- датчики на основе изменения сопротивления (*RTD*);
- датчики на основе термистора;
- датчики на основе полупроводников;
- цифровые интегральные датчики.

Существуют и более редкие виды датчиков температуры – манометрические, кварцевые нетермокомпенсированные резонаторы, пирометрические датчики.

1.3.1 Датчики измерения температуры на основе термопары. Принцип действия термопар (термоэлектрических пирометров) основан на свойстве двух разнородных проводников, создавать термоэлектродвижущую силу (термо-ЭДС) при нагревании места их соединения – спая.

В данном случае, проводники принято называть термоэлектродами, а все устройство (датчик) – термопарой. Величина термо-ЭДС термопары зависит от материала термоэлектродов и разности температур горячего спая и холодных спаев. Поэтому при измерении температуры горячего спая температуру холодных спаев стабилизируют или вводят поправку на ее изменение.

Внешний вид датчика температуры на основе термопары показан на рисунке ниже (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Датчик температуры на основе термопары

В промышленных условиях стабилизация температуры холодных спаев термопары затруднительна, и обычно используют второй способ – автоматическое введение поправки на температуру холодных спаев.

Для этого применяют неуравновешенный мост, включаемый последовательно с термопарой. В одно плечо такого моста включен медный резистор, расположенный около холодных спаев. При изменении температуры холодных спаев термопары изменяется сопротивление резистора и выходное напряжение неуравновешенного моста.

Мост подбирают таким образом, чтобы изменение напряжения было равно по величине и противоположно по знаку изменению ЭДС термопары вследствие колебаний температуры холодных спаев. Термопары являются первичными преобразователями температуры в ЭДС – то есть в сигнал, удобный для дистанционной передачи. Поэтому в измерительную цепь за термопарой может быть сразу включен измерительный прибор.

Для измерения ЭДС термопары обычно применяют автоматические потенциометры. В автоматических потенциометрах, работающих в комплекте с термопарами, медный резистор включается в одно плечо моста. Показания такого потенциометра будут изменяться лишь при изменении температуры горячего спая термопары. Это объясняется тем, что изменение ЭДС термопары

под воздействием температуры холодных спаев будет автоматически компенсироваться дополнительным изменением выходного напряжения моста вследствие изменения сопротивления резистора.

Если ЭДС термопары преобразуют в унифицированный сигнал промежуточным преобразователем, то компенсация температуры холодных спаев производится неуравновешенным мостом, который входит в состав преобразователя. Медный резистор размещают в потенциометре или промежуточном преобразователе. Следовательно, там же должны находиться и холодные спаи термопары. В этом случае длина термопары должна быть равна расстоянию от места измерения температуры до места установки прибора [3].

1.3.2 Датчики измерения температуры на основе изменения сопротивления. Действие термометров сопротивления основано на свойстве тел изменять электрическое сопротивление при изменении температуры. У металлических термометров сопротивление с возрастанием температуры увеличивается линейно, а у полупроводниковых, наоборот, уменьшается.

Металлические термометры сопротивления изготавливают из тонкой медной или платиновой проволоки, помещенной в электроизоляционный корпус. Зависимость электрического сопротивления от температуры (для медных термометров составляет диапазон $-50...180^{\circ}\text{C}$, для платиновых $-200...+750^{\circ}\text{C}$) стабильна и воспроизводима.

Платиновый чувствительный элемент датчика температуры на основе сопротивления, показан на рисунке ниже (Рисунок 4).

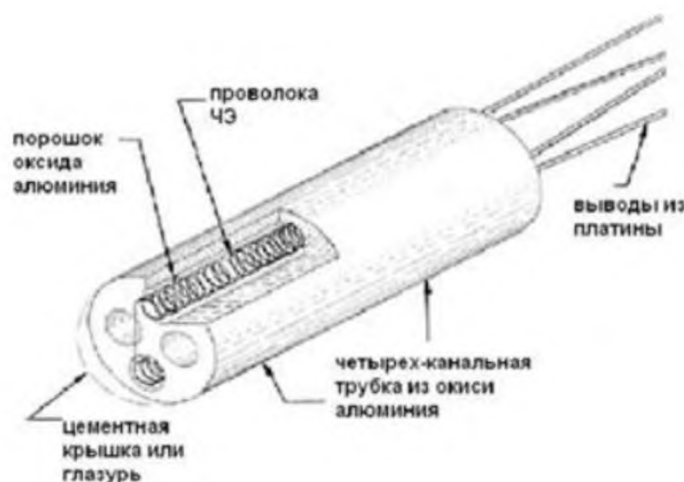


Рисунок 4 – Платиновый чувствительный элемент датчика температуры на основе сопротивления

Это обеспечивает взаимозаменяемость термометров сопротивления. Для защиты термометров сопротивления от воздействия измеряемой среды применяют защитные чехлы. Приборостроительная промышленность выпускает много модификаций защитных чехлов, рассчитанных на эксплуатацию термометров при различном давлении, различной агрессивности измеряемой среды, обладающих разной инерционностью и глубиной погружения.

Термометры сопротивления представляют собой первичные преобразователи с удобным для дистанционной передачи сигналом – электрическим сопротивлением. Для измерения такого сигнала обычно применяют автоматические уравновешенные мосты. При необходимости выходной сигнал термометра сопротивления может быть преобразован в унифицированный. Для этого в измерительную цепь включают промежуточный преобразователь.

1.3.3 Датчики измерения температуры на основе термисторов. Термистор представляет собой резистивный элемент, как правило, изготовленный из полимера или полупроводника, сопротивление которого изменяется в зависимости от температуры. Этот тип устройства не следует путать с резистивным датчиком температуры (*RTD*). Обычно *RTD* гораздо точнее, стоят дороже и охватывают более широкий диапазон температур.

Внешний вид термистора показан на рисунке ниже (Рисунок 5).

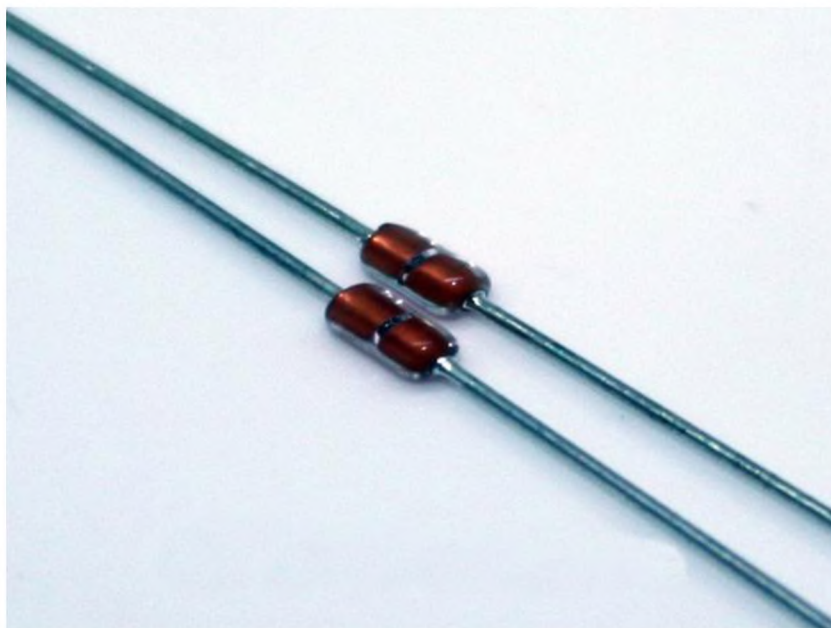


Рисунок 5 – Внешний вид термистора

Существуют два типа термисторов, отличающихся характером зависимости сопротивления от температуры:

- если значение сопротивления уменьшается с ростом температуры, то данный термистор имеет отрицательный температурный коэффициент (*NTC*);
- если значение сопротивления с ростом температуры возрастает, то данный термистор имеет положительный температурный коэффициент (*PTC*).

В большинстве случаев, *PTC*-термисторы используются как средства защиты, а *NTC*-термисторы применяются в качестве термодатчиков.

Еще одной, не менее важной, характеристикой терморезистора является низкая стоимость. Низкая цена и простота подключения, придают датчикам на основе термисторов некоторое преимущество.

Типичный диапазон измерения температуры термистора составляет $50...+125^{\circ}\text{C}$. Большинство изделий, использующих в своем составе термисторы, работают в диапазоне $-10...+70^{\circ}\text{C}$. Данный диапазон принято называть «коммерческим» [4].

1.3.4 Датчики измерения температуры на основе полупроводника. Полупроводниковые датчики температуры предназначены для измерения температуры в диапазоне $-55...150\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этот диапазон попадает огромное количество задач, решаемых как в бытовых, так и в промышленных изделиях.

Благодаря неплохим характеристикам, простоте применения и низкой стоимости полупроводниковые датчики температуры оказываются удобными для применения в микропроцессорных устройствах измерения и автоматики.

Физический принцип работы полупроводникового термометра основан на зависимости от температуры падения напряжения на p - n переходе, смещенном в прямом направлении. Данная зависимость близка к линейной, что позволяет создавать датчики, не требующие сложных схем коррекции.

В качестве чувствительных элементов на практике используются диоды, либо транзисторы, включенные по схеме диода. Для проведения измерений, необходимо протекание стабильного тока через чувствительный элемент. Выходным сигналом является падение напряжения на датчике.

Принцип работы полупроводникового датчика температуры показан на рисунке ниже (Рисунок 6).

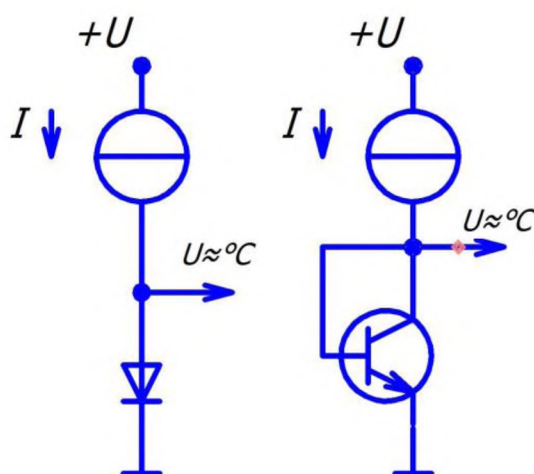


Рисунок 6 – Принцип работы полупроводникового датчика температуры

Схемы, использующие одиночный $p-n$ переход, отличаются низкой точностью и большим разбросом параметров, связанных с особенностями изготовления и работы полупроводниковых приборов.

В связи с этим промышленность выпускает множество типов специализированных датчиков, имеющих в своей основе вышеописанный принцип, но дополнительно оснащенных цепями, устраняющими негативные особенности и значительно расширяющими функционал приборов [5].

1.3.5 Цифровые интегральные датчики. Цифровые интегральные датчики измерения температуры представляют собой микросхему с набором необходимых компонентов не только для измерения температуры, но и для преобразования, управления и передачи измеренного значения температуры.

Отличным примером цифрового интегрального датчика измерения температуры служат датчики *DS1820*, *DS18S20* и *DS18B20* производства *Dallas Semiconductor*.

Датчик *DS1820* изготавливается с использованием корпусов *PR-35* и *16-PIN SSOP*. Внешний вид данных корпусов представлен на рисунке ниже (Рисунок 7).

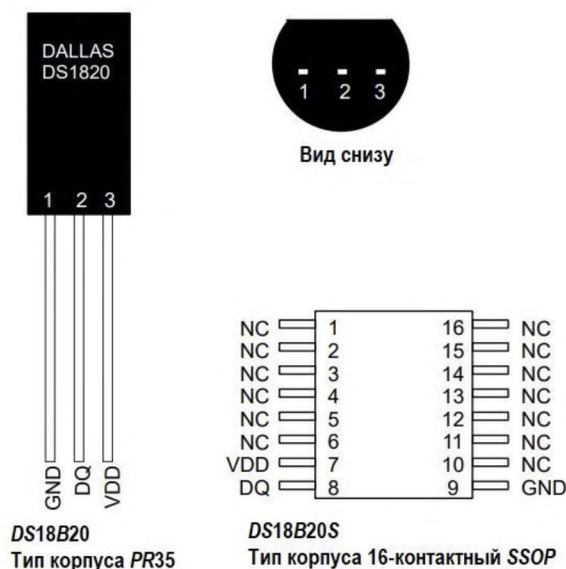


Рисунок 7 – Варианты корпуса датчика *DS1820*

Датчик *DS1820* производится с использованием корпусов *TO-92*, *SO* (модификация *DS18B20Z*) и *uSop* (модификация *DS18B20U*). Внешний вид данных корпусов представлен на рисунке ниже (Рисунок 8) [6].

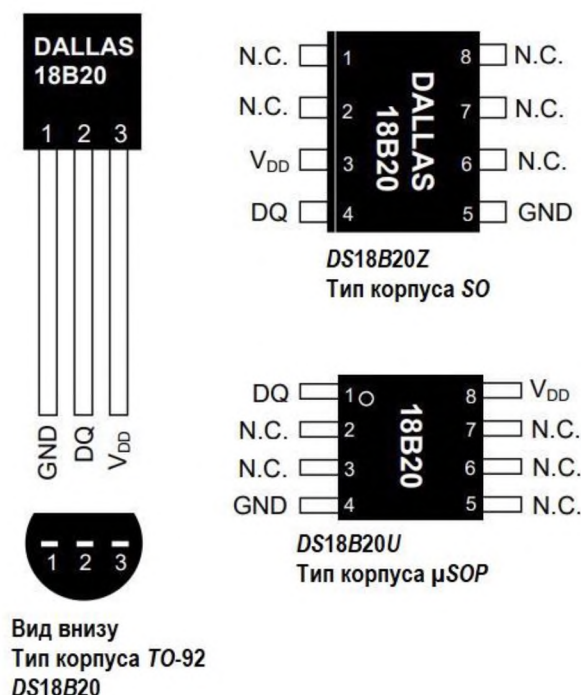


Рисунок 8 – Варианты корпуса датчика *DS1820*

Датчик *DS18S20* производится с использованием корпусов *TO-92* и *SO* (модификация *DS18S20Z*). Внешний вид данных корпусов представлен на рисунке ниже (Рисунок 9).

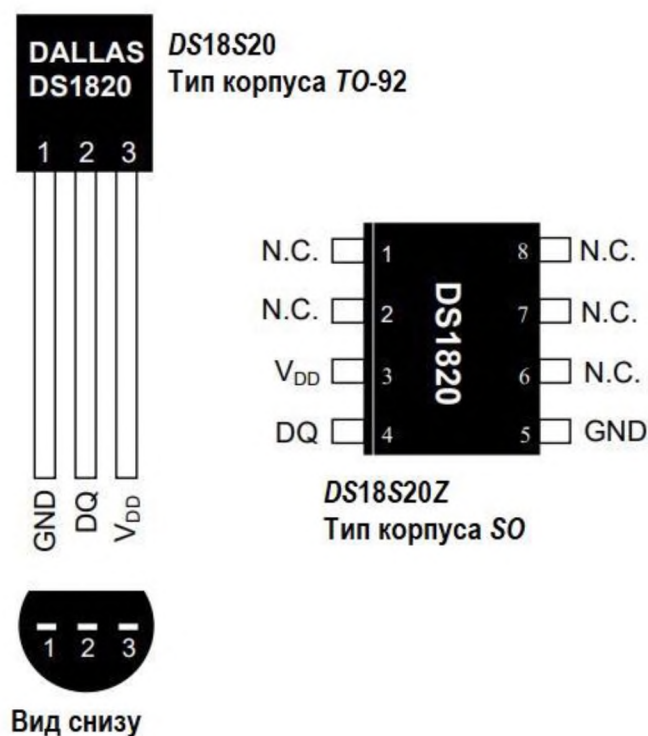


Рисунок 9 – Варианты корпуса датчика *DS18S20*

Произведем сравнительный анализ датчиков *DS1820*, *DS18S20* и *DS18B20* и сведем полученный результат в таблицу ниже (Таблица 1).

Таблица 1 – Отличия датчиков *DS1820*, *DS18S20* и *DS18B20*

Изделие	<i>DS1820</i>	<i>DS18S20</i>	<i>DS18B20</i>
Корпус	<i>PR-35</i> и <i>SSOP 16</i>	<i>TO-92</i> , <i>S0-8</i> , <i>uSop-8</i>	<i>TO-92</i> и <i>SO-8</i>
Разрядность	9-бит	9-бит	9-12-бит
Время преобразования	500 нс (максимум)	750 нс (максимум)	750 нс (максимум)
Точность измерения 0,5°C в следующей области	0°C...70°C	-10°C...85°C	-10°C...85°C
Питающее напряжение	4,5...5,5 В	3,0...5,5 В	3,0...5,5 В

Таким образом, основное отличие датчика *DS1820* от *DS18S20* и *DS18B20* состоит в доступности точных измерений при отрицательных температурах (до -10°C) и разрядности измеряемого значения температуры [7].

Датчик *DS1820* имеет 9 битовую разрядность измеряемого значения, а датчики *DS18B20* и *DS18S20* имеют разрядность от 9 бит до 12 бит. Таким образом, в датчиках *DS18B20* и *DS18S20* существует четыре условных уровня погрешности, которые соответствуют четырем уровням быстродействия и размерам числа:

- $0,5^{\circ}\text{C}$ (быстродействие 93,75 нс, число 9 бит);
- $0,25^{\circ}\text{C}$ (быстродействие 187,5 нс, число 10 бит);
- $0,125^{\circ}\text{C}$ (быстродействие 375 нс, число 11 бит);
- $0,0625^{\circ}\text{C}$ (быстродействие 750 нс, число 12 бит).

Более подробно рассмотрение датчиков *DS1820*, *DS18S20* и *DS18B20* произведем на примере *DS18B20* в связи с тем, что датчики имеют аналогичную структуру и принцип работы.

Датчик *DS18B20* имеет следующие технические характеристики:

- наличие индивидуального номера идентификации для каждого датчика в формате 64-битного значения;
- необходимость питающего напряжения номиналом $+3\dots+5.5\text{ В}$;
- диапазон измеряемой температуры от $-55\dots+125^{\circ}\text{C}$;
- погрешность выходной величины не более $0,5^{\circ}\text{C}$ при работе в диапазоне $-10\dots+85^{\circ}\text{C}$, в остальном рабочем диапазоне погрешность выходной величины не превышает 2°C ;
- выходная величина датчика представлена в 9-битном коде;
- быстродействие датчика (время представления измеренной температуры в цифровой код) 750 мс;
- датчик не требует дополнительной калибровки.

Рассмотрим структурную схему датчика *DS18B20*, которая представлена на рисунке ниже (Рисунок 10).

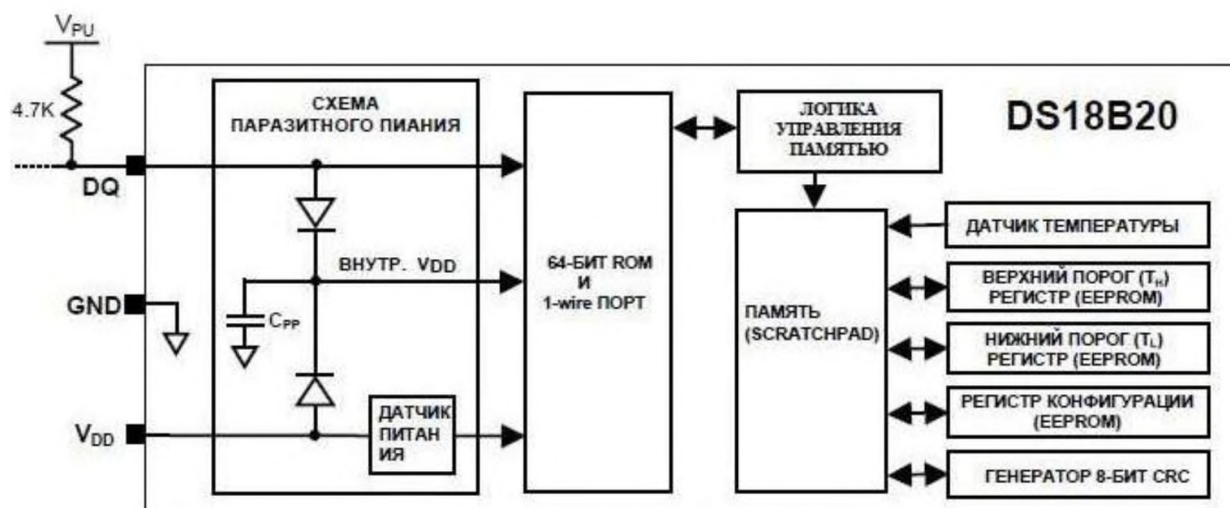


Рисунок 10 – Структурная схема датчика *DS18B20*

Датчик *DS18B20* состоит из следующих аппаратных компонент:

- блок №1 представляет собой блок питания, который работает в режиме обычного питания (питающее напряжение подается на входы *Vdd* и *Gnd*) или в режиме паразитного питания (вход *Vdd* подключается на вход *DQ*);
- блок №2 представляет собой интерфейс взаимодействия *1-wire* и энергозависимую память объемом 64-бита;
- блок №3 представляет собой регистр управления памятью, который предназначен для взаимодействия интерфейса *1-wire* и внутренней памяти (*Scratchpad*);
- датчик температуры позволяет измерять внешнее значение температуры;
- верхний и нижний регистры позволяют выставить предел измеряемой температуры и выдать сигнал при выходе за данные границы;
- регистр конфигурации предназначен для настройки разрешающей способности;
- генератор 8-бит предназначен для генерации значения контрольной суммы [8].

1.3.6 Достоинства и недостатки датчиков температуры. По результатам рассмотрения различных видов датчиков температуры были определены их

достоинства и недостатки. Для удобства рассмотрения, представим информацию в таблице ниже (Таблица 2).

Таблица 2 – Основные характеристики температурных датчиков

Вид датчика	Термопара	<i>RTD</i>	Термистор	Полупроводник	Цифровые интегральные (<i>DS18B20</i>)
Диапазон измерений, °C.	-200...+2300.	-200...+850.	0...+100.	-55...+150.	-10...+85.
Достоинства.	Высокая точность и воспроизводимость. Низковольтный выход.	Монотонность характеристик.	Сильная нелинейность.	Высокая точность и линейность. Нормированный выходной сигнал.	Имеют оптимальные характеристики по всем рассмотренным параметрам.
Недостатки.	Требуется компенсации напряжения.	Дороговизна. Требуется токового возбуждения.	Высокая чувствительность в начале диапазона.	Требуется токового возбуждения.	

1.4 Анализ схемотехнических решений

Рассмотрим аналоговые схемы электронных термометров.

1.4.1. Электронный термометр на основе транзистора КТ3107. Для измерения температуры используется эмиттерный переход транзистора *VT1* КТ3107. При сборке схемы следует использовать транзистор в металлокерамическом корпусе для лучшей теплопроводности.

Эмиттерный переход транзистора позволяет организовать измерение температуры в диапазоне $-25...125^{\circ}\text{C}$. Зависимость падения напряжения на эмиттерном переходе от температуры равна $0,002...0,0025\text{ В}/^{\circ}\text{C}$.

Схема электрическая принципиальная данного электронного термометра представлена на рисунке ниже (Рисунок 11).

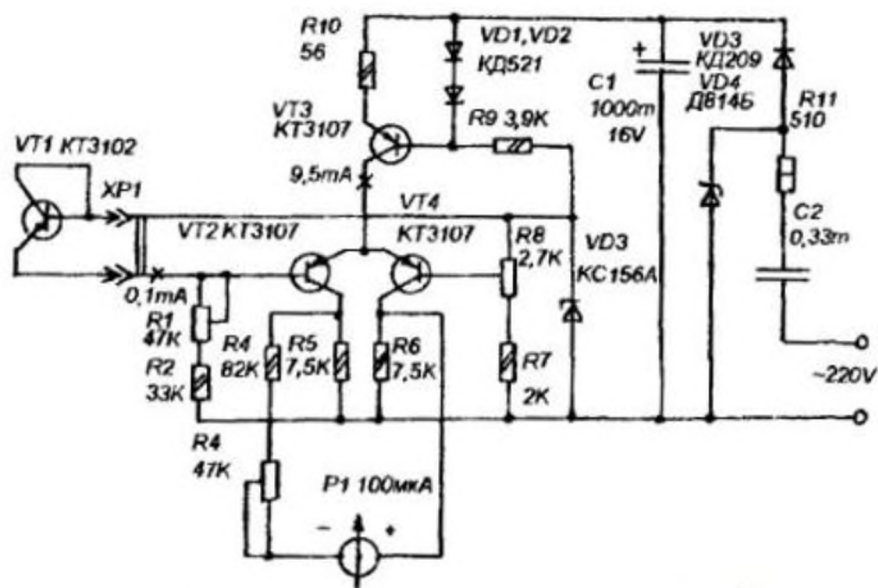


Рисунок 11 – Схема электрическая принципиальная электронного с датчиком температуры на основе транзистора KT3107

Протекающий ток через транзистор $VT1$ определяется сопротивлением цепи резисторов $R1$, $R2$ и равен 100 мкА. Падение напряжения на транзисторе $VT1$, пропорциональное окружающей температуре измеряется посредством вольтметра, организованного с помощью транзисторов $VT2$ и $VT4$. Стрелочный микроамперметр $P1$ с нулевой отметкой в середине шкалы используется для отображения результатов измерения.

Стабилизационная цепь входного сетевого напряжения представляет собой совокупность конденсаторов $C1$, $C2$ и диодов $VD3$, $VD4$.

Настройка данного электронного термометра сведена к градуировке при 0°C (требуется установить стрелку микроамперметра в ноль с помощью подстроечного резистора $R8$) и 100°C (требуется установить стрелку микроамперметра на максимум с помощью подстроечного резистора $R4$).

1.4.2 Электронный термометр на основе терморезистора СТЗ-19. В данном электронном термометре в качестве датчика температуры используется терморезистор $R8$ с номинальным сопротивлением 10 кОм. Индикация измеренного значения температуры организуется с помощью амперметра $PA1$ чувствительностью 50 мкА. Схема электрическая принципиальная рассматриваемого термометра, представлена на рисунке ниже (Рисунок 12).

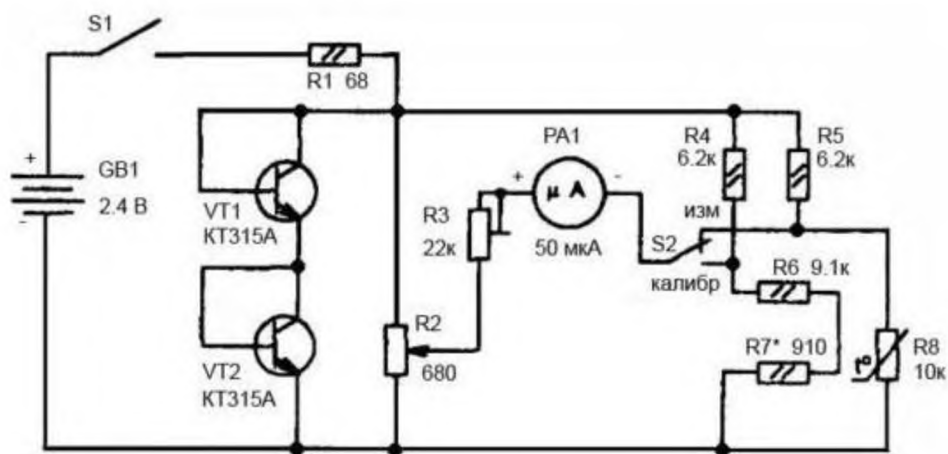


Рисунок 12 – Схема электрическая принципиальная ЭТ на основе терморезистора СТЗ-19

Следует отметить, что терморезистор $R8$ необходимо расположить на расстоянии от других электронных компонентов схемы. Данный термометр требует калибровки.

Точность данного термометра $0.3...0.4^{\circ}\text{C}$. Пределы измерения зависят от условий калибровки. Максимальной измеряемой температурой является 100°C [9].

Далее перейдем к рассмотрению цифровых схем электронных термометров.

1.4.3 Электронный термометр на основе полупроводникового терморезистора. При разработке цифровых термометров используют метод, при котором терморезистор (датчик температуры) входит в состав источника тока либо напряжения, к примеру, в части делителя напряжения.

Получается зависимость тока либо напряжения от температуры, поскольку сопротивление терморезистора, естественно, изменяется с изменением температуры.

Схема электрическая принципиальная электронного термометра на основе датчика температуры из полупроводникового терморезистора, представлена на рисунке ниже (Рисунок 13).

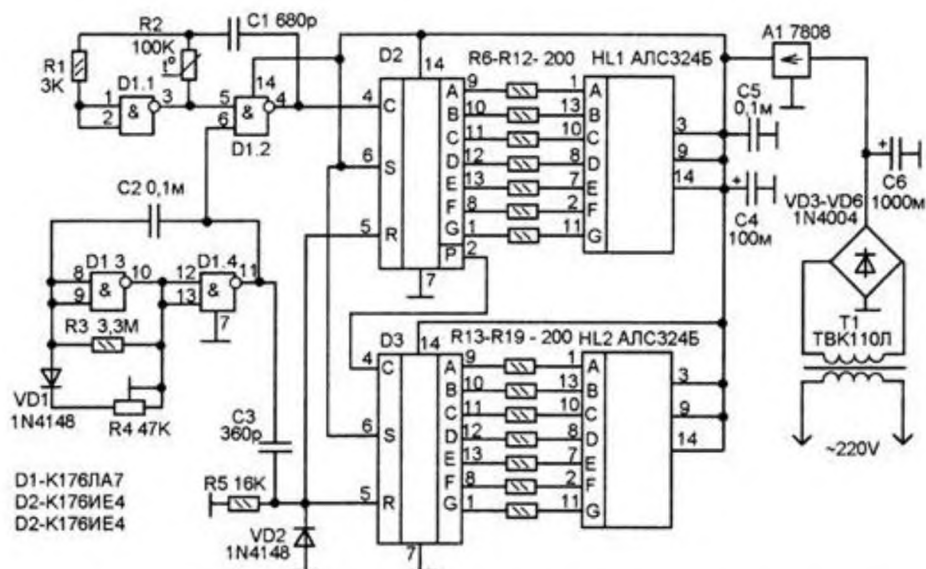


Рисунок 13 – Схема электронного термометра на основе полупроводникового терморезистора

Полупроводниковый терморезистор (датчик температуры) включен в частотозадающую цепь мультивибратора.

Таким образом, температуру можно измерять с помощью частотомера. В данном случае возникают сложности, связанные с тем, что все частотомеры предназначены для измерения частоты и имеют единицу измерения – Герцы.

Устройство способно точно измерять температуру в пределах $10...60^{\circ}\text{C}$ и погрешность не превышает 1°C . За этими пределами погрешность сильно увеличивается по причине неравномерности зависимости частоты мультивибратора от температуры датчика. В первую очередь это связано со сложностями индикации 0°C и отрицательных величин [10].

2 Разработка электронного термометра

2.1 Разработка структурной схемы

В данном разделе произведено техническое обоснование выбора составных компонентов разрабатываемого изделия.

2.1.1 Обоснование выбора температурного датчика. Обзор датчиков температуры, потенциально пригодных к использованию в разрабатываемом изделии, был произведен в подразделе 1.3.

Использование термопары, термистора или полупроводника в качестве датчика температуры, влечет за собой дополнительные схемотехнические сложности, так как протекающий в данных температурных датчиках ток не пропорционален изменению температуры. Для оцифровки данного сигнала будет требоваться дополнительный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). Кроме того, полученный результат нужно масштабировать в соответствии со шкалой Цельсия на каком-либо устройстве отображения.

Наличие дополнительных компонентов в виде АЦП и необходимость масштабирования усложняет схему разрабатываемого электронного термометра и тем самым повышает погрешность измеряемой температуры.

Таким образом, в результате аналитического анализа, было принято решение использовать в будущем электронном термометре цифровой датчик температуры *DS18B20* [11].

Внешний вид цифрового датчика температуры *DS18B20* в корпусе *TO-92*, представлен на рисунке ниже (Рисунок 14).



Рисунок 14 – Внешний вид датчика *DS18B20* в корпусе *TO-92*

2.1.2 Обоснование выбора устройства обработки и управления. Устройство обработки и управления (УОУ) может представлять собой сложную схему, состоящую из цифровых и аналоговых электронных компонентов при реализации аналогового электронного термометра.

В данном случае стоит задача разработать цифровой электронной термометр. В связи с этим, выбор УОУ сводится к выбору микроконтроллера, ПЛИС или изделия, которое в своем составе уже имеет микроконтроллер или ПЛИС.

Использование микроконтроллера или ПЛИС в одиночном исполнении усложняет процесс разработки электронного термометра, так как требует:

- работы в определенной среде разработки программного обеспечения, предоставляемой производителем МК или ПЛИС;
- использования дорогостоящих комплектов для диагностики и программирования;
- углубленных знаний для каждого МК или ПЛИС.

В связи с этим в качестве устройства обработки и управления (УОУ) было решено использовать популярное и изученное радиотехническое изделие

Arduino Uno. Данное изделие построено на базе микроконтроллера *ATmega328* и имеет следующие технические характеристики:

- рабочее напряжение – 5 В;
- входное напряжение – 7-12 В;
- количество цифровых входов/выходов – 14;
- количество аналоговых входов/выходов – 6;
- постоянный ток, протекающий через входы/выходы – 40 мА;
- флеш-память – 32 Кб;
- ОЗУ – 2 Кб;
- *EEPROM* – 1 Кб;
- тактовая частота – 16 МГц.

Внешний вид изделия *Arduino Uno* представлен на рисунках ниже (Рисунок 15, Рисунок 16).

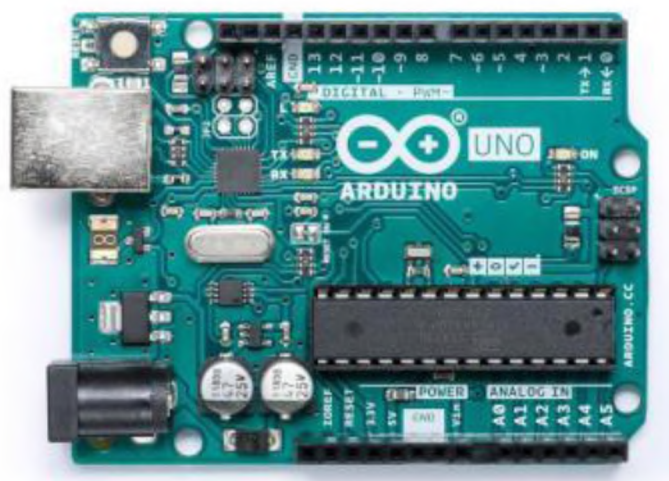


Рисунок 15 – Внешний вид *Arduino Uno* (лицевая часть)



Рисунок 16 – Внешний вид *Arduino Uno* (задняя часть)

Таким образом, УОУ на базе изделия *Arduino Uno* обрабатывает входные сигналы от цифрового датчика температуры *DS18B20*. Выходным сигналом изделия *Arduino Uno* является обработанная информация, полученная от *DS18B20*. Выходной сигнал поступает на устройство индикации [12].

2.1.3. Обоснование выбора устройства индикации. Устройство индикации (УИ) в общем случае может представлять собой аналоговое или цифровое изделие.

К аналоговым УИ относят стрелочные приборы измерения (амперметр или вольтметр). В случае использования аналогового УИ возникает необходимость различного рода калибровок и подстроек схемотехнических компонентов электронного термометра. Калибровка позволяет соотнести деления на шкале аналогового прибора со значениями измеряемой температуры. К примеру, 100 мА может соотноситься с 10 градусами Цельсия. Калибровка и подстройка негативно влияет на выходную точность измеряемой величины.

К цифровым УИ относят *LVDS* дисплеи и жидкокристаллические или светодиодные индикаторы. Для управления такими изделиями требуется микроконтроллер или иная цифровая схема управления. Микроконтроллер позволяет управлять индикаторами и в определенный момент включать нужные

сегменты. Цифровые УИ не нуждаются в калибровке и настройке, что позитивно сказывается на выходной точности измеряемой температуры.

В рамках данной работы используем цифровое УИ на основе семисегментного светодиодного индикатора. Данный индикатор представляет собой матрицу из семи светодиодов и дополнительного светодиода для специального символа (точка). Матрица светодиодов позволяет отобразить любую десятичную цифру при подаче определенной комбинации на вход индикатора. Внешний вид одной секции индикатора с указанием сегментов представлен на рисунке ниже (Рисунок 17).

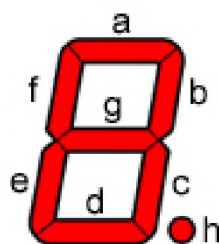


Рисунок 17 – Внешний вид секции семисегментного индикатора

Латинские буквы «*a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*» отвечают за отображение десятичного числа, а «*h*» позволяет отобразить точку.

Для отображений каких-либо числовых значений одного семисегментного индикатора становится не достаточно. С целью решения данной задачи используются несколько индикаторов. В таком случае возникает проблема нехватки выводов микроконтроллера для подключения всех индикаторов. Решением данной проблемы является применение программной динамической индикации [13].

В данной работе для отображения температуры в максимально возможном для выбранного датчика температуры диапазоне используется семисегментный индикатор с четырьмя секциями. Внешний вид данного индикатора показан на рисунке ниже (Рисунок 18).



Рисунок 18 – Семисегментный индикатор с четырьмя секциями

Следует отметить, что выбранный индикатор имеет схему подключения с общим анодом. Подробное рассмотрение подключения УИ с общим анодом произведено в пункте 2.2.2.

Таким образом, в качестве цифрового УИ выбран семисегментный светодиодный индикатор с четырьмя секциями, который будет исполнять информационные команды, полученные от изделия *Arduino Uno* [14].

2.1.4. Итоговая структурная схема. В соответствии с пунктами 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 была разработана электрическая структурная схема электронного термометра, которая представлена на рисунке ниже (Рисунок 19).

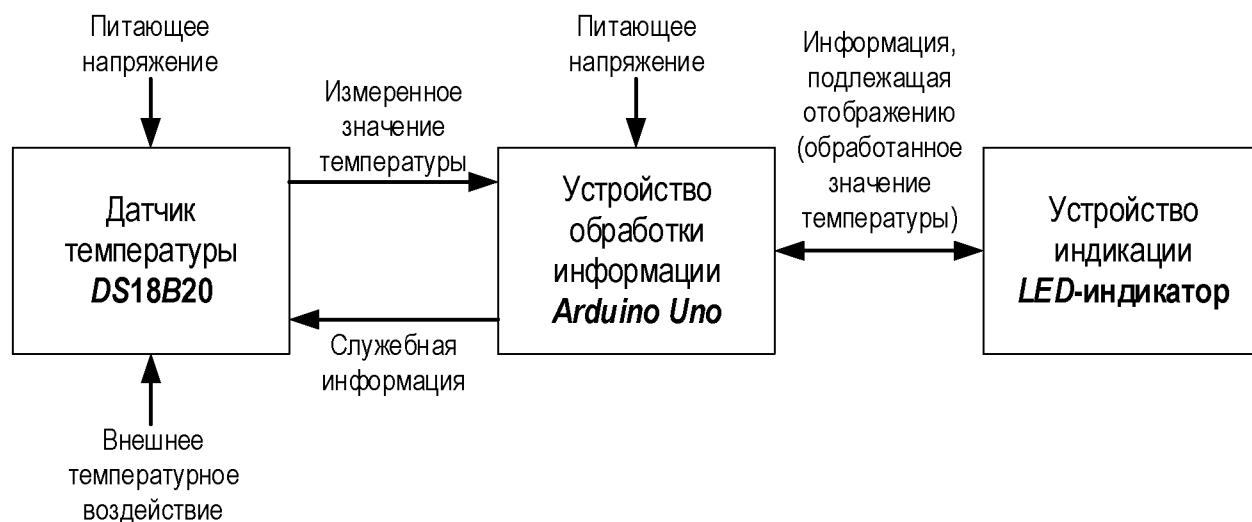


Рисунок 19 – Структурная схема разработанного электронного термометра

Таким образом, в основе разработанного изделия лежат три основные аппаратные компоненты:

- датчик температуры *DS18B20*;
- устройство обработки информации *Arduino Uno*;
- устройство индикации *LED*-индикатор.

2.2 Разработка электрической принципиальной схемы

В данном подразделе произведена разработка принципиальной схемы цифрового электронного термометра на основе ранее разработанной структурной схемы (Рисунок 19).

2.2.1 Принципиальная схема и способ подключения датчика температуры. Цифровой датчик температуры *DS18B20* в корпусе *TO-92* представляет собой микросхему с тремя выводами. Внешний вид *DS18B20* при изображении на схеме электрической принципиальной представлен на рисунке ниже (Рисунок 20).

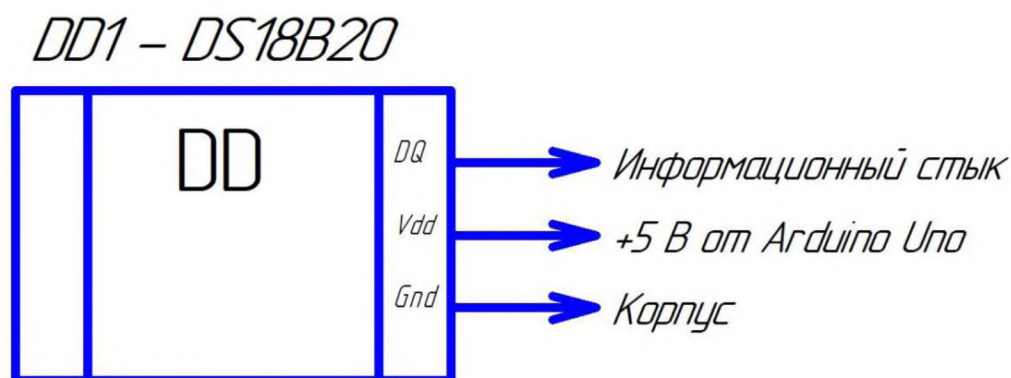


Рисунок 20 – Обозначение датчика температуры на схеме электрической принципиальной

Согласно концепции разрабатываемого изделия датчик *DS18B20* должен быть подключен к изделию *Arduino Uno* с целью приема и передачи информации. Передачи подлежит информация, содержащая измеренное значение температуры. Приемная информация, содержит управляющие сигналы, поступающие от *Arduino Uno*.

Конкретные подключения выходов *DS18B20* к входам *Arduino Uno* осуществляются, согласно принципам работы, как *DS18B20*, так и *Arduino Uno*. Датчик *DS18B20* имеет следующие возможные варианты подключения электропитания:

1. Прямое электропитание:

- выход *DQ* подключается к приемному входу «A0» *Arduino Uno* и через подтягивающий резистор *R1* номиналом 4,7 кОм к входу «+5 В» *Arduino Uno*;
- выход *Vdd* подключается к источнику питающего напряжения (в данном случае к входу «+5 В» *Arduino Uno*);
- выход *Gnd* подключается к корпусу (в данном случае к корпусу).

2. Паразитное электропитание:

- выход *DQ* подключается к приемному входу «A0» *Arduino Uno* и через подтягивающий резистор *R1* номиналом 4,7 кОм к входу «+5 В» *Arduino Uno*;
- выход *Vdd* подключается к выходу *Gnd* и далее на корпус;

– выход *Gnd* подключается к корпусу.

Электрическая принципиальная схема прямого способа подключения *DS18B20* представлена на рисунке ниже (Рисунок 21).

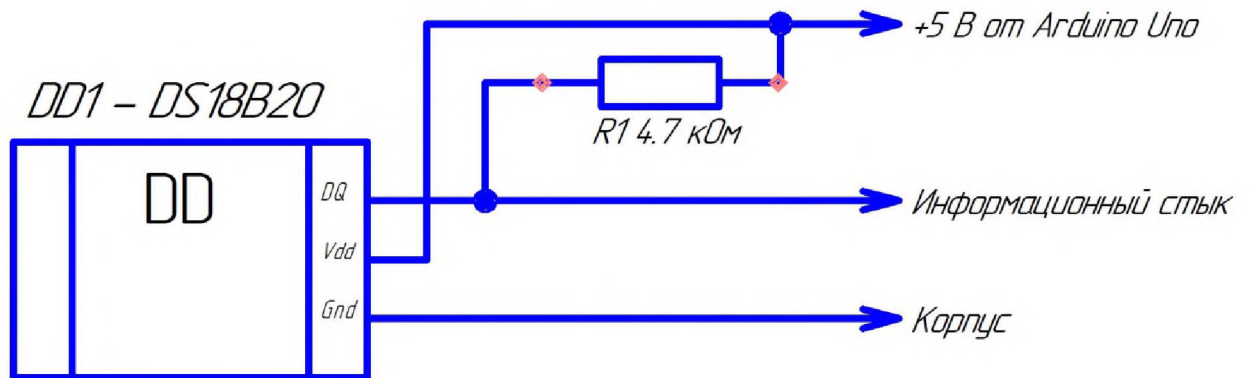


Рисунок 21 – Принципиальная электрическая схема подключения датчика прямым способом

Прямое подключение датчика требует постоянного наличия питающего напряжения на входе «*Vdd*» и обеспечивает максимально широкий интервал измерений температуры ($-55...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$) [16].

Электрическая принципиальная схема паразитного подключения *DS18B20* представлена на рисунке ниже (Рисунок 22).

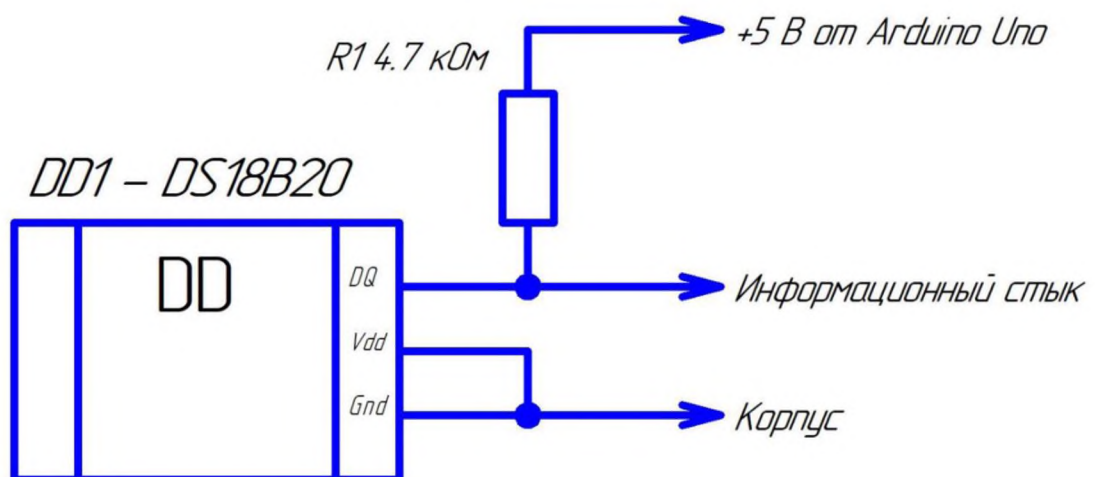


Рисунок 22 – Принципиальная электрическая схема подключения датчика паразитным способом

«Паразитное» подключение датчика позволяет организовать электропитание датчика по информационному входу «*DQ*».

Таким образом, в данном случае будет использован «прямой» способ электропитания датчика температуры. Следует отметить, что на рисунках присутствует резистор, наличие которого обусловлено архитектурой датчика (выход транзистора с открытым стоком). Номинал резистора $R1$ известен и заранее рассчитан (4,7 кОм).

2.2.2 Принципиальная схема и способ подключения УОУ. Изделие *Arduino Uno* представляет собой печатную плату с напаянными микросхемами и разъемами. Со схемотехнической точки зрения принято рассматривать данное изделие как микросхему. Принципиальная электрическая схема *Arduino Uno* представлена на рисунке ниже (Рисунок 23).

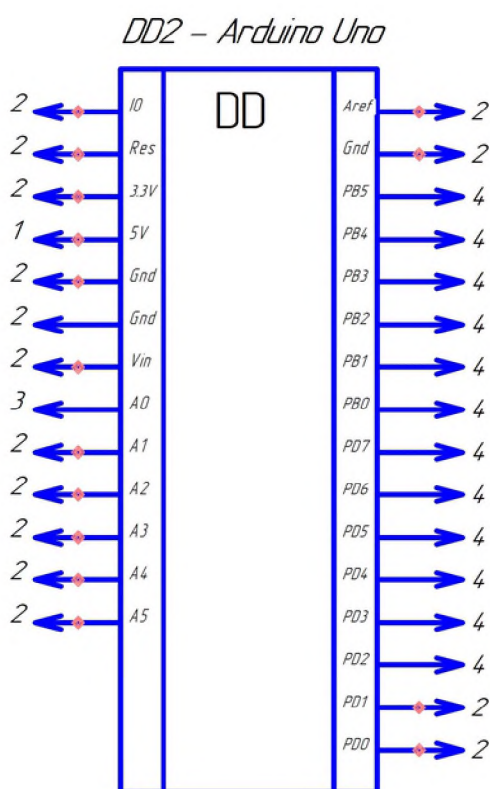


Рисунок 23 – Обозначение *Arduino Uno* на схеме электрической принципиальной

На рисунке 23 подключение контактов микросхемы, выполнено согласно информации в таблице ниже (Таблица 3).

Таблица 3 – Подключение контактов Arduino Uno

Цепь	Контакт
+5В	1
Корпус	2
Вход датчика <i>DQ</i>	3
Входы <i>LED</i> -индикатора	4

Назначение разъемов *Arduino Uno* рассмотрим в таблице ниже (Таблица 4).

Таблица 4 – Назначение разъемов Arduino Uno

Вывод	Назначение
Служебные контакты	
<i>IO</i>	Выходная информация о рабочем напряжении питания
<i>AREF</i>	Служит для подключения внешнего опорного напряжения АЦП (для функции <i>analogReference()</i> с параметром « <i>EXTERNAL</i> »)
<i>Res</i>	Контакт для реализации сброса
<i>3.3V</i>	Выходное стабилизированное напряжения номиналом 3.3 В и током 150 мА
<i>5V</i>	Выходное стабилизированное напряжение номиналом 5 В и током 1А
<i>Vin</i>	Подключение источника питания с диапазоном питающего напряжения от 7 В до 12 В
<i>Gnd</i>	Корпус
Контакты ввода и вывода	
<i>A0-A5</i>	Контакты АЦП с разрядностью 10 бит. Диапазон подачи напряжения до 5 В
<i>PD3, PD5, PD6, PB9-11</i>	Контакты широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Реализуют вывод аналогового сигнала в виде ШИМ-сигнала.
<i>PD0-PD2, PD4, PD7, PB0-PB8</i>	Контакты общего назначения

В рамках данной работы стоит задача подключить датчик температуры и устройство индикации к *Arduino Uno*. Более подробное подключение будет показано на общей принципиальной схеме разрабатываемого изделия.

2.2.3 Принципиальная схема и способ подключения устройства индикации. Устройство индикации представляет собой цифровую микросхему

с 16 выводами, принципиальная схема электрическая которой представлена на рисунке ниже (Рисунок 24).

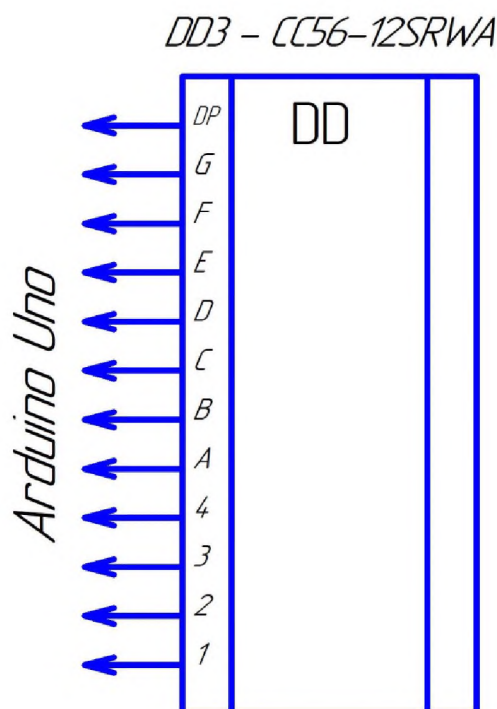


Рисунок 24 – Обозначение *LED*-индикатора на схеме электрической принципиальной

Перейдем к рассмотрению способа подключения УИ к УОУ. По схеме включения семисегментные индикаторы подразделяются на индикаторы с общим катодом и с общим анодом. Схема включения с общим анодом представлена на рисунке ниже (Рисунок 25).

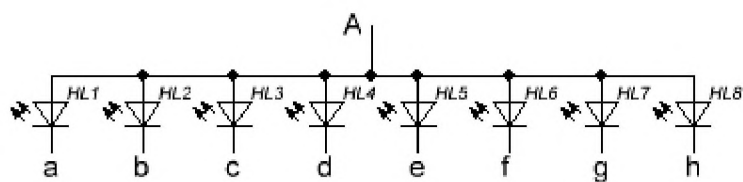


Схема индикатора с общим анодом

Рисунок 25 – Общая схема включения с общим анодом

Схема включения с общим катодом представлена на рисунке ниже (Рисунок 26).

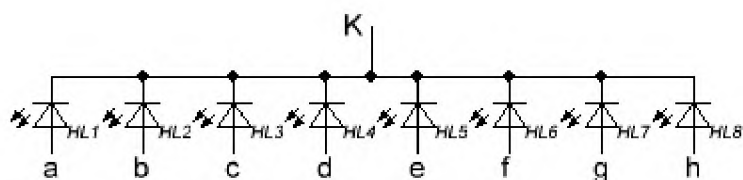


Схема индикатора с общим катодом

Рисунок 26 – Общая схема включения с общим катодом

Выбор схемотехнического решения индикатора (общий анод или общий катод) зависит от поставленной задачи. Если в разрабатываемом устройстве планируется управлять индикатором положительной амплитудой напряжения, то используется индикатор с общим анодом. В противоположном случае, используется индикатор с общим катодом. В данной работе будет использоваться индикатор с общим анодом.

На рисунке 26 подключение контактов микросхемы, выполнено согласно информации в таблице ниже (Таблица 5).

Таблица 5 – Подключение контактов *LED*-индикатора

Цепь <i>LED</i> -индикатора	Контакт <i>Arduino Uno</i>
<i>A, B, C, D, E, F, G, DP</i>	<i>PD6, PD7, PB0, PB1, PB2, PB3, PB4, PB5</i> соответственно
1, 2, 3, 4	<i>PD2, PD3, PD4, PD5</i> соответственно

Назначение разъемов *Arduino Uno* рассмотрим в таблице ниже (Таблица 6).

Таблица 6 – Назначение разъемов *LED*-индикатора

Вывод	Назначение
<i>A, B, C, D, E, F, G, DP</i>	Реализация отображения информации
1, 2, 3, 4	Питание (общие аноды)

Более подробное подключение будет показано на общей принципиальной схеме разрабатываемого изделия.

Следует отметить, что реализация индикации на *LED*-индикаторе, который имеет 4 сегмента по 7 секций – это программное решение, организованное с помощью библиотеки *Led4Digits.h*. [17].

2.2.4 Итоговая принципиальная схема. В соответствии с пунктами 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 была разработана итоговая принципиальная электрическая схема электронного термометра, которая представлена на рисунке ниже (Рисунок 27).

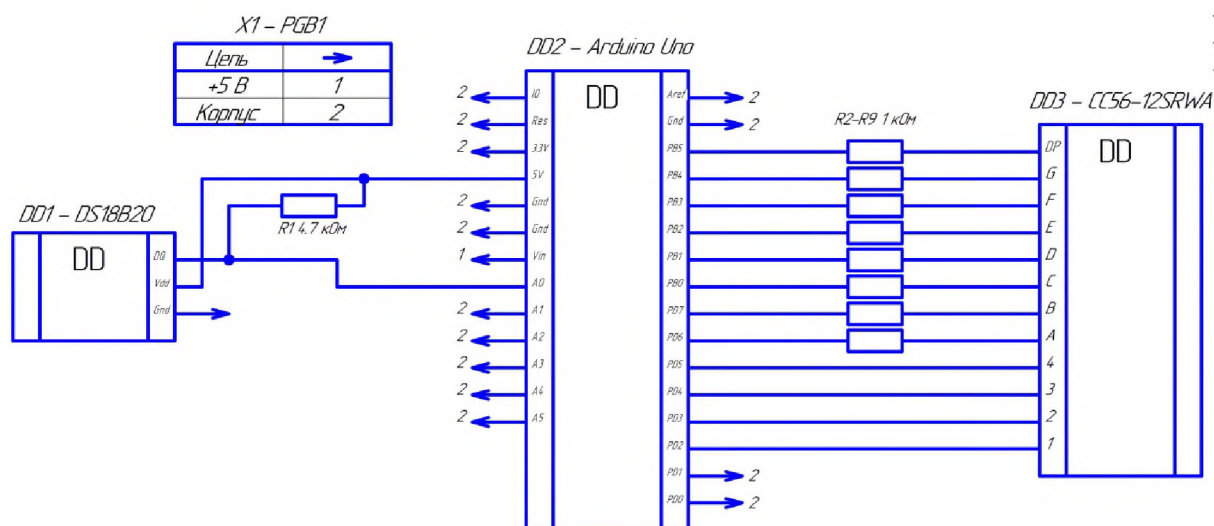


Рисунок 27 – Электрическая принципиальная схема электронного термометра

2.3 Разработка кода управляющей программы

В связи с тем, что *Arduino Uno* разработано на основе микроконтроллера *ATmega328*, то возникает потребность разработки управляющей программы с целью управления данным микроконтроллером и как следствие – управлением датчиком температуры и светодиодным индикатором.

Программирование *Arduino Uno* реализуется в среде программы *Arduino IDE* с помощью языка программирования *C++* с последующей компиляцией в ассемблерный код для микроконтроллера *ATmega328* и загрузкой прошивки. Основное рабочее окно среды *Arduino IDE* представлено на рисунке ниже (Рисунок 28).

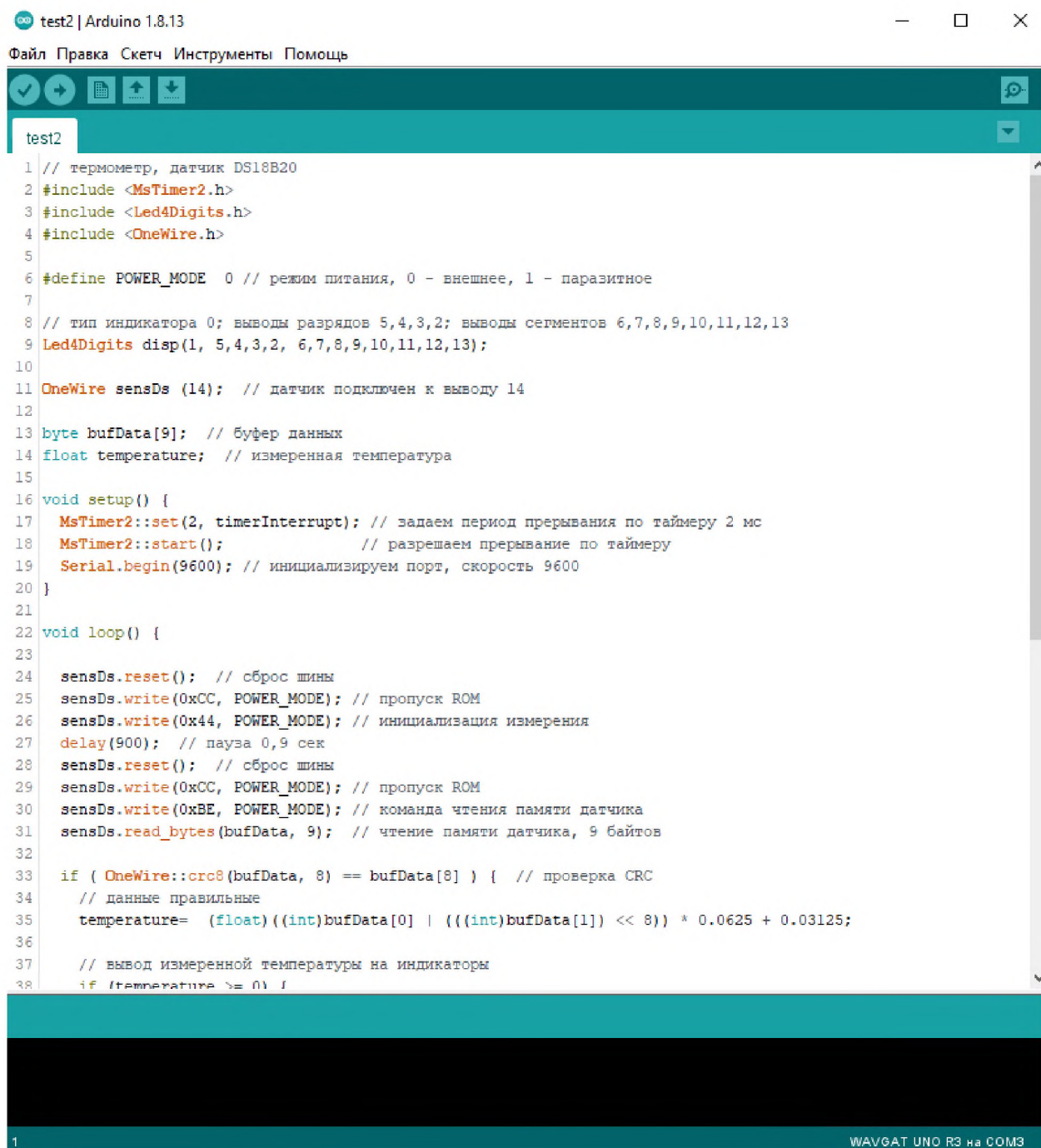


Рисунок 28 – Интерфейс программы *Arduino IDE*

Перейдем к рассмотрению исходного кода управляющей программы.

2.3.1 Код управляющей программы представлен ниже.

```

// термометр, датчик DS18B20
#include <MsTimer2.h>
#include <Led4Digits.h>
#include <OneWire.h>
#define POWER_MODE 0 // режим питания, 0 - внешнее, 1 - паразитное
// тип индикатора 1; выходы разрядов 5,4,3,2; выходы сегментов
6,7,8,9,10,11,12,13
Led4Digits disp(1, 5,4,3,2, 6,7,8,9,10,11,12,13);

```

```

OneWire sensDs (14); // датчик подключен к выводу 14

byte bufData[9]; // буфер данных
float temperature; // измеренная температура

void setup() {
    MsTimer2::set(2, timerInterrupt); // задаем период прерывания по
    таймеру 2 мс
    MsTimer2::start(); // разрешаем прерывание по таймеру
}

void loop() {

    sensDs.reset(); // сброс шины
    sensDs.write(0xCC, POWER_MODE); // пропуск ROM
    sensDs.write(0x44, POWER_MODE); // инициализация измерения
    delay(900); // пауза 0,9 сек
    sensDs.reset(); // сброс шины
    sensDs.write(0xCC, POWER_MODE); // пропуск ROM
    sensDs.write(0xBE, POWER_MODE); // команда чтения памяти датчика
    sensDs.read_bytes(bufData, 9); // чтение памяти датчика, 9
байтов

    if ( OneWire::crc8(bufData, 8) == bufData[8] ) { // проверка CRC
        // данные правильные
        temperature= (float)((int)bufData[0] | (((int)bufData[1]) <<
8)) * 0.0625 + 0.03125;
        // вывод измеренной температуры на индикаторы
        if (temperature >= 0) {
            // температура положительная
            disp.print((int)(temperature * 10.), 4, 1);
        }
        else {
            // температура отрицательная
            disp.print((int)(temperature * -1 * 10.), 3, 1);
            disp.digit[3]= 0x40; // отображается минус
        }
        disp.digit[1] |= 0x80; // зажечь точку второго разряда
    }
    else {
        // ошибка CRC, отображается ----
        disp.digit[0]= 0x40;
        disp.digit[1]= 0x40;
        disp.digit[2]= 0x40;
        disp.digit[3]= 0x40;
    }
}

//обработчик прерывания 2 мс
void timerInterrupt() {
    disp.regen(); // регенерация индикатора
}

```

2.3.2 Анализ используемых библиотек. В разработанной программе используется три типа внешних подключаемых библиотек:

- библиотека *MsTimer2.h*;
- библиотека *Led4Digits.h*;
- библиотека *OneWire.h*.

Библиотека *MsTimer2.h* представляет собой набор функций, который предназначен для реализации программного таймера с регулируемой задержкой. Библиотека содержит следующие функции:

- функция *MsTimer2::set(ms, (*f)())* – позволяет задавать произвольный временной интервал при помощи изменения аргумента *ms*. При завершении работы таймера с указанным временем *ms* будет вызвана функция *f*;

- функция *MsTimer2::start()* – позволяет включать прерывание;
- функция *MsTimer2::stop()* – позволяет отключать прерывание.

В разработанной программе используются следующие функции библиотеки *MsTimer2.h*:

- *MsTimer2::set(2, timerInterrupt)* – функция устанавливает задержку в две миллисекунды и по окончании вызывает функцию *timerInterrupt*;
- *MsTimer2::start()* – функция реализует прерывание по таймеру [18].

Библиотека *Led4Digits.h* представляет собой набор функций, предназначенный для управления *LED*-индикаторами. С помощью данной библиотеки реализуются следующие возможности:

- регулировка яркость свечения индикаторов;
- вывод информации в различном формате.

Библиотека состоит из следующих функций:

- *begin()* – функция предназначена для инициализации работы с индикатором;
- *clear()* – функция используется для очистки содержимого индикатора (выключение всех сегментов);

- *light*(число) – функция предназначена для установки яркости свечения индикатора (значение задается от 0 до 7);
- *point*(позиция, состояние) – функция используется для управления сегментами точек на индикаторе;
- *print*(значение [параметры ввода числа]) – функция реализует вывод информации на индикатор;
- *setLed*([[[[[байт №1], байт №2], байт №3], байт №4], флаг]) – функция производит установку сегментов индикатора по битам [19].

Библиотека *OneWire.h* представляет собой протокол обмена, который функционирует в асинхронном и полудуплексном режиме связи.

Особенностью данного протокола является разделение устройств в шине обмена на ведущие и ведомые. На одной шине обмена может быть несколько ведомых, но ведущий только один. В противном случае, может возникнуть конфликт и обмен данными нарушится.

По результатам рассмотрения структурной схемы датчика температуры (пункт 2.1.1) установлено, что датчик *DS18B20* подключен к *Arduino Uno* с помощью трехпроводной шины данных (данные, питание и земля). С точки зрения простоты и универсальности данная шина имеет перспективы к использованию, но с другой стороны шина имеет недостатки – низкая скорость передачи (максимум 9600 Бод в секунду) и плохая помехоустойчивость.

Рассматриваемый протокол имеет следующие уровни взаимодействия:

- физический уровень взаимодействия, который предназначен для реализации способов подключения, требований к шине передачи данных и шине питания.
- канальный уровень взаимодействия, который предназначен для реализации способов чтения и передачи информации;
- сетевой уровень взаимодействия, который описывает реализацию обращения и адресации к изделиям, находящимся на шине передачи данных;

- транспортный уровень, который описывает функциональные команды, которые используются изделиями, находящимися на шине передачи данных.

Библиотека *OneWire.h* имеет в своем составе следующие функции:

- *OneWire myWire(pin)* – функция
- *myWire.search(addrArray)* – функция предназначена для поиска адреса подключенного по шине устройства. В случае успешного нахождения устройства, массив *addrArray* заполняется адресом найденного устройства, а функция возвращает значение «*true*». В случае отсутствия найденных устройств функция возвращает значение «*false*»;
- *myWire.reset_search()* – функция предназначена для начала поиска устройств на шине;
- *myWire.reset()* – функция предназначена для сброса шины;
- *myWire.select(addrArray)* – функция предназначена для выбора устройства с адресом «*addrArray*». Данная функция подлежит к использованию после сброса;
- *myWire.skip()* – функция предназначена для пропуска выбора устройства подключения. Данная функция подлежит к использованию в случае использования только одного изделия на шине;
- *myWire.write(num, 1)* – функция предназначена для записи байта «*num*» и включения паразитного питания «1»;
- *myWire.read()* – функция предназначена для считывания байта;
- *myWire.crc8(dataArray, length)* – функция предназначена для расчета контрольной суммы (*CRC*) для массива данных [20].

2.3.3 Блок-схема программы. По результатам анализа кода управляющей программы установлено, что программа состоит из основной программы и модулей *setup*, *loop* и *timerInterrupt*. Изобразим блок-схему основной программы на рисунке ниже (Рисунок 29).

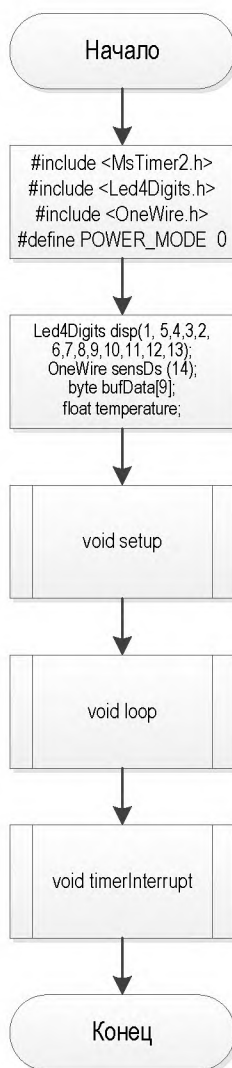


Рисунок 29 – Блок-схема основной программы

Далее, перейдем к рассмотрению блок-схем модулей управляющей программы. Блок-схема модуля *setup* представлена на рисунке ниже (Рисунок 30).

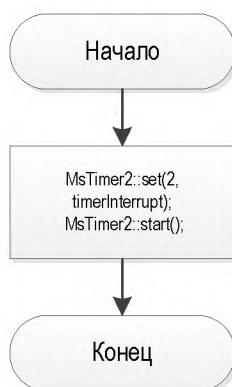


Рисунок 30 – Блок-схема модуля *setup*

Блок-схема модуля *loop* представлена на рисунке ниже (Рисунок 31).

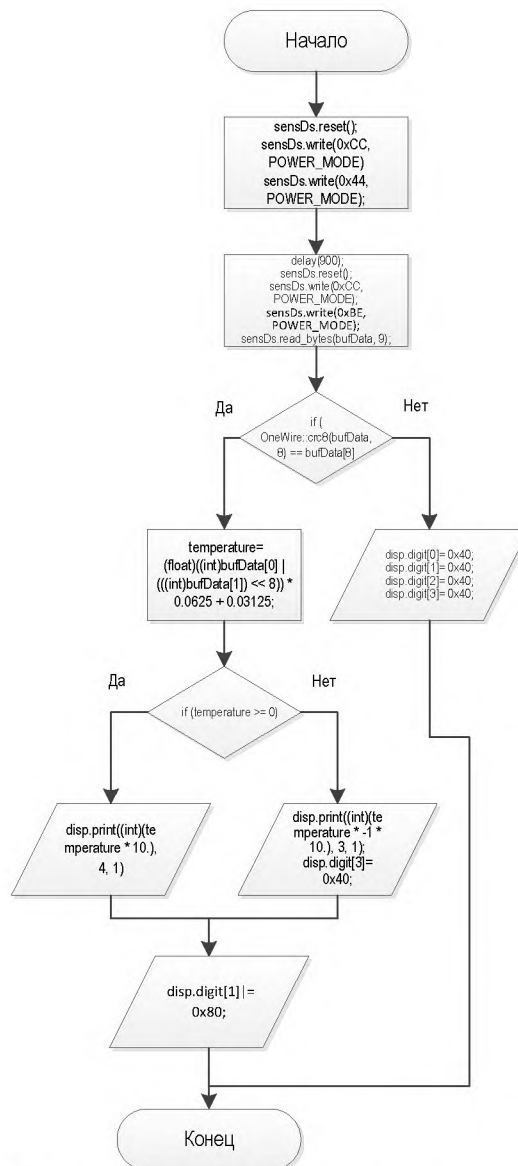


Рисунок 31 – Блок-схема модуля *loop*

Блок-схема модуля *timerInterrupt* представлена на рисунке ниже (Рисунок 32).

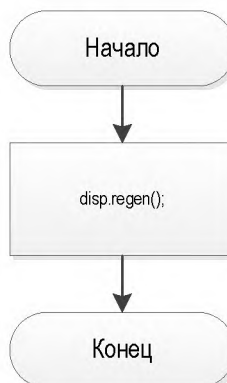


Рисунок 32 – Блок-схема модуля *timerInterrupt*

2.4 Моделирование и отладка изделия

2.4.1 Моделирование изделия в программе *Proteus ISIS 7.7*. Произведем моделирование принципиальной электрической схемы разработанного электронного термометра. Учтем, что в составе изделия присутствует микроконтроллер, тогда для моделирования работы следует использовать программу *PROTEUS ISIS 7.7*. Данная программа имеет специализацию, направленную на моделирование электрических схем, имеющих в составе микроконтроллеры.

Собранная схема и результаты моделирования электронного термометра в программе *PROTEUS ISIS 7.7* представлены на рисунке ниже (Рисунок 33).

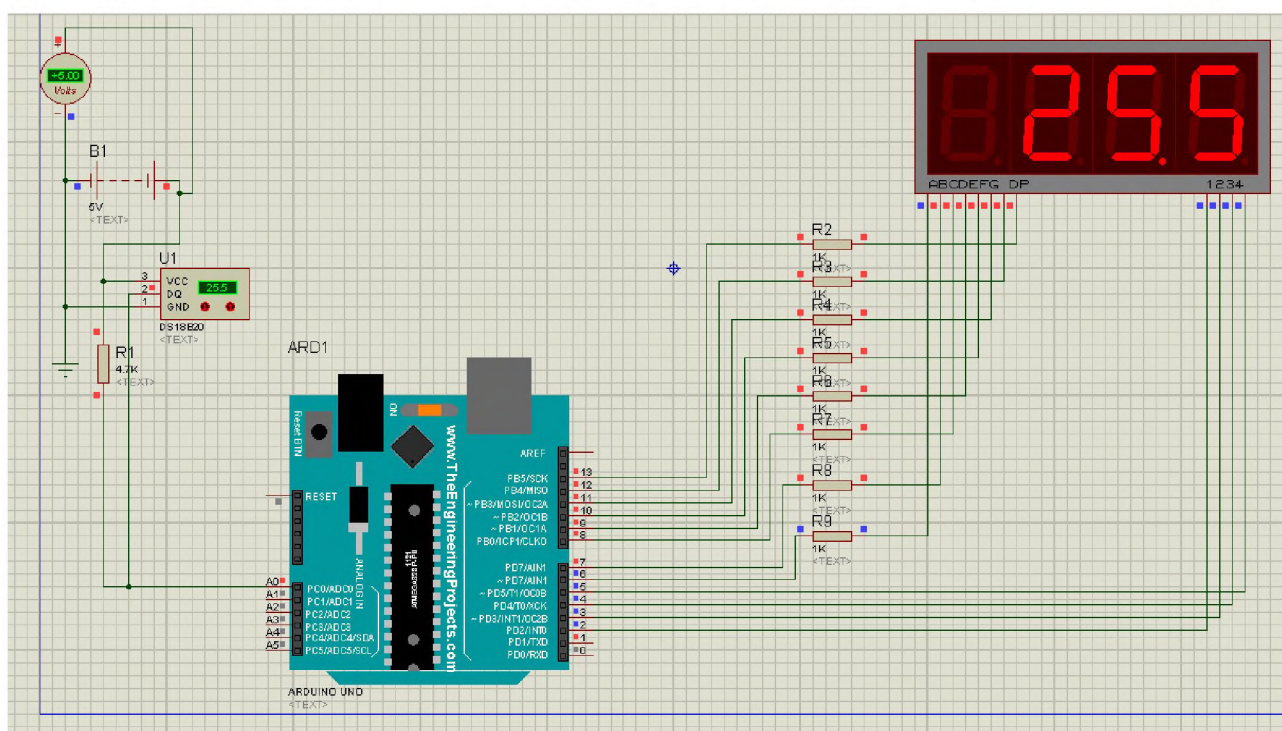


Рисунок 33 – Результат моделирования электронного термометра в программе *PROTEUS ISIS 7.7*

2.4.2 Загрузка прошивки и тестирование изделия. Для прошивки исполняемого файла программы используется *Arduino IDE*. Исходный код программы, представленный в пункте 2.3.2 подлежит компиляции и переводу в ассемблер.

Внешний вид диалогового окна *Arduino IDE* при успешном процессе компиляции, переводе в ассемблер и загрузки прошивки в микроконтроллер представлен на рисунке ниже (Рисунок 34).

```
Скетч использует 6904 байт (23%) памяти устройства. Всего доступно 29696 байт.  
Глобальные переменные используют 299 байт динамической памяти.
```

Рисунок 34 – Диалоговое окно *Arduino IDE* после компиляции программы и загрузки в память микроконтроллера

Внешний вид опытного образца электронного термометра с загруженной прошивкой и подключенным питанием представлен на рисунке ниже (Рисунок 35). Тестирование работы происходит при комнатной температуре.

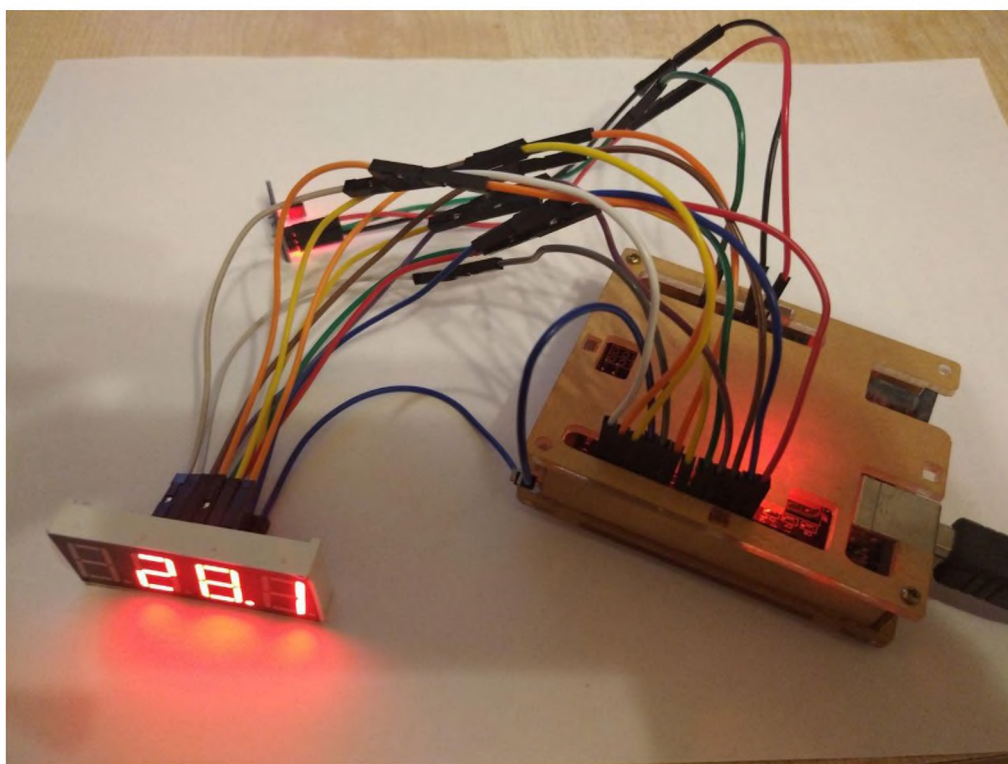


Рисунок 35 – Опытный образец электронного термометра

3 Экономический расчет себестоимости изделия

3.1 Расчет стоимости основных аппаратных комплектующих

В разработанном электронном термометре используются три основные аппаратные комплектующие:

- датчик температуры *DS18B20*;
- плата *Arduino Uno*;
- *LED*-индикатор.

Анализ рыночной стоимости используемых аппаратных компонент произведем на основе обзора цен из трех источников (магазинов). Выполним расчет средней стоимости каждой комплектующей по формуле 1:

$$S_N = \frac{b_1 + b_2 + b_3}{3} \quad (1)$$

В формуле 1 использованы следующие обозначения:

- S_N – средняя стоимость изделия номера N в рублях;
- b_{1-3} – стоимость изделия из источников №1-3 соответственно в рублях.

Произведем расчет средней стоимости датчика *DS18B20* по формуле 2.

$$S_1 = \frac{b_1 + b_2 + b_3}{3} = 193 \text{ руб.} \quad (2)$$

Далее, выполним расчет средней стоимости платы *Arduino Uno* по формуле 3.

$$S_2 = \frac{b_1 + b_2 + b_3}{3} = 865 \text{ руб.} \quad (3)$$

Расчет средней стоимости *LED*-индикатора произведен по формуле 4.

$$S_3 = \frac{b_1 + b_2 + b_3}{3} = 213 \text{ руб.} \quad (4)$$

Результаты вычислений по формулам 2-4 сведем в таблицу ниже (Таблица 7).

Таблица 7. Расчет стоимости основных аппаратных компонент

№ источника	Стоимость	Средняя стоимость
DS18B20		
1	190	193 руб.
2	230	
3	220	
Arduino Uno		
1	980	865 руб.
2	765	
3	850	
LED-индикатор		
1	200	213 руб
2	250	
3	190	

Выполним расчет итоговой стоимости основных аппаратных комплектующих разработанного изделия по формуле 5.

$$Ak = S_1 + S_2 + S_3 = 193 + 865 + 213 = 1271 \text{ руб.} \quad (5)$$

Таким образом, стоимость закупки основных аппаратных компонент для изготовления опытного образца электронного термометра составит 1271 руб.

3.2 Расчет стоимости дополнительных электронных деталей

Для окончательной сборки электронного термометра, кроме уже рассмотренных в подразделе 3.1, основных комплектующих, требуются следующие радиоэлектронные изделия:

- резистор постоянный 4.7 кОм (мощностью 0.1 Вт);
- резисторы (8 штук) постоянные номиналом 1 кОм (мощностью 0.1 Вт);
- провода макетные.

Стоимость вышеописанных изделий взята из одного источника (магазина) и показана в таблице ниже (Таблица 8).

Таблица 8. Расчет стоимости основных аппаратных компонент

Наименование	Стоимость за единицу
Резисторы 4.7 кОм	4 руб.
Резистора 1 кОм	4 руб.
Провода макетные	200 руб.

Выполним расчет итоговой стоимости дополнительных электронных изделий по формуле 6.

$$Ad = S_1 + S_2 + S_3 = 4 + 32 + 200 = 236 \text{ руб.} \quad (6)$$

В формуле 6 использованы следующие обозначения:

– S_{I-3} – стоимость изделия номера N в рублях.

Таким образом, стоимости закупки дополнительных электронных изделий для изготовления опытного образца электронного термометра составит 54 руб.

3.3 Расчет итоговой стоимости изготовления опытного образца

Итоговый расчет стоимости изготовления опытного образца электронного термометра произведем по формуле 7 с учетом значений, полученных по формуле 5 и формуле 6.

$$Ist = Ak + Ad = 1271 + 236 = 1507 \text{ руб.} \quad (7)$$

В формуле 7 использованы следующие обозначения:

– Ak – стоимость основных аппаратных комплектующих, рассчитанная по формуле 5;

– Ad – стоимость дополнительных аппаратных комплектующих, рассчитанная по формуле 6.

Таким образом, стоимость изготовления опытного образца разработанного электронного термометра составила 1507 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе выполнения магистерской диссертации был спроектирован и собран опытный образец электронного термометра в соответствии с ТЗ, а также разработан следующий комплект конструкторской документации:

- схема электрическая структурная электронного термометра;
- схема электрическая принципиальная электронного термометра и соответствующий перечень элементов.

Вышеперечисленные схемы находятся в приложениях к настоящей пояснительной записке.

Моделирование разработанного электронного термометра с помощью программы *PROTEUS ISIS 7.7* подтвердило правильность используемых аппаратно-программных решений. Собранный опытный образец функционирует в штатном режиме и соответствует требованиям ТЗ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шустов М. А. Цифровая схемотехника //Основы построения,-СПб: Наука и Техника. – 2018.
2. Котова Ю. Е., Захаренко Л. А. Схемотехника в системах управления. Цифровая схемотехника. – 2019.
3. Бакшеева Ю. В., Сапожникова К. В., Тайманов Р. Е. Резистивные датчики температуры с метрологическим самоконтролем //Датчики и системы. – 2011. – № 4.
4. Смирнов В. М., Филатов В. Н. Многоканальный измеритель температуры //Радиотехнические, оптические и биотехнические системы. Устройства и методы обработки информации. – 2020.
5. Громов В. С., Шестимеров С. М., Увайсов С. У. Современные полупроводниковые интегральные датчики температуры //Датчики и системы. – 2010. – № 12.
6. Шитиков А. Цифровые датчики температуры от Dallas Semiconductor //Компоненты и технологии. – 2001. – №. 12.
7. Андреев В. В., Перминова А. Д. Интегральный датчик температуры //Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2020. – №. 1.
8. Шахбиев И. В., Байсугурова М. Р., Садыков Х. А. Применение датчиков температуры *DS18B20* в многоканальных системах контроля температуры //Миллионщиков-2019. – 2019.
9. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – 2017.
10. Муханин Л. Г. Схемотехника измерительных устройств. – 2019.
11. Дартан А. Д., Куулар Д. О. Создание электронного термометра на Arduino //Научные труды Тувинского государственного университета. – 2018.
12. Корнев А. С., Никитин Л. Н., Чирков О. Н. Электронный термометр повышенной точности //Проблемы обеспечения надежности и качества прибора, Устройства и системы. – 2019.

13. Могировская А. С., Маломан Д. С., Шевченко Н. В. Электронный термометр с памятью //Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций" РТ-2016". – 2016.
14. Анатычук Л. И., Кобылянский Р. Р., Романюк С. Б. Электронный медицинский термометр с термоэлектрическим источником питания. – 2015.
15. Моисеева Н. П., Григорьев С. В. Новый эталонный термометр *LTA*. Исследование точности и надежности в процессе эксплуатации //Приборы. – 2019. – №. 2.
16. Лабазюк А. С., Кислов В. Л., Малышев А. А. Термометр электронный лабораторный. – 2012.
17. Штерн Ю. И. Математические модели и аппаратно-программные средства для высокоточных электронных измерителей температуры //Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2013. – №. 1.
18. Муреев П. Н., Макаров А. Н., Иванов А. В. Измерения температуры наружной конструкции стен контроллерами на базе *Arduino* //Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции. – 2018.
19. Лаптева А. И. Анализ стандартного кода для датчиков *HC-SR501*, *DS18B20* //Научный электронный журнал Меридиан. – 2019. – №. 14.
20. Симак А. С., Кривошеев С. В. Программная модель температурного датчика *DS18B20* //Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2019). – 2019.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Задание на магистерскую диссертацию

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой

Аверин И.А.

(фамилия, имя, отчество)

«20» мая 2021 г.

З А Д А Н И Е

на выпускную квалификационную работу магистра

1. Студент гр. 19ПДм1 факультета информационных технологий и электроники

Направление 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Магистерская программа Нано- и микроэлектроника

Борисов Владислав Михайлович

(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Вольсков Андрей Александрович

(фамилия, имя, отчество)

3. Тема выпускной работы Электронный термометр

Тема утверждена приказом ПГУ № 343а/о от «12.05.2021»

4. Техническое задание на выпускную работу:

Разработать электронный термометр со следующими основными параметрами:

1. Цифровая схемотехническая реализация изделия.

2. Диапазон измеряемой температуры: от -10 °С до +85 °С

3. Точность измерения температуры в диапазоне указанном в п.2: 0.5 °С

4. Напряжение питания – от +7В до +12В.

5. Постоянный ток через входы/выходы не более 50 мА.

6. Потребляемая мощность не более 200 мВ.

5. Объем и содержание основной части выпускной работы

5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

1 Сведения об электронных термометрах

1.1 Назначение электронных термометров

1.2. Виды электронных термометров

1.3 Датчики электронных термометров

1.4. Анализ схемотехнических решений

2 Разработка электронного термометра

2.1 Разработка структурной схемы

2.2. Разработка электрической принципиальной схемы

2.3 Разработка кода управляющей программы

3 Экономический расчет себестоимости изделия

3.1 Расчет стоимость основных аппаратных комплектующих

7. Календарный план по выполнению выпускной работы магистра

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
1. Сведения об электронных термометрах	20 %	22.05.2021 г.	
2. Разработка электронного термометра	50 %	26.05.2021 г.	
3. Экономический расчет себестоимости изделия	10 %	28.05.2021 г.	
4. Графическая часть	10 %	29.05.2021 г.	
5. Оформление ПЗ	10 %	30.05.2021 г.	

Руководитель выпускной работы


подпись

Вольсков А.А.

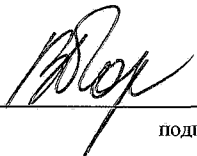
фамилия, инициалы

Дата выдачи задания

«20» мая

2021 г.

Задание к исполнению принял


подпись

Борисов В.М.

фамилия, инициалы

«20» мая

2021 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета


подпись

Кревчик В.Д.

фамилия, инициалы

«18» июня 2021 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Схема электрическая структурная электронного термометра

1E 100 707011 6J11

Сорав. №

Перв. примен.

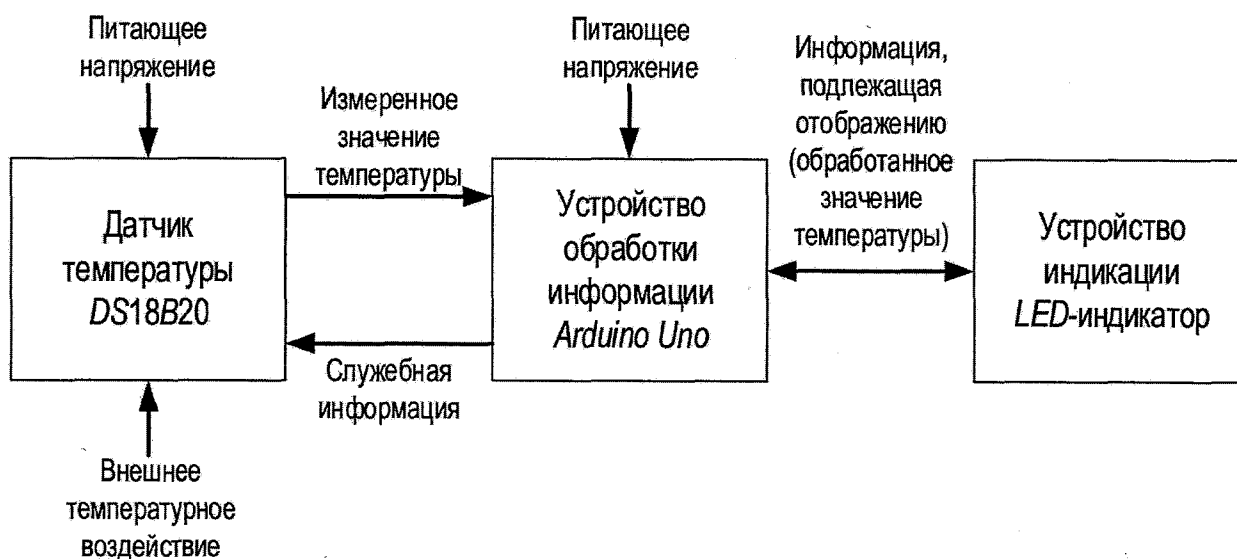
Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № подл.

Подп. и дата

Инв. № подл.



ПГУ 11.04.04. 001 Э1

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Барисов В.М.	<i>[Signature]</i>	16.06.21
Проб.		Вольсков А.А.	<i>[Signature]</i>	18.06.21
Т.контр.				
Н.контр.		Рыжова Т.Н.	<i>[Signature]</i>	18.06.21
Утв.				

Электронный термометр
Схема электрическая структурная

Лит.	Масса	Масштаб
Лист	Листов	1

Каф. "НУМЭ"
гр. 19ПДМ1

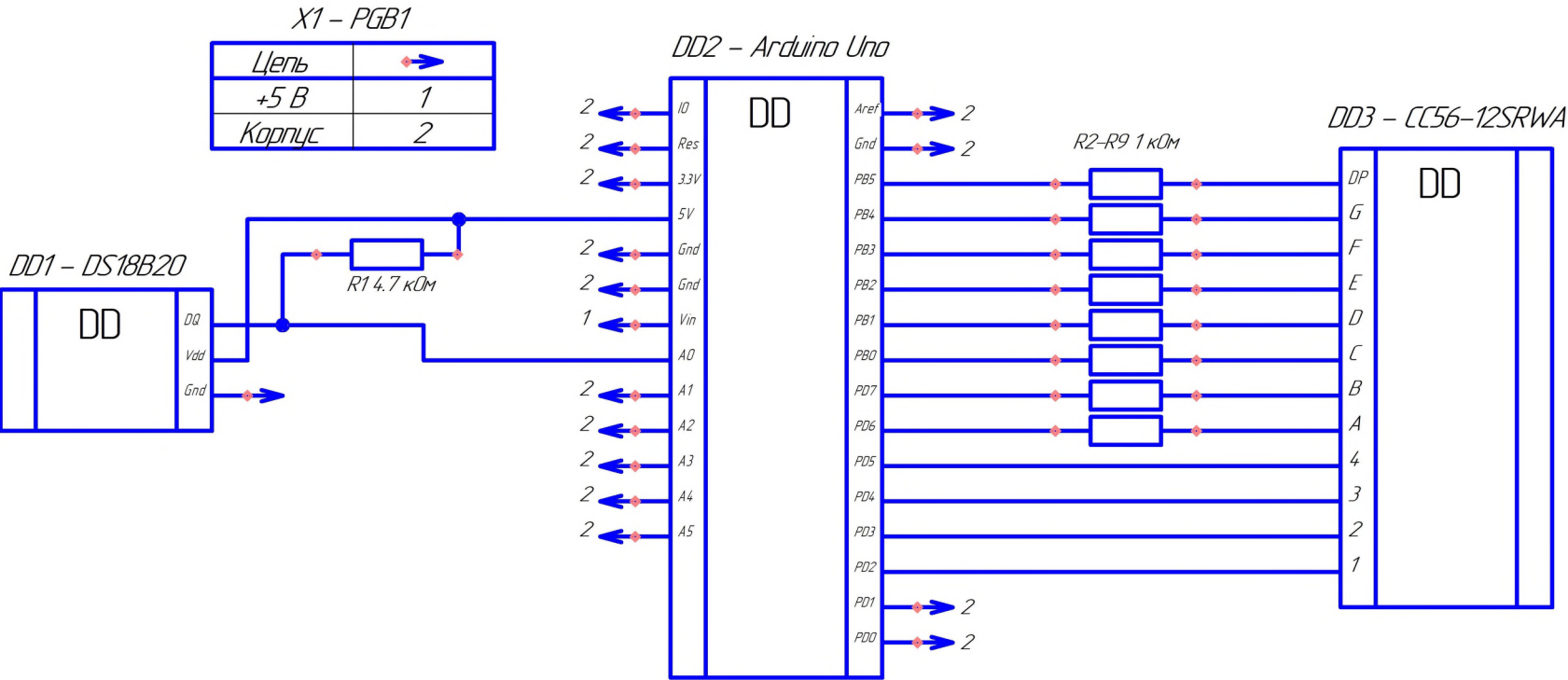
Копировал

Формат А4

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Схема электрическая принципиальная электронного термометра



ПГУ 11.04.04. 001 33					Электронный термометр		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Схема электрическая принципиальная	Лист	Масштаб
Разраб.	Борисов В.М.	16.06.21	16.06.21	16.06.21		Масштаб	Масштаб
Проб.	Вольская А.А.	16.06.21	16.06.21	16.06.21	Лист 1		
Т.контр.					Каф. "ИУМЭ"		
И.контр.	Рыжова Т.К.	16.06.21	16.06.21	16.06.21	гр. 19ПДМ1		
Умб.					Формат А3		

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

Заявление и протокол проверки магистерской диссертации на оригинальность

Ректору Пензенского
государственного университета
А.Д. Гулякову
студента 2 курса ФИТЭ
очной формы обучения
Борисова Владислава Михайлович

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Борисов Владислав Михайлович, студент 2 курса очной формы обучения направления подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника магистерская программа «Нано- и микроэлектроника», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» магистерской диссертации на тему «Электронный термометр», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программа магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.

Подпись студента
Борисов В.М. [подпись]

ВКР представлена на проверку

Руководитель ВКР *[подпись]* А.А. Вольсков

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Электронный термометр» студента 2 курса В.М. Борисова направления подготовки/специальности 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»
профиля/магистерской программы Нано- и микроэлектроника
Руководитель ВКР Вольсков Андрей Александрович



СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ ANTIPLAGIAT.VUZ

Автор работы: Борисов Владислав Михайлович
Самодитирование
рассчитано для: Борисов Владислав Михайлович
Название работы: Электронный термометр
Тип работы: Магистерская диссертация
Подразделение: Кафедра «Нано- и микроэлектроника»

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ отчет о проверке корректировался ниже представлены результаты проверки до корректировки

ЗАИМСТВОВАНИЯ	27.09%	ЗАИМСТВОВАНИЯ	27.09%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	67.41%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	67.41%
ЦИТИРОВАНИЯ	5.5%	ЦИТИРОВАНИЯ	5.5%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 16.06.2021

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 17.06.2021 08:54

Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования издательства Wiley (RuEn); eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ; Медицина; Диссертации НББ; Перефразирование по eLIBRARY.RU; Перефразирование по Интернету; Патенты СССР, РФ, СНГ; Модуль поиска "ПУ"; СМИ России и СНГ; Шаблоны фразы; Кольцо вузов; Издательство Wiley; Переводные заимствования

Работу проверил: Головашкин Алексей Николаевич

Ф.И.О. проверяющего

Дата подписи:

18.06.2021.

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Отчет на контроле, выявлены ли обнаруженные заимствования
корректировки, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

18.06.2021

А. А. Вольсков

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(обязательное)
Презентация

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Выпускная квалификационная работа
на тему:
«Электронный термометр»

Выполнил:
студент группы 19ПДм1
Борисов В.М.
Руководитель:
к.т.н., доцент, ПГУ
Вольсков А.А.

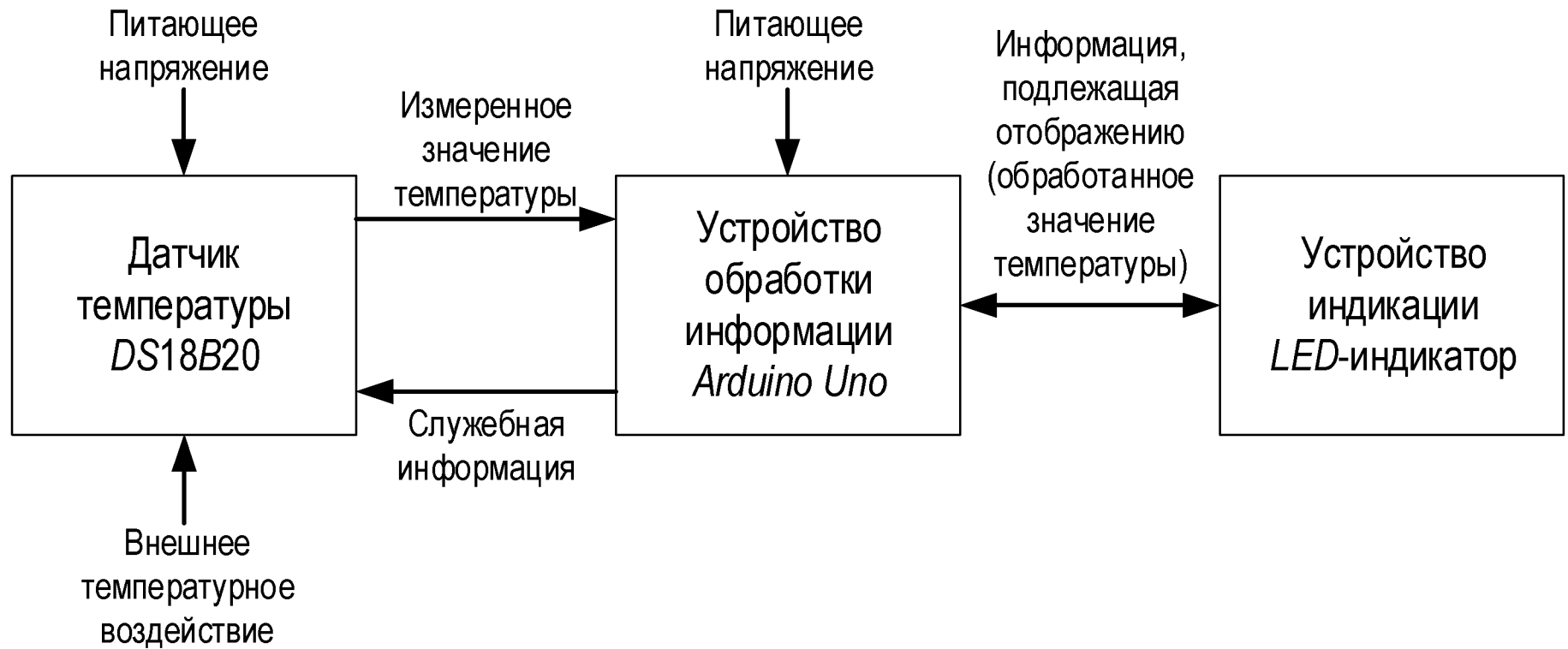
Цели и задачи ВКР

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование электронного термометра.

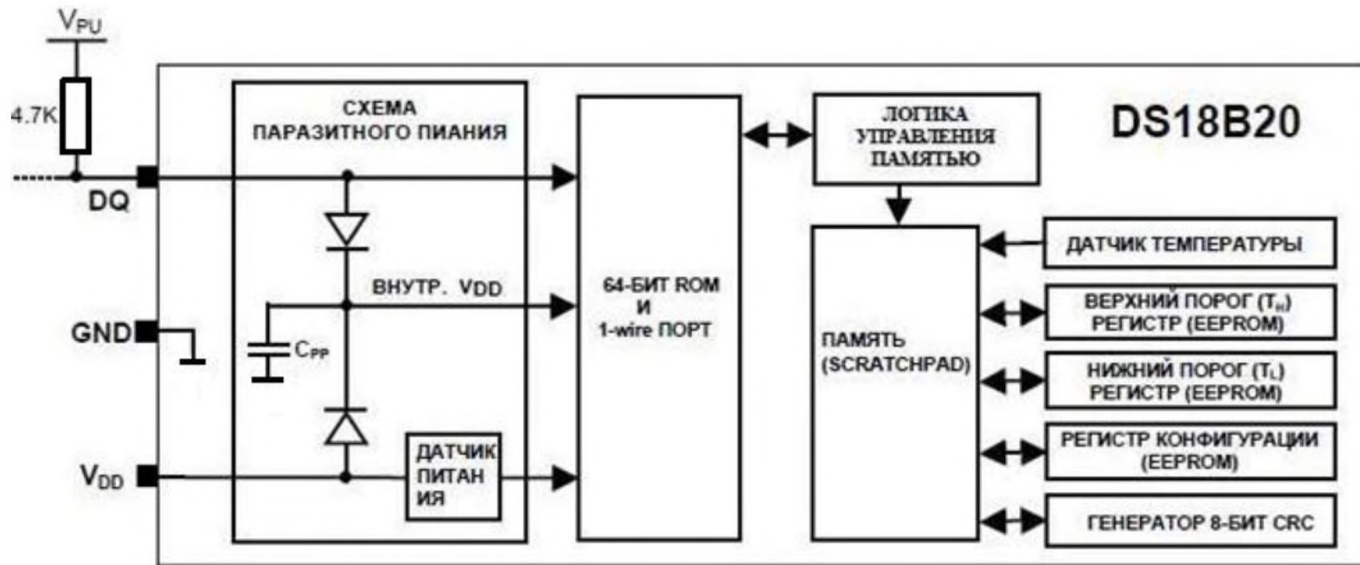
Задачи ВКР:

- провести анализ литературных источников с целью выбора архитектуры проектируемого изделия;
- разработать схему электрическую структурную электронного термометра;
- разработать схему электрическую принципиальную электронного термометра с соответствующим перечнем элементов;
- собрать опытный образец изделия и провести тестирование.

Схема электрическая структурная изделия



Датчик температуры DS18B20



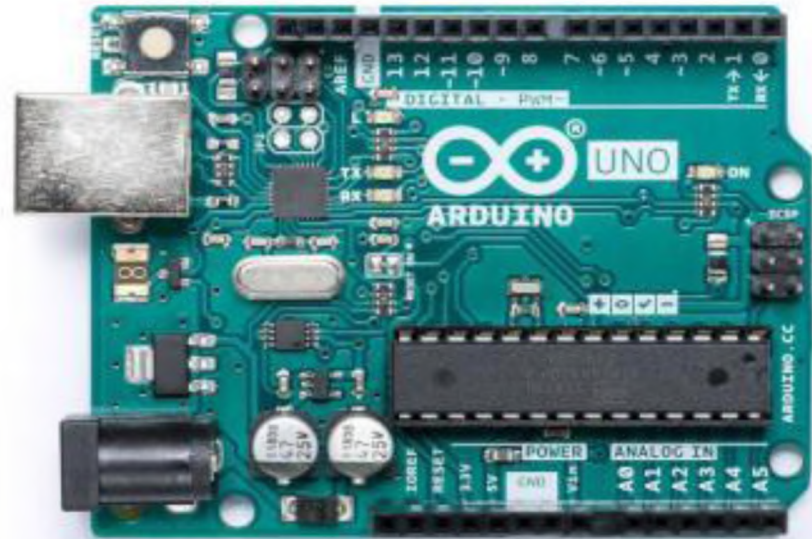
- необходимое напряжение питания $+3...+5.5$ В;
- диапазон измеряемой температуры $-55...+125^{\circ}\text{C}$;
- погрешность выходной величины не более $0,5^{\circ}\text{C}$ при работе в диапазоне $-10...+85^{\circ}\text{C}$, в остальном рабочем диапазоне погрешность выходной величины не превышает 2°C .



Устройство обработки и управления

Arduino Uno

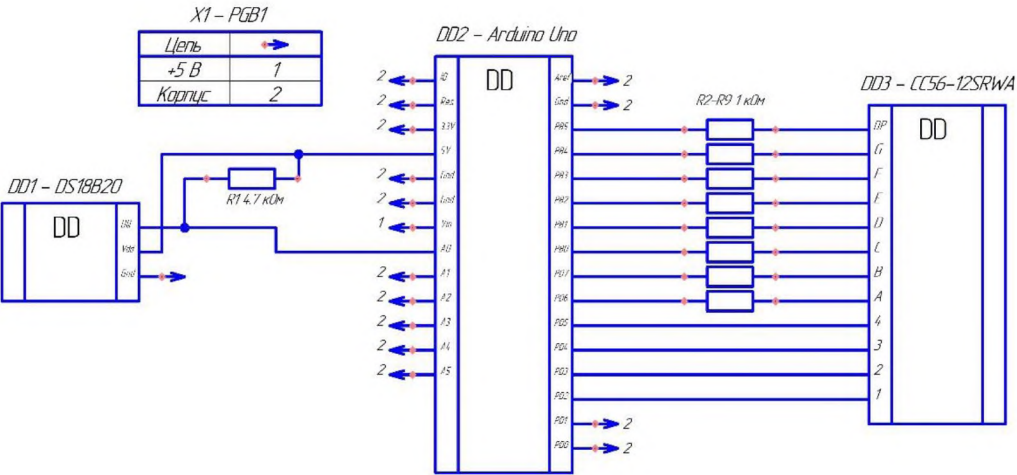
- микроконтроллер ATmega328;
- необходимое напряжение питания – 7-12 В;
- количество цифровых входов/выходов – 14;
- количество аналоговых входов/выходов – 6;
- флеш-память – 32 Кб;
- ОЗУ – 2 Кб;
- *EEPROM* – 1 Кб;
- тактовая частота – 16 МГц.



Устройство индикации
светодиодный семисегментный индикатор
CC56-12SRWA

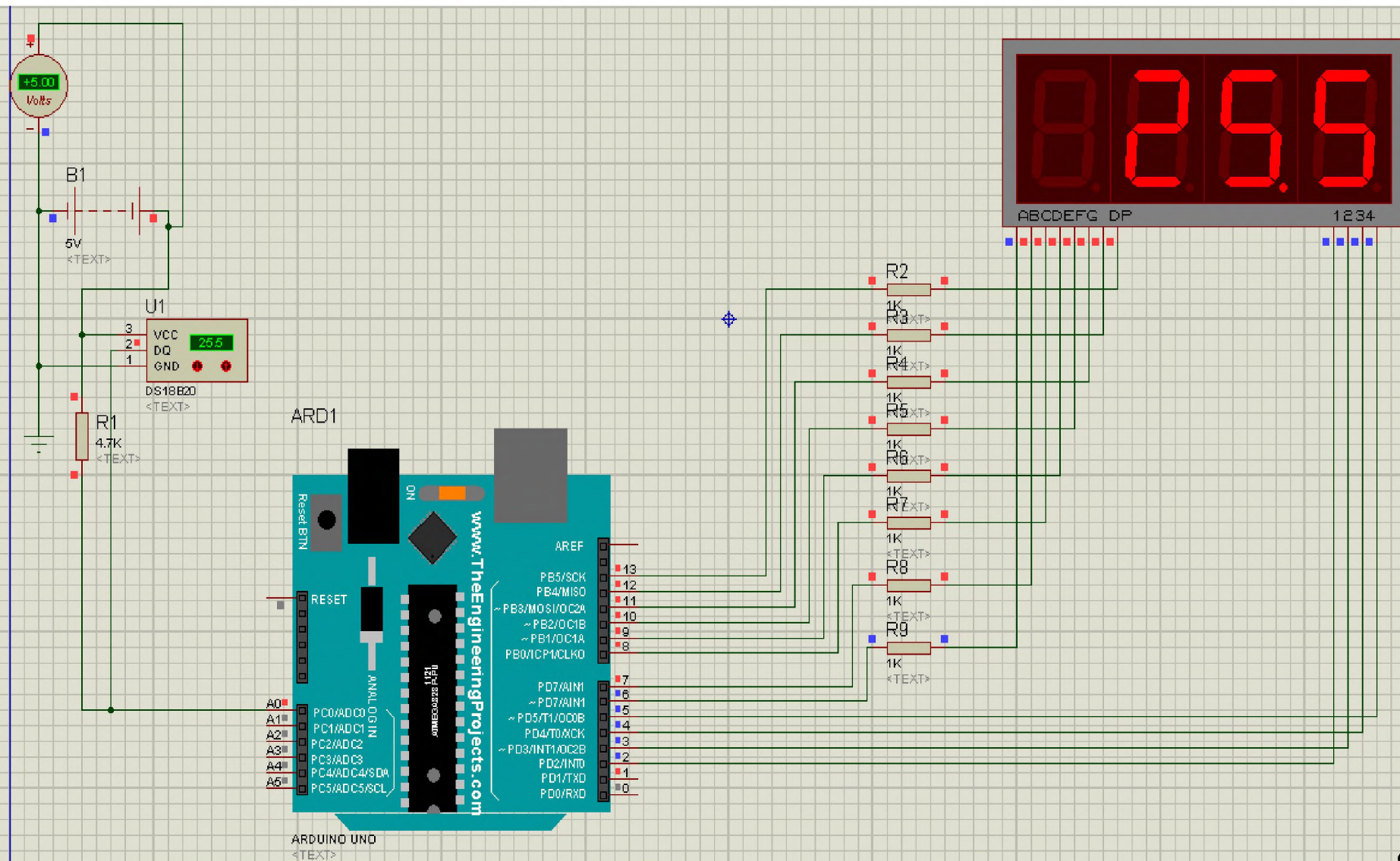


ПГУ 11.04.04. 001 33



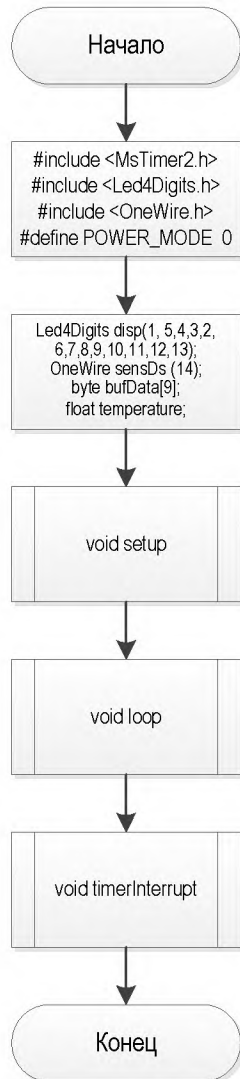
					ПГУ 11.04.04. 001 33			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Электронный термометр Схема электрическая принципиальная	Лист	Масштаб	Масштаб
Разраб.		Борисов В.М.						
Проб.		Вольсков А.А.						
Т.контр.						Лист	Листов	1
И.контр.		Рыжова Т.Н.				Каф. "НУМЭ"		
Утв.						гр. 19ПДМ1		

Результаты моделирования работы изделия

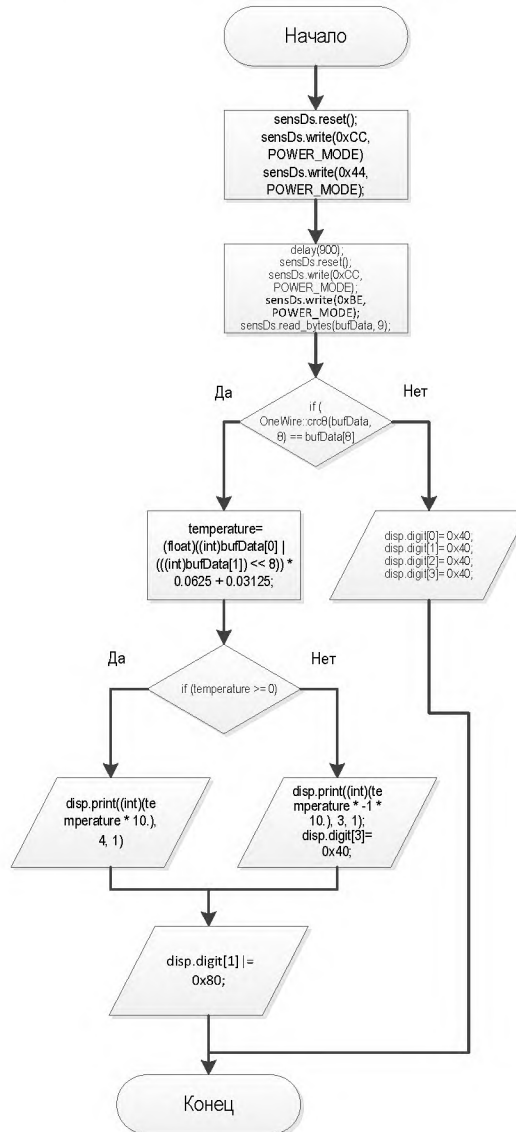


Блок-схема программы управления

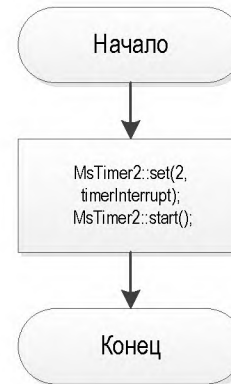
Основная программа



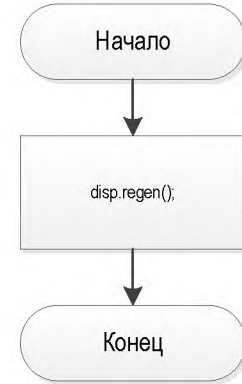
Модуль *loop*



Модуль *setup*



Модуль *timerInterrupt*



Стоимость изготовления опытного образца

Наименование изделия	Стоимость за единицу, руб.
Датчик температуры <i>DS18B20</i>	193
<i>Изделие <u>Arduino Uno</u></i>	865
<i>LED-индикатор CC56-12SRWA</i>	213
Прочие компоненты	236
Итоговая стоимость	1507

Технические характеристики разработанного изделия

- диапазон измеряемой температуры $-55...+125^{\circ}\text{C}$;
- точность измерения в диапазоне $-10...+85^{\circ}\text{C}$ не более $0,5^{\circ}\text{C}$;
- точность измерения в диапазоне $-55...+125^{\circ}\text{C}$ не более 2°C ;
- напряжение питания $7...12\text{ В}$;
- потребляемая мощность 0.1 Вт .

Опытный образец изделия

