

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(институт)

Кафедра «Промышленная электроника»

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника
направленность (профиль)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ПО ИССЛЕДОВАНИЮ
ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИСТОРОВ

Студент(ка)	<u>Д.А. Парпишоев</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	<u>В.А. Медведев</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультант	<u>М.В. Емелина</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2018

Аннотация

Объем 49 с., 25 рис., 8 табл., 25 источников
РЕЗИСТОР, ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ
СОПРОТИВЛЕНИЯ, ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД

Объектом исследования является лабораторный стенд по исследованию характеристик резисторов

Цель работы: разработка лабораторный стенд по исследованию характеристик резисторов.

Задачи работы:

1. Обзор состояния вопроса, видов резисторов и их характеристик
2. Разработка электрической принципиальной схемы
3. Разработка программы для микроконтроллера

Работа состоит из 5 глав, в которых решены упомянутые задачи.

Математические расчеты проводились с использованием пакета MathCad, разработка программы производилась в среде Arduino IDE.

Степень внедрения: произведены теоретические разработка и расчеты.

Областью применения данной работы являются лабораторное оборудования по исследованию характеристик резисторов.

Лабораторный практикум – одна из важнейших составляющих обучения на технических специальностях. Только проверяя на практике полученные теоретические знания, студенты могут стать грамотными специалистами. Для проведения лабораторных работ необходимы лабораторные стенды. Они являются специфичным оборудованием и отсутствуют в широкой продаже, что сказывается на их цене. В связи с этим большинство лабораторных стендов разрабатываются и изготавливаются непосредственно на кафедре.

Данная работа посвящена лабораторному стенду для исследования характеристик резисторов. В частности – зависимости сопротивления резисторов от их температуры. Стенд обладает микроконтроллерным управлением, способен нагревать резисторы и поддерживать их температуру равной заданной. Нагрев камеры с резисторами осуществляется посредством электронагревательного тэна, обдуваемого вентиляторами. Охлаждение камеры осуществляется охлаждающими вентиляторами.

Стенд предназначен для изучения дисциплины «Электротехнические материалы» студентами специальности «Электроника и микроэлектроника».

Abstract

The topic of the given graduation work is «Resistor, temperature resistance coefficient, laboratory stand».

The graduation work includes 50 pages, 25 drawings, 8 tables and 25 figures.

The object of the graduation work is a laboratory stand designed for studying resistor performance.

The purpose of the research is to develop a laboratory stand for studying resistor performance.

The graduation work may be divided into several logically connected parts in which the following objectives are set and solved:

1. to review the issue state, the types of resistors and their performance;
2. to develop an electrical circuit diagram;
3. to develop a programme for the microcontroller.

The mathematical calculations are carried out using the MathCad package. The programme was developed in Arduino IDE.

In this graduation work, the theoretical development is conducted and the calculations are performed.

The results of this research can be used for operating the laboratory equipment and investigating the resistor performance.

Laboratory practice is one of the most important components of training science students. Only by testing in practice their theoretical knowledge, students can become competent specialists. Laboratory stands are necessary for carrying out laboratory works. They are some specific equipment, and they are not widely available, which affects their price. In this regard, most of the laboratory stands are designed and manufactured at the department» Electronics and nanoelectronics».

This graduation work focuses on the dependence of the resistors on their temperature as well.

The stand has a microcontroller regulation. It can heat the resistors and maintain their temperature equal to the specified one. Heating of the chamber with resistors is provided by means of an electric heating element, surrounded by fans. The chamber is cooled by the fans.

The stand has been designed for studying the subject "Electrical and technical materials". It has been created by the students studying electronics and nanoelectronics.

Содержание

Введение.....	5
1. Состояние вопроса	6
1.1. Формулирование актуальности, цели и задач проекта	6
1.2. Анализ исходных данных и известных решений	6
1.3. Виды резисторов и их основные характеристики	7
1.3.1. Классификация резисторов.....	7
1.3.2 Конструкция резисторов	7
1.3.3. Маркировка резисторов.....	8
1.3.4. Виды резисторов и их назначение	12
2. Схемотехническая часть.....	16
3. Конструктивная часть.....	23
3.1. Описание термостата.....	23
3.2 Описание конструкции.....	23
3.3. Использование термостата при проведении лабораторных работ.	26
4. Программная часть.....	28
4.1. Алгоритм работы программы	28
4.2. Листинг программы	30
5. Экспериментальная часть.....	34
5.1. Цель, задачи и программа работ.....	34
5.2. Экспериментальные исследования при комнатной температуре ...	35
5.3. Экспериментальные исследования в режиме нагрева	40
Заключение	45
Список используемой литературы	46

Введение

Лабораторный практикум – одна из важнейших составляющих обучения на технических специальностях. Только проверяя на практике полученные теоретические знания студенты могут стать грамотными специалистами. Для проведения лабораторных работ необходимы лабораторные стенды. Они являются специфичным оборудованием и отсутствуют в широкой продаже, что сказывается на их цене. В связи с этим большинство лабораторных стендов разрабатываются и изготавливаются непосредственно на кафедре.

Данная работа посвящена лабораторному стенду для исследования характеристик резисторов. В частности – зависимости сопротивления резисторов от их температуры. Стенд обладает микроконтроллерным управлением, которое способно нагревать резисторы и поддерживать их температуру, равной заданной. Стенд предназначен для изучения дисциплины «Электротехнические материалы».

1. Состояние вопроса

1.1. Формулирование актуальности, цели и задач проекта

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания лабораторного оборудования для обучения студентов.

Цель работы: разработка лабораторный стенд по исследованию характеристик резисторов

Задачи работы:

1. Обзор состояния вопроса, видов резисторов и их характеристик
2. Разработка электрической принципиальной схемы
3. Разработка программы для микроконтроллера

1.2. Анализ исходных данных и известных решений

Резистор представляет собой активное сопротивление. Напряжение на нем вычисляется согласно закону Ома $U = I \cdot R$. Соответственно, основным параметром резистора является именно сопротивление. Однако сопротивление в некоторой степени зависит от температуры. Количественно эта зависимость выражается тепловым коэффициентом сопротивления, показывающим на сколько процентов увеличивается сопротивление при увеличении температуры на один градус.

На данный момент на кафедре Промышленная электроника Тольяттинского государственного университета имеется стенд по исследованию тепловых свойств резисторов, состоящий из муфельной печи, термометра и вентиляторов. Для получения необходимой температуры необходимо включать печь, вручную отслеживать температуру внутри нее и при ее превышении открывать дверцу печи и включать охлаждающие

вентиляторы. Это не удобно, поэтому в ходе данной работы предполагается разработка автоматической системы с микроконтроллерным управлением, опирающимся на данные электронного датчика температуры.

1.3. Виды резисторов и их основные характеристики

1.3.1. Классификация резисторов

Наиболее часто применяются резисторы, имеющие постоянное сопротивление, слабо зависящее от внешних факторов. Однако в ряде случаев применяются резисторы, сопротивление которых можно изменять. Это либо резисторы, сопротивление которых изменяется вручную, либо резисторы, сопротивление которых изменяется под воздействием внешних факторов. Например температуры, магнитного поля или света.

Большинство резисторов имеет нелинейную вольт-амперную характеристику (ВАХ). Однако существуют резисторы с линейной вольт-амперной характеристикой.

Номинальная мощность ($P_{ном}$) – это мощность, на которую рассчитан резистор. Она определяет его геометрические размеры. Чем крупнее резистор – тем большую мощность он способен рассеять.

1.3.2 Конструкция резисторов

Основные конструкции резисторов приведены на рис. 1.2.

Самым распространенным типом среди маломощных резисторов являются пленочные (рис. 1.2а).

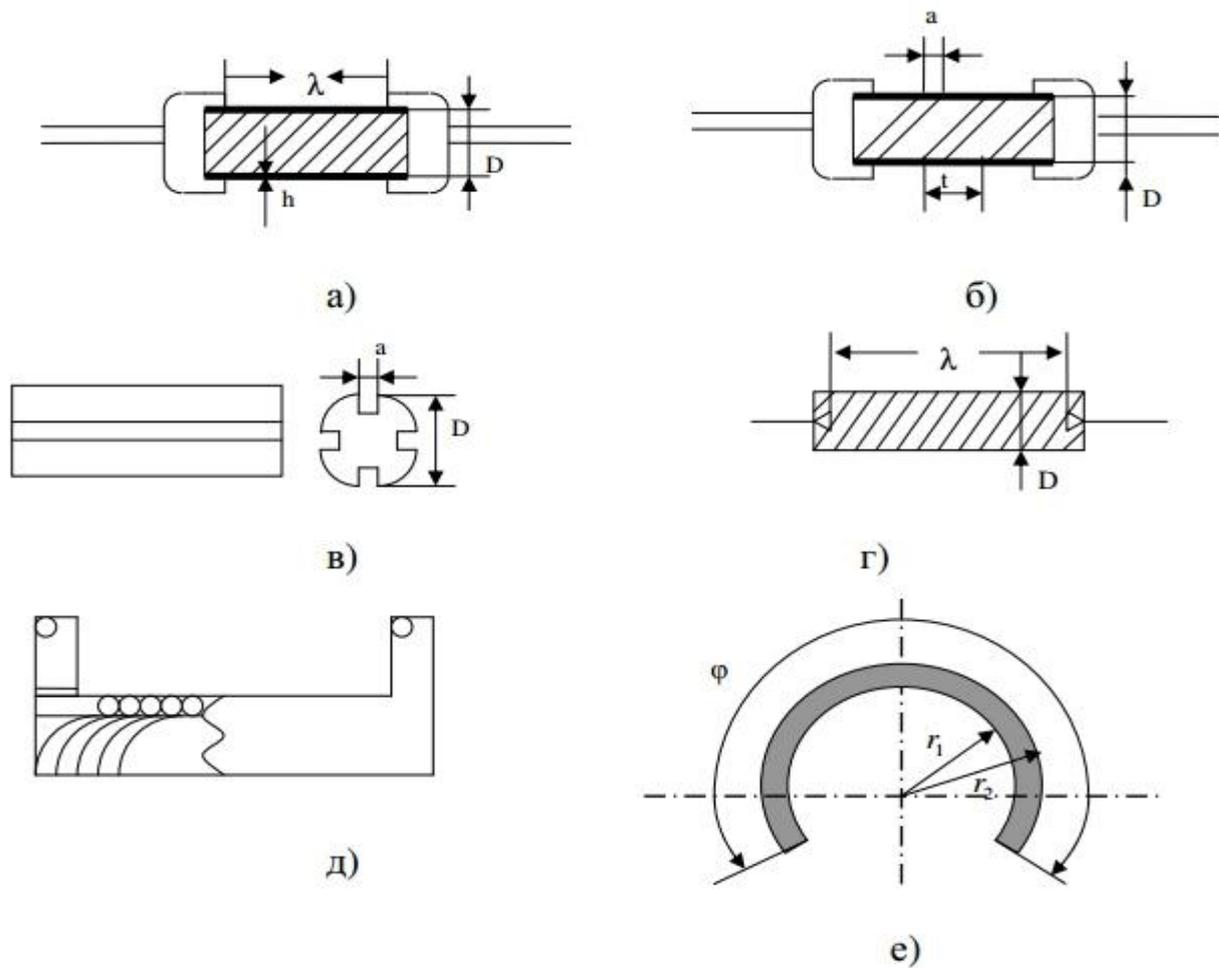


Рис. 1.1. - Основные типы конструкции резисторов

Сопротивление пленки может меняться путем спиральной нарезки (рис. 2.2 (б)) или посредством изолирующих канавок (рис. 2.2 (в)). Такие способы позволяют значительно увеличить сопротивление резистора.

1.3.3. Маркировка резисторов

Номиналы резисторов существуют не какие угодно а Согласно определенным рядам номиналов.: E6; E12; E24; E48; E96; E192.

Номинал резистора отображается на его поверхности буквенной либо цветовой маркировкой (рис. 1.2 – 1.4).

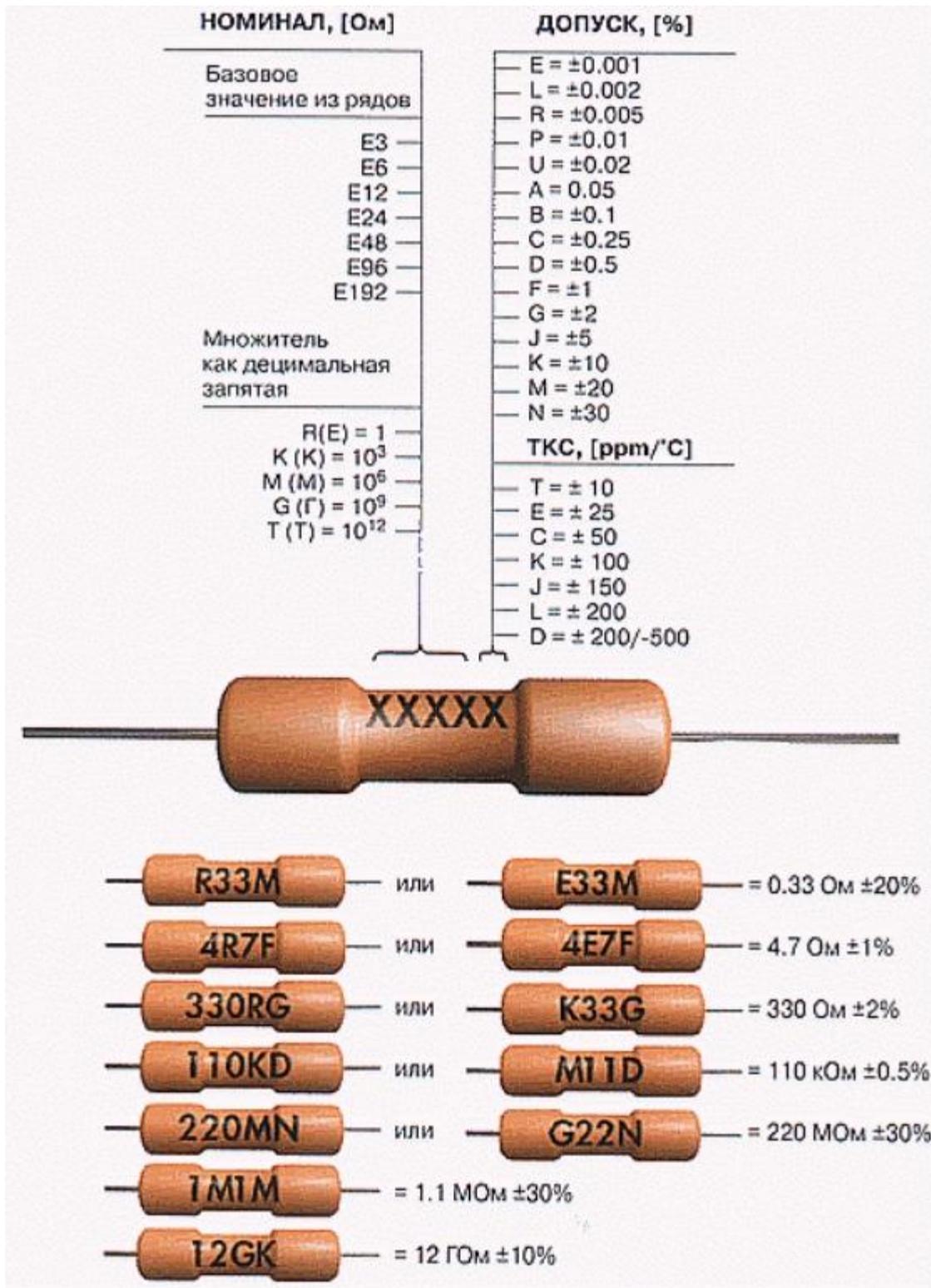


Рисунок 1.2 – Буквенная маркировка резисторов пример 1.

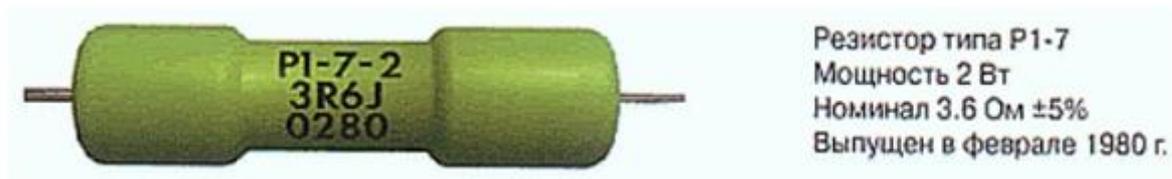


Рисунок 1.3 – Буквенная маркировка резисторов пример 2.

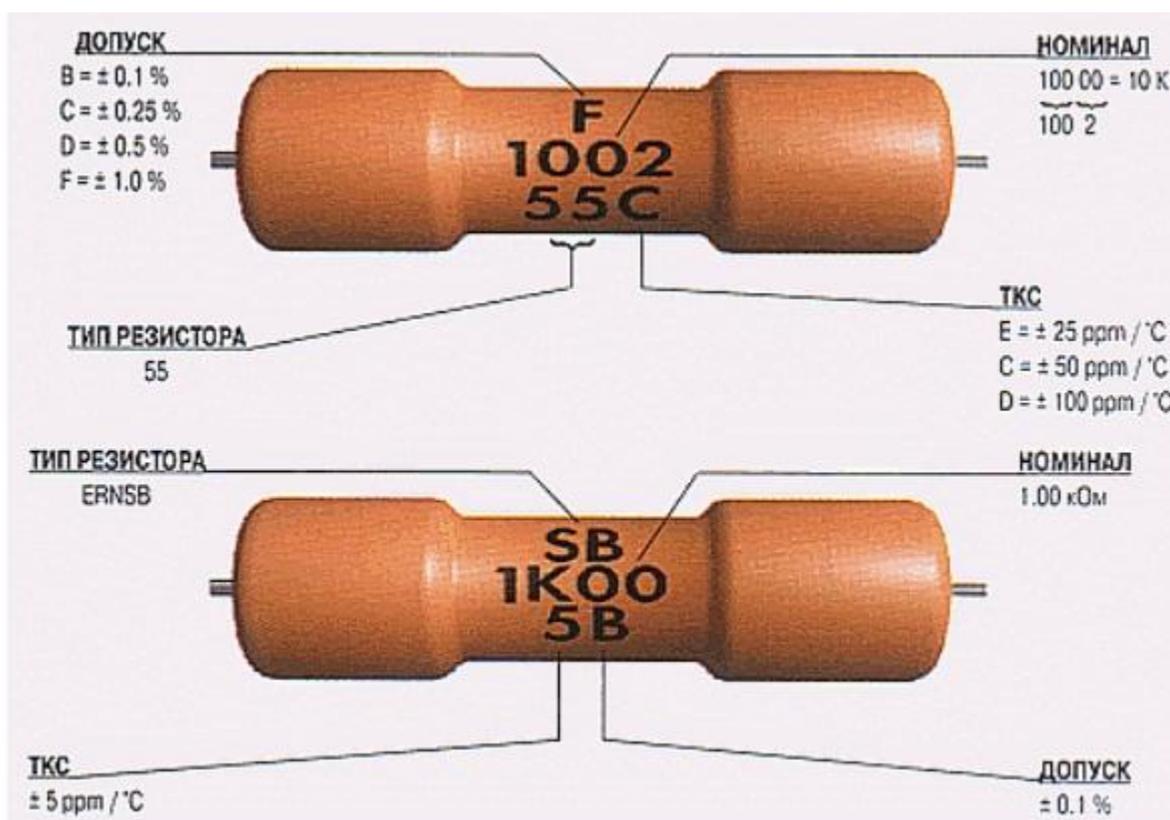


Рисунок 1.4 – Буквенная маркировка резисторов пример 3.

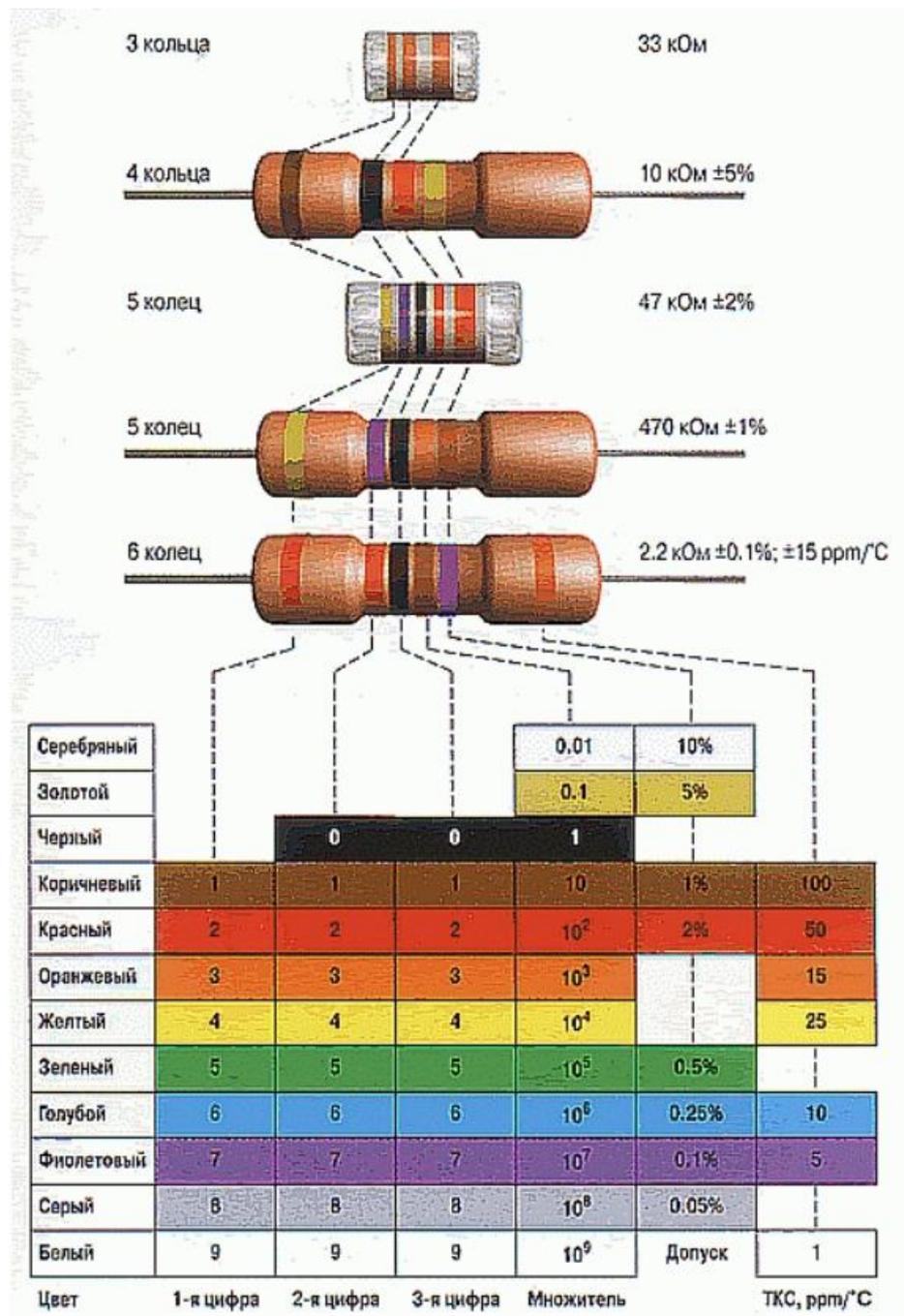


Рисунок 1.5 – Цветовая маркировка резисторов

Для резисторов поверхностного монтажа разработан другой тип маркировки (рис. 1.6)

Маркировка SMD-резисторов

- «Резисторы» нулевого сопротивления (перемычки на плате) кодируются одной цифрой «0».

- **Кодирование 3 или 4 цифрами**

ABC обозначает $AB \cdot 10^C$ Ом

например **102** — это
 $10 \cdot 10^2$ Ом = 1 кОм

ABCD обозначает

ABC• 10^D Ом, точность 1 % (ряд E96)

например **1002** — это
 $100 \cdot 10^2$ Ом = 10 кОм



223 223
= 22×10^3
= 22.000 Ohm
= 22K Ohm
Three-Digit Resistor

4R7 4R7
= 4.7 Ohm
Resistor With Radix Point

0 0
= 0 Ohm

8202 8202
= 820×10^2 Ohm
= 82.000 Ohm
= 82 KOhm
Four-Digit Resistor

0R22 0R22
= 0.22 Ohm
Resistor With Radix Point

000 000
= 0 Ohm

Рисунок 1.6 – Маркировка резисторов для поверхностного монтажа.

1.3.4. Виды резисторов и их назначение

Существует большое разнообразие типов резисторов, предназначенных для различных применений. Перечислим некоторые из них.

Помимо типового различия эти детали имеют еще и огромное видовое разнообразие, что позволяет использовать их во многих областях:

фоторезистор – меняет показатель сопротивления если воздействовать на него с помощью светового луча;

подстроечный резистор – необходим для тончайшей настройки радиоприбора;

резистор вентилятора охлаждения – все элементы этого вида отвечают высоким стандартам качества и занимаются контролем систем кондиционирования в транспорте и не только;

резистор МЛТ – один из самых популярных резисторов, которые используются на территории РФ;

высоковольтные резисторы – используют там, где предположительно будет вырабатываться огромное напряжение;

тормозной резистор для преобразователя частоты – применяют в тормозной коробке для активного действия и повышения технических способностей;

резистор отопителя — используют в системе отопления;

прецизионные резисторы – при увлечении температурного порога возрастает и сопротивление на устройстве;

нагрузочный резистор – крепится только к металлической плоскости, требуется обеспечить отвод;

SQP резистор – белый резистор, выполненный из керамики, выдерживающий мощность в 10Вт;

проволочный резистор – необходим для выявления частоты тока в звуковом формате;



Рисунок 1.7 – Проволочный резистор.

подтягивающий резистор – монтируют между проводом и заземлением, применяется во входных цепях;

токоограничивающий резистор – контролирует подачу тока и силовую его составляющую;

резистор ПЭВ 100 – элемент нагрузочного типа относится к виду навесных резисторов;

ЧИП резисторы – крепятся на схему специальным способом;

Yageo резисторы – брендовые резисторы. Продукция компании реализуется как на территории РФ, так и за ее пределами;

керамический резистор – выполнен из керамики, обладает хорошей проводимостью;

догрузочный резистор используют для догрузки напряжения и электрического тока;

регулируемый резистор – может вести контроль и регулировать напряжение в сети;

балластный резистор – впитывает лишнее напряжение;

терморезисторы с отрицательным ТКС — это элементы, которые зависят от климатической составляющей;

многооборотный резистор – применяется в радиотехнике;

резистор углеродистый – из названия понятно, что данный тип резисторов выполнен на основе углеродного волокна;

резистор с1 4 – врезают в цепи переменного или постоянного тока;

резистор с5 35в 25 – постоянный проволочный резистор нагрузочного типа;

резистор сп 1 1 – диапазон сопротивления начинается с пороговой отметки в 470 Ом;

резисторы р1 12 – применяют как для сборки ручной, так и для проволочной аппаратуры;

р2 67 резистор – элемент прецизионного типа, монтируется навесным способом;

1г0 резистор – это один из самых маленьких типов комплектующего оборудования;

резистор r1 – это первый резистор. Таким образом его обозначают на схеме;

2г2 резистор – токоограничитель;

резистор mf металлодиэлектрический элемент непроволочного типа;
резистор ппб проволочный переменный резистор, широко используется
для создания техники и оборудования;
резисторы тво – не боится ни перепадов температур, ни влаги.
Некоторые из них следует рассмотреть более подробно.

В данном пункте указано, что существует большое количество резисторов, параметры которых в некоторой степени зависят от температуры. Для изучения этой зависимости и необходим лабораторный стенд.

2. Схемотехническая часть

Структурная схема стенда изображена на рисунке 2.1.

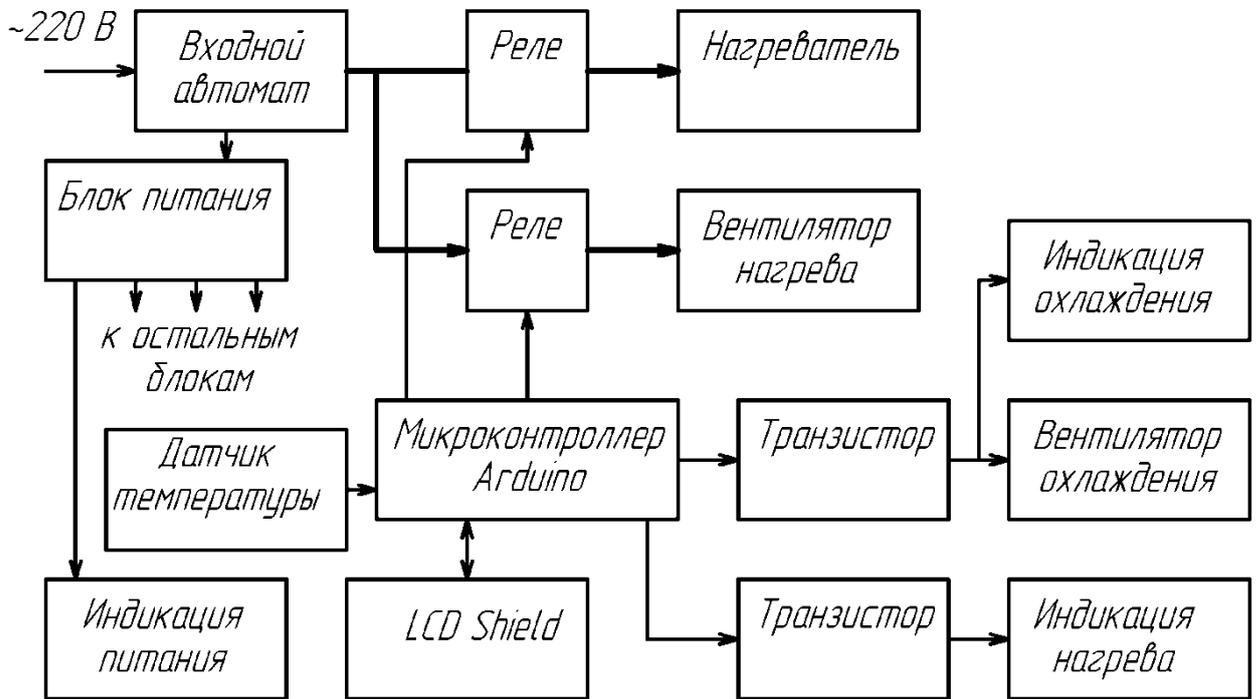


Рисунок 2.1 - Структурная схема стенда.

Управляющим элементом является микроконтроллер, который в соответствии с сигналами, полученными с датчика температуры и состоянием кнопок управляет нагревателем, охладителем и индикацией.

Схема электрическая принципиальная, описываемая в данной главе, показана на рисунке 2.2.

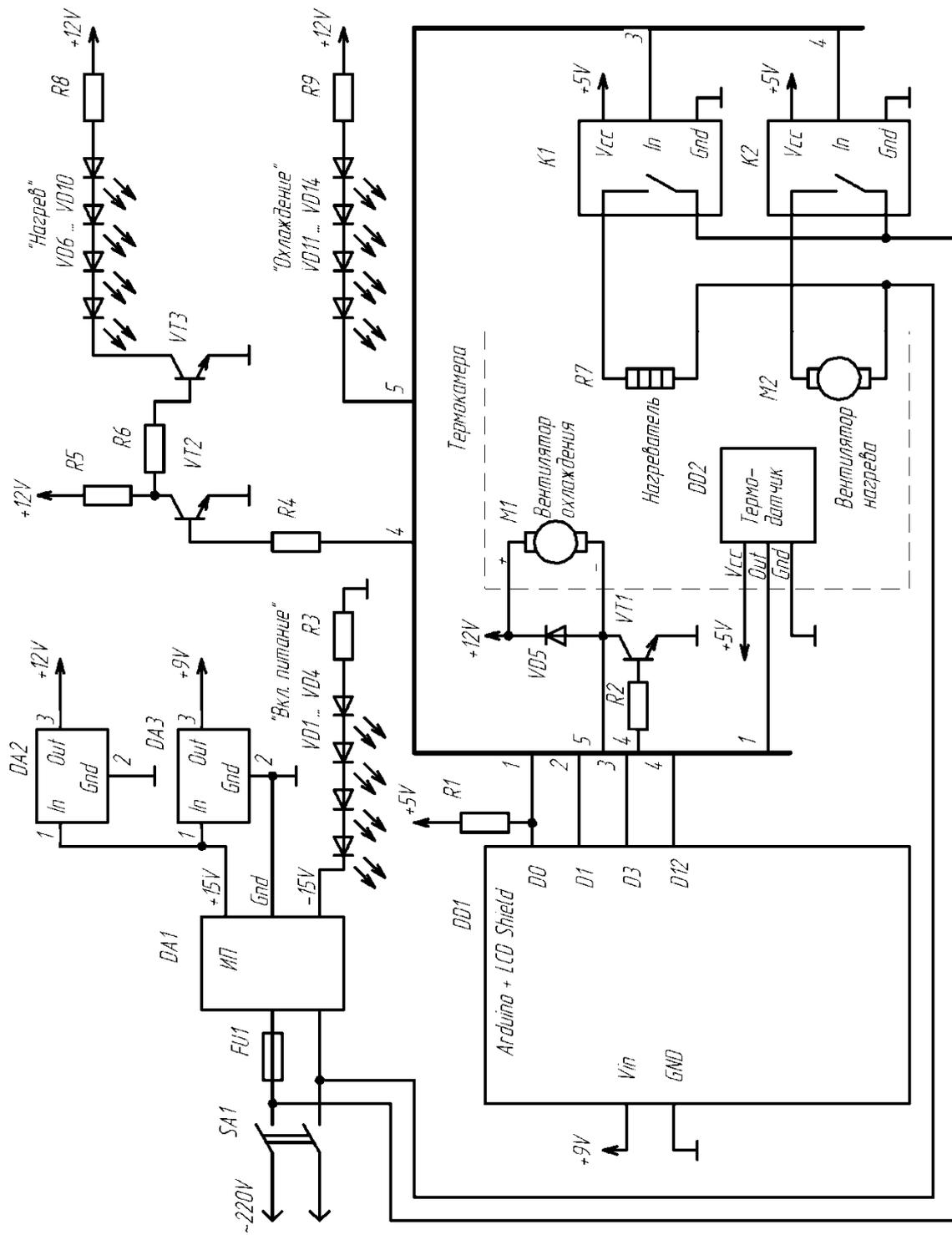
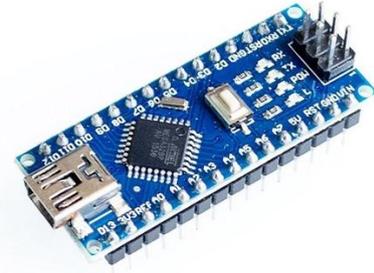


Рисунок 2.2 – Принципиальная электрическая схема стенда.

Управление лабораторным оборудованием осуществляется вычислителем на базе ARDUINO – аппаратной вычислительной платформы. Из наиболее часто применяемых платформ (рис. 2.3) выбрали Arduino UNO (рис. 2.3а).



а) Arduino UNO



б) Arduino Nano

Рисунок 2.3 - Примеры платформ Ардуино.

Функциональное назначение выводов Arduino UNO приведено на рисунке 2.4.

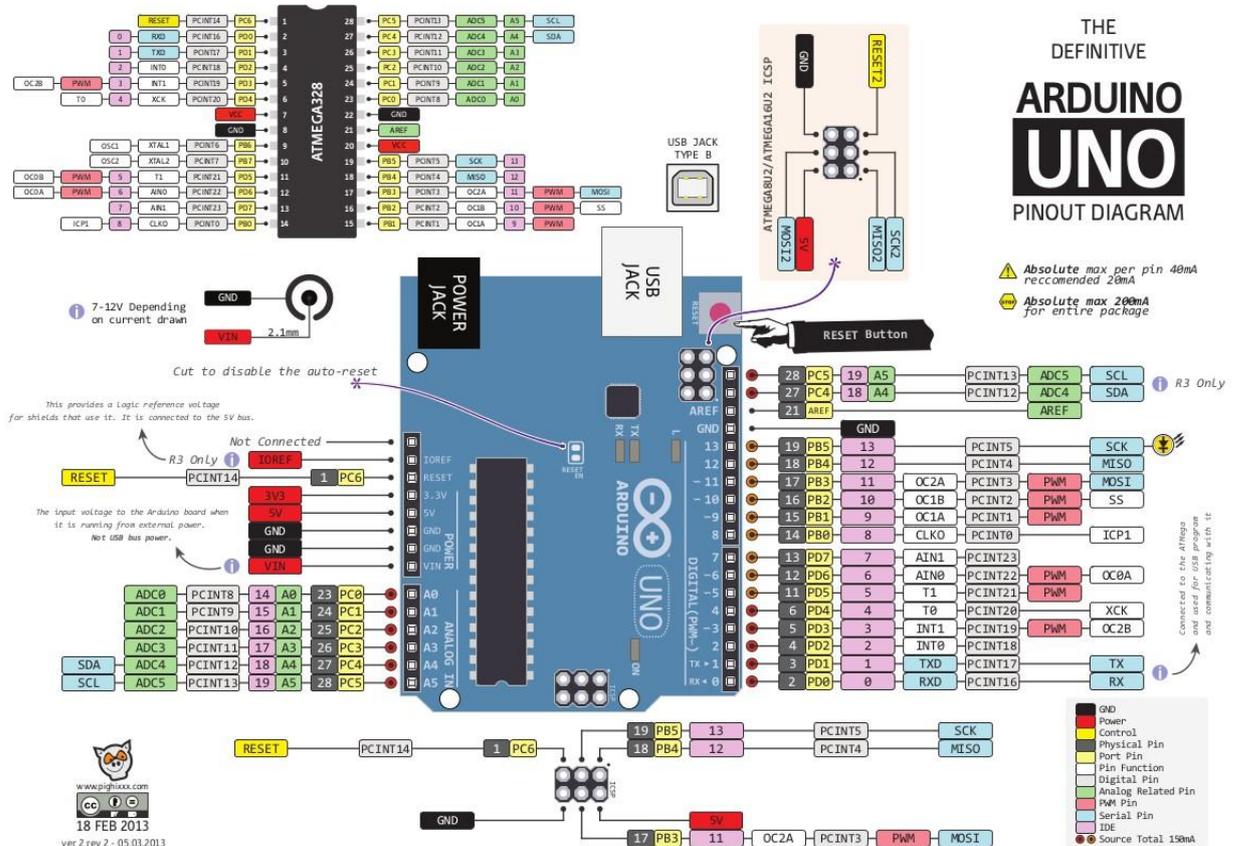


Рисунок 2.4. - Функциональное назначение выводов Arduino UNO

Одной из причин выбора является возможность объединения его с модулем дисплея LCD Shield, сочетающего в себе жидкокристаллический дисплей и несколько кнопок (рис 2.5).



Рисунок 2.5 - Модуль дисплея LCD Shield.

Управление режимами осуществляется двумя кнопками, находящимися на верхней панели корпуса.

Входным сигналом для вычислителя является значение температуры в термокамере, измеряемой цифровым датчиком температуры DS18S20, расположенным в верхней части термокамеры и подключенным к порту D0.

Вычислитель управляет работой камеры, формируя сигнал логической «1» на портах D1, D3 и D12.

Порт D1 подключает ТЭН к сетевому напряжению с помощью реле, производя нагрев воздуха в трубе.

Порт D3 подает напряжение на вентилятор нагрева, направляющий нагретый воздух в полость термокамеры. Подключение вентилятора происходит с помощью второго реле.

D12 включает вентилятор охлаждения без реле, формируя напряжение на базе управляющего вентилятором транзистора КТ829.

Блок питания DA1 имеет плохо стабилизированные выходные напряжения +15 и -15В. Для их стабилизации использовали интегральные стабилизаторы DA2 и DA2 типов LM7812CT и LM7809CT. Рассмотрим параметры одного из них (второй обладает аналогичными параметрами).

LM7812CT, Стабилизатор напряжения +12В, 4%, 1А [ТО-220]

3-выводной положительный стабилизатор LM7812CT включает в себя схему ограничения тока, тепловую защиту и защиту рабочей зоны. Это делает его практически неразрушимым. При надлежащем теплоотводе может обеспечивать выходной ток до 1А. При помощи внешних компонентов данное устройство может осуществлять регулировку напряжений и токов.

- Выходной ток до 1А
- Защита от тепловой перегрузки
- Защита от короткого замыкания
- Выход транзистора с защитой рабочей зоны

Технические параметры

Корпус to220

Максимальный ток нагрузки, А - 1

Диапазон допустимых входных напряжений, В - 35

Выходное напряжение, В – 12

Для подключения электронагревательного тэна и вентилятора обогрева использовали реле для ардуино типа: Реле SRD-05VDC-SL-C с параметрами:

- напряжение питания: 5В
- сигнальное напряжение: 3-5В
- максимальный потребляемый ток: 60мА
- тип контактов реле: 1С
- максимальный ток нагрузки при постоянном токе: 16А (при 28В)
- максимальный ток нагрузки при переменном токе: 10А (при 250В)
- рекомендуемое рабочее напряжение: 220В

- пиковое напряжение: 250В
- напряжение изоляции катушка-контакты: 1500В
- рекомендованная частота переключения: 1Гц (1 раз в секунду)
- размеры модуля ДхШхВ: 60х20х22мм

Сам вентилятор, обдувающий обогревательный тэн выбрали типа ЕС1225А2НВL, Вентилятор 220В, 120х120х25мм, подшипник качения, 2000 об/мин с параметрами:

Рабочее напряжение: 220 - 240 В

Тип подшипника: качения

Допустимая мощность: 1800VAC/ 2 сек.

Рама: 120 х 120 мм

Толщина: 25 мм

Рабочая температура: -10 - 90 град.

Температура охлаждения: не более 85 град.

Частота вращения, об/мин.: 2350 - 2600

Производительность, куб. м/мин, : 2.07/ 2.5

Вес: 350 г.

Технические параметры

Потребляемая мощность, Вт 18

Тип подшипника качения

Рабочее напряжение, В 220/240

Ток, А 0.1

Частота вращения, об./мин. 2000

Производительность, м.куб./мин. 1.3

Шум, дБА 35

Размеры рамы, мм 120х120

Толщина, мм 25

Для охлаждения в случае превышения температуры над заданной использовали 12 В вентилятор D12SL-12 с параметрами:

Номер модели: D12SL-12 (черно / белый вариант)

Размеры: 120x120x25mm

Черный корпус и белые Ротор / лопасти

Вентилятор монтируется с помощью: 4 шт. Ультратяжких силиконовых креплений вентилятора

напряжение: 12 Вольт

Диапазон напряжения: 6,5 ~ 13,8 Вольт

Входной ток: 0,30 А максимум

Скорость вращения: 1000 RPM (+ / -10%)

Уровень акустического шума: 18 дБ (А) *

Поток воздуха: 36.87CFM / (62.61m³/Часов)

Статическое давление 1.2mmH₂O

Стартовое напряжение: 7 Вольт

Рабочая температура: От -10 до +65 С

EAN13: 8717371698126

Артикул производителя: D12SL-12 BW

Вес брутто(измерено в Coolera): 153 Грамм.

3. Конструктивная часть

Данная глава посвящена описанию стенда «Прецизионный термостат для проведения работ при изучении курса Электротехнические материалы».

3.1. Описание термостата

1 Состав.

В структуру устройства входят блоки (см. Рисунок 3.1):

1-термокамера;

2-блок питания;

3-блок управления и индикации;

4-нагреватель с вентилятором нагрева;

5-вычислитель;

6-охладитель.

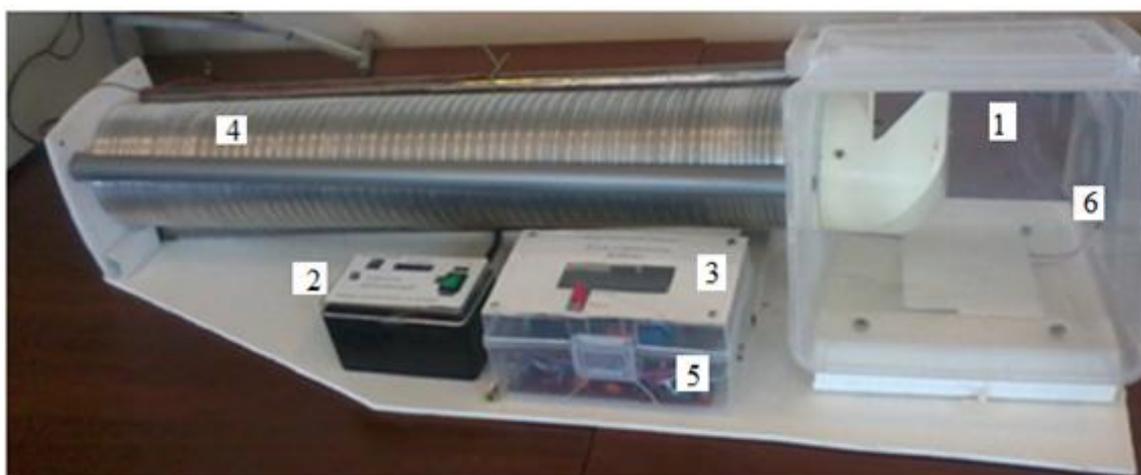


Рисунок 3.1 – Внешний вид термостата с обозначением составных частей

3.2 Описание конструкции

Слева от термокамеры размещен нагреватель с вентилятором нагрева, представляющий собой трубу из гофрированного алюминиевого сплава. Внутри трубы находится теплоэлектрический нагреватель (ТЭН) мощностью 600 Вт, в левый край трубы помещен вентилятор нагрева, работающий от сетевого напряжения. Правый край трубы врезан в стенку термокамеры и

закрыт турбулизатором, предназначенным для равномерного перемешивания горячего воздуха по объему термокамеры.

На правой стороне термокамеры закреплен вентилятор охлаждения, питание которого осуществляется от источника питания 12 В.

Все элементы конструкции располагаются на платформе из листового пластика с габаритами 800 x 300 мм. На платформе также размещены блок управления, индикации и вычислителя, и источник питания.

Термокамера закрывается крышкой на петлях, объем камеры примерно 250 x 200 x 170 мм.

На задней стенке блока питания помещен сетевой разъем для подключения сетевого шнура и сетевой предохранитель.

На рисунке 3.3 показана камера термостата, где поток горячего воздуха, проходящего в камеру слева по гофрированной трубе, в которой помещен нагреватель, турбулизуется для получения равномерного потока тепла в камере. На наружной стенке камеры находится вентилятор – охладитель.

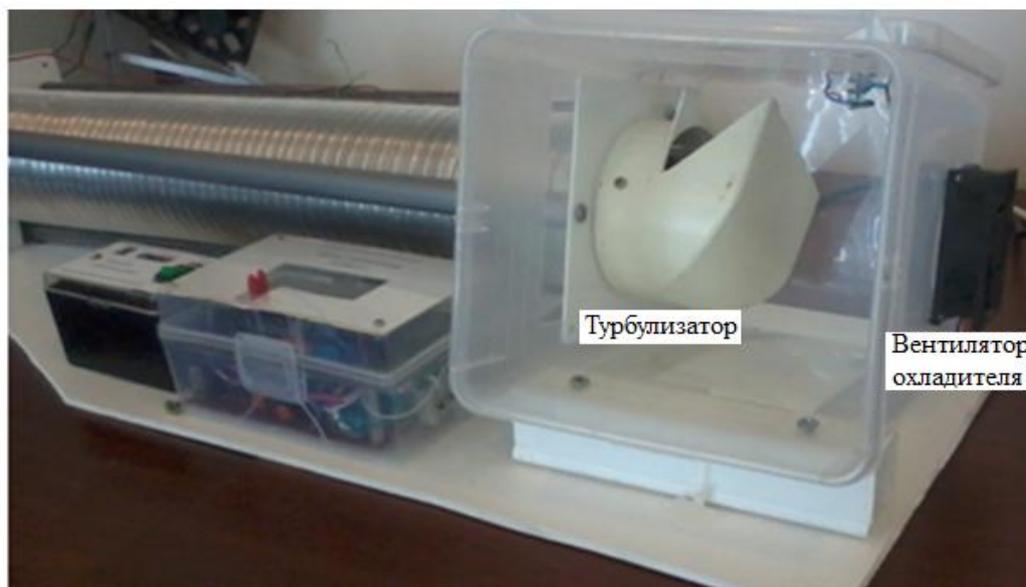


Рисунок 3.3 – Камера термостата

На рисунке 3.4 показана конструкция нагревателя, ТЭНа, размещенного в алюминиевой гофрированной трубе.

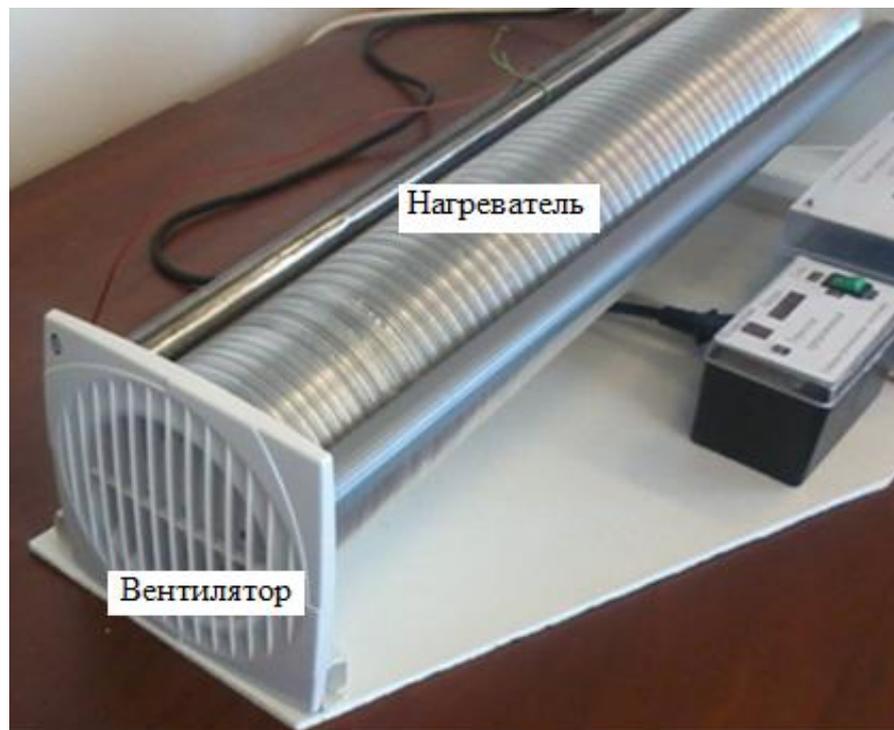


Рисунок 3.4 – Нагреватель и вентилятор

Управление термостатом осуществляется измерителем на базе микропроцессора «Arduino», режим работы которого задается с помощью двух кнопок «Больше» и «Меньше». Внешний вид блока управления на рисунке 3.5



Рисунок 3.5 – Блок управления

3.3. Использование термостата при проведении лабораторных работ.

Испытуемое изделие помещается в камеру и закрывается дверцей, которая видна на верхней стенке термокамеры.

Включение в работу осуществляется подачей питания клавишей «Сеть» на блоке питания (рис. 3.6).

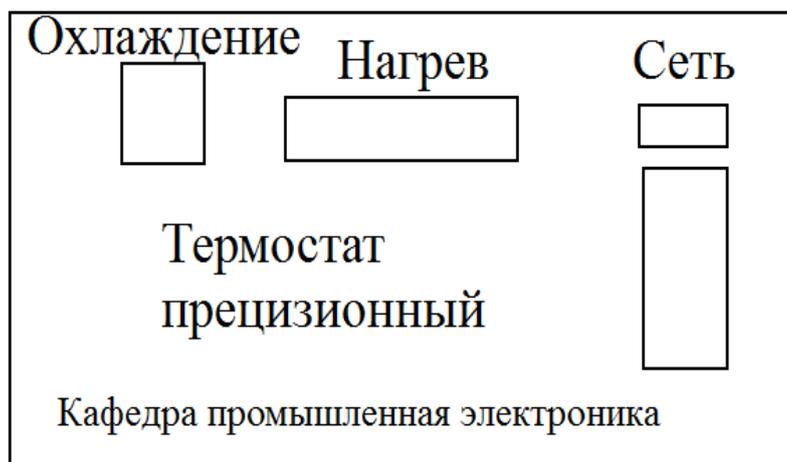


Рисунок 3.6 – Верхняя поверхность блока питания.

Загрузка вычислителя занимает 2-3 минуты, после чего прибор готов к работе. Нажатием на нужную кнопку «Больше» или «Меньше» производится установка нужного для проведения эксперимента значения температуры на табло индикации.

Термостат переходит в рабочий режим. Включение нагревателя сопровождается индикацией табло «Нагрев» на блоке питания. При достижении заданной температуры нагрев отключается. При превышении заданного значения включается вентилятор охлаждения, индикатор «Охлаждение» при этом загорается.

Далее попеременно включаются вентиляторы нагрева или охлаждения, удерживая заданную температуру в камере в пределах 1 градуса Цельсия.

В процессе эксперимента можно устанавливать любое значение уставки, большее или меньшее первоначального, происходит быстрый переход в новый режим.

Естественно, для прогрева изделия необходима выдержка времени при данном значении температуры, зависящая от массы и формы внесенного объекта. Но прогрев и охлаждение происходят быстро, испытуемое изделие активно нагревается и охлаждается потоками воздуха.

4. Программная часть

4.1. Алгоритм работы программы

Алгоритм работы программы изображен на рис. 4.1 и заключается в следующем:

1. считывается состояние кнопок увеличения/уменьшения значения заданной температуры t_z и ее изменение при зажатости кнопок.
2. с датчика температуры считывается текущая температура t внутри камеры
3. Текущая температура отображается на дисплее
4. Если температура превышает заданную больше, чем на величину гистерезиса Δt , то включается вентилятор
5. Если температура превышает заданную, то выключается тэн и вентилятор обогрева.
6. Если температура ниже заданной, то выключается вентилятор
7. Если температура меньше заданной на величину гистерезиса, то включается тэн и вентилятор обогрева.
8. Переходим к п.1

В соответствии с описанным алгоритмом написана программа (п. 4.2)

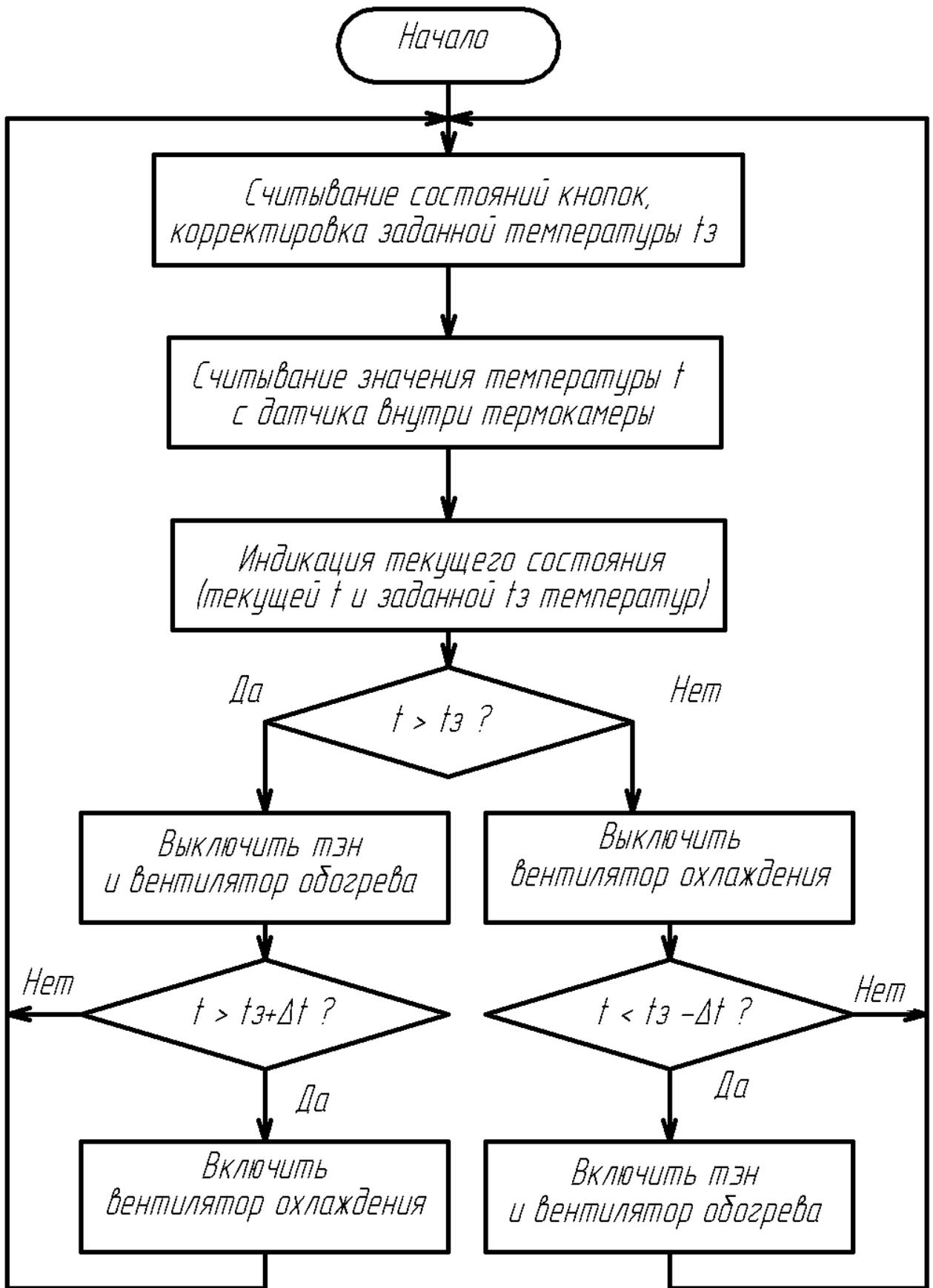


Рисунок 4.1 – Блок – схема алгоритма программы

4.2. Листинг программы

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <OneWire.h>

#define btnRIGHT 0
#define btnUP 1
#define btnDOWN 2
#define btnLEFT 3
#define btnSELECT 4
#define btnNONE 5

#define PIN_HEATER 1
#define PIN_HEATER_FAN 3
#define PIN_COOLER 12

LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

OneWire ds(0);

int sensor_temperature = 0;
int target_temperature = 30;

long sensor_update_time = 0;

int read_LCD_buttons()
{
    int adc_key_in = analogRead(0); // read the value from the sensor
    // my buttons when read are centered at these values: 0, 144, 329, 504, 741
    // we add approx 50 to those values and check to see if we are close
    if (adc_key_in > 1000) return btnNONE; // We make this the 1st option for
    speed reasons since it will be the most likely result

    if (adc_key_in < 50) return btnRIGHT;
    if (adc_key_in < 250) return btnUP;
    if (adc_key_in < 450) return btnDOWN;
    if (adc_key_in < 650) return btnLEFT;
    if (adc_key_in < 850) return btnSELECT;

    return btnNONE; // when all others fail, return this...
}

int getTemperature(int* t)
```

```

{
byte i;
byte present = 0;
byte data[12];
byte addr[8];

if (!ds.search(addr))
{
ds.reset_search();
return -1;      // No more addresses
}

if (OneWire::crc8( addr, 7) != addr[7])
{
return -2;      // CRC is not valid
}

if ( addr[0] != 0x10)
{
return -3;      // Device is not a DS18S20 family device
}

ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44, 1);    // запускаем конвертацию

delay(1000);        // скорее всего достаточно 750ms

// we might do a ds.depower() here, but the reset will take care of it.

present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE);      // считываем ОЗУ датчика

for ( i = 0; i < 9; i++) // обрабатываем 9 байт
{
data[i] = ds.read();
}

// высчитываем температуру :)

int HighByte, LowByte, TReading, Tc_100;

LowByte = data[0];

```

```

HighByte = data[1];
TReading = (HighByte << 8) + LowByte;
Tc_100 = TReading / 2;

if (t)
    *t = Tc_100;

return 1;
}

bool updateMenu()
{
    int button = read_LCD_buttons();

    if (button == btnUP)
    {
        ++target_temperature;

        if (target_temperature > 100)
            target_temperature = 100;

        delay(200);

        return true;
    }

    if (button == btnDOWN)
    {
        --target_temperature;

        if (target_temperature < 0)
            target_temperature = 0;

        delay(200);

        return true;
    }

    return false;
}

void displayTemperature()
{
    lcd.setCursor(0, 0);

```

```

lcd.print("SENSOR: ");
lcd.print(sensor_temperature);
lcd.print(" ");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("TARGET: ");
lcd.print(target_temperature);
lcd.print(" ");
}

void updateControl()
{
  int delta = target_temperature - sensor_temperature;

  digitalWrite(PIN_HEATER, delta > 2 ? LOW : HIGH);
  digitalWrite(PIN_HEATER_FAN, delta > 0 ? LOW : HIGH);
  digitalWrite(PIN_COOLER, delta < 0 ? HIGH : LOW);
}

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(PIN_HEATER, OUTPUT);
  pinMode(PIN_HEATER_FAN, OUTPUT);
  pinMode(PIN_COOLER, OUTPUT);
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  if (updateMenu())
  {
    displayTemperature();
    return;
  }
  long time = millis();
  if (time - sensor_update_time < 1000 && time > sensor_update_time)
    return;
  if (getTemperature(&sensor_temperature) < 0)
    return;
  sensor_update_time = time;
  displayTemperature();
  updateControl();
}

```

5. Экспериментальная часть

В данном пункте описывается выполнение лабораторной работы на разработанном стенде, приводятся результаты экспериментальных исследований.

Исследованию подвергаются постоянные резисторы

1. МРХ- 40 кОм
2. С2-29 – 12 кОм
3. МЛТ-2

И термисторы

4. СТ1-19 – 660 кОм
5. СТ1 – 17 – 1.2 кОм
6. ММТ-4 – 2.2 кОм.

С целью избежать путаницы в размерностях – все расчеты производили в СИ.

5.1. Цель, задачи и программа работ

Цель работы: освоить приборы и методы измерения сопротивления проводников, определить величину изменения сопротивления резисторов при изменении температуры.

Задачи решаемые при проведении работы:

- изучить способы измерения сопротивления проводниковых материалов;
- научиться пользоваться приборами для измерения сопротивления;
- сравнить различные материалы по величине ТКС.

Программа работ

1. Получить у преподавателя ТЭЗ с изучаемыми сопротивлениями.
2. Измерить величину сопротивления резисторов при комнатной и при повышенных температурах (40, 60, 80) °С.
3. Вычислить величины ТКС каждого из резисторов, значения занести в таблицу.

5.2. Экспериментальные исследования при комнатной температуре

Перед началом работ нагреватель выключен и температура внутри него комнатная.

С использованием блока питания НУ 1502D и мультиметра собрали схему для измерения ВАХ исследуемого резистора.

Для различных исследуемых резисторов сняли ВАХ (изменяя напряжения и измеряя ток), результаты свели в таблицы 5.1. – 5.3.

Таблица 5.1 – ВАХ резистора МРХ-40 кОм при комнатной температуре.

U, В	0	1	3	5	7	9	11	13
I, мА	0	0.024	0.07	0.12	0.17	0.22	0.27	0.32

Таблица 5.2 – ВАХ резистора С2-29 - 12 кОм при комнатной температуре.

U, В	0	1	3	5	7	9	11	13
I, мА	0	0.08	0.24	0.4	0.56	0.73	0.88	1.04

Таблица 5.3 – ВАХ резистора МЛТ – 2 - 18 кОм при комнатной температуре.

U, В	0	1	3	5	7	9	11	13
I, мА	0	0.05	0.17	0.28	0.4	0.51	0.63	0.74

Подсчитали сопротивления резисторов, сравнили его с номиналом резистора, убедившись в правильности проведенного эксперимента. Например, для резистора МРХ-40 кОм сопротивление составит:

$$R = U / I = 13 \text{ В} / 0.32 \text{ мА} = 40.6 \text{ кОм} \quad , \text{ где} \quad (5.1)$$

R – сопротивление резистора

U = 13 В – максимальное напряжение на резисторе из таблицы 5.1.

I = 0.32 мА – максимальный ток резистора из таблицы 5.1.

Аналогично нашли сопротивления двух других резисторов

C2-29 - 12 кОм: 12.5 кОм

МЛТ – 2 - 18 кОм: 17.6 кОм

Полученные результаты совпадают с ожидаемыми с учетом допустимой погрешности эксперимента.

Аналогично провели эксперимент по снятию ВАХ термисторов, результаты свели в таблицы 5.4 – 5.6

Таблица 5.4 – ВАХ термистора СТ1-19 – 660 кОм при комнатной температуре.

U, В	0	1	3	5	7	9	11	13
I, мА	0	0.002	0.005	0.009	0.014	0.018	0.023	0.028

Таблица 5.5 – ВАХ термистора СТ1 – 17 – 1.2 кОм при комнатной температуре.

U, В	0	1	3	5	7	9	11	13
I, мА	0	0.63	2.01	3.78	5.58	8.88	13.76	16.84

Таблица 5.6 – ВАХ термистора ММТ-4 – 2.2 кОм при комнатной температуре.

U, В	0	1	3	5	7	9	11	13
I, мА	0	0.6	1.87	3.14	4.51	6.04	7.93	9.95

По данным таблиц 5.1 – 5.6 построили ВАХ резисторов и термисторов при комнатной температуре, отображенные на рис. 5.1 – 5.6. По графикам видна линейность ВАХ, что соответствует теории.

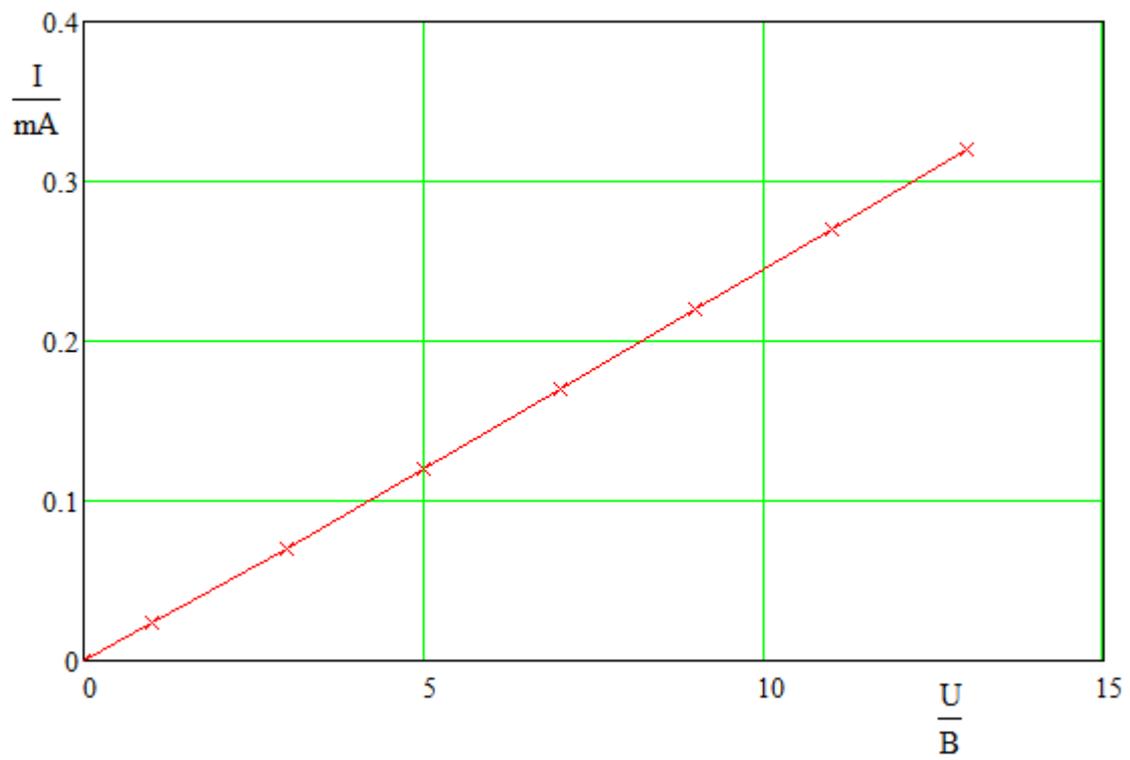


Рисунок 5.1 - ВАХ резистора МРХ-40 кОм при комнатной температуре.

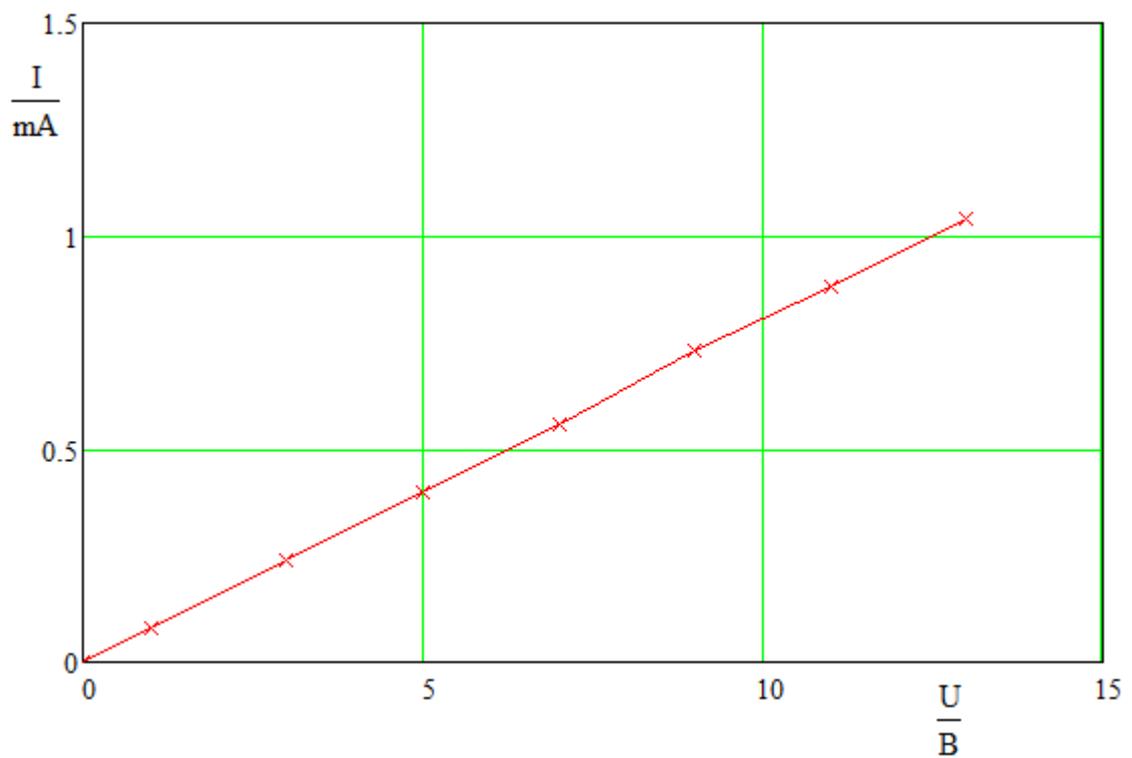


Рисунок 5.2 – ВАХ резистора С2-29 - 12 кОм при комнатной температуре.

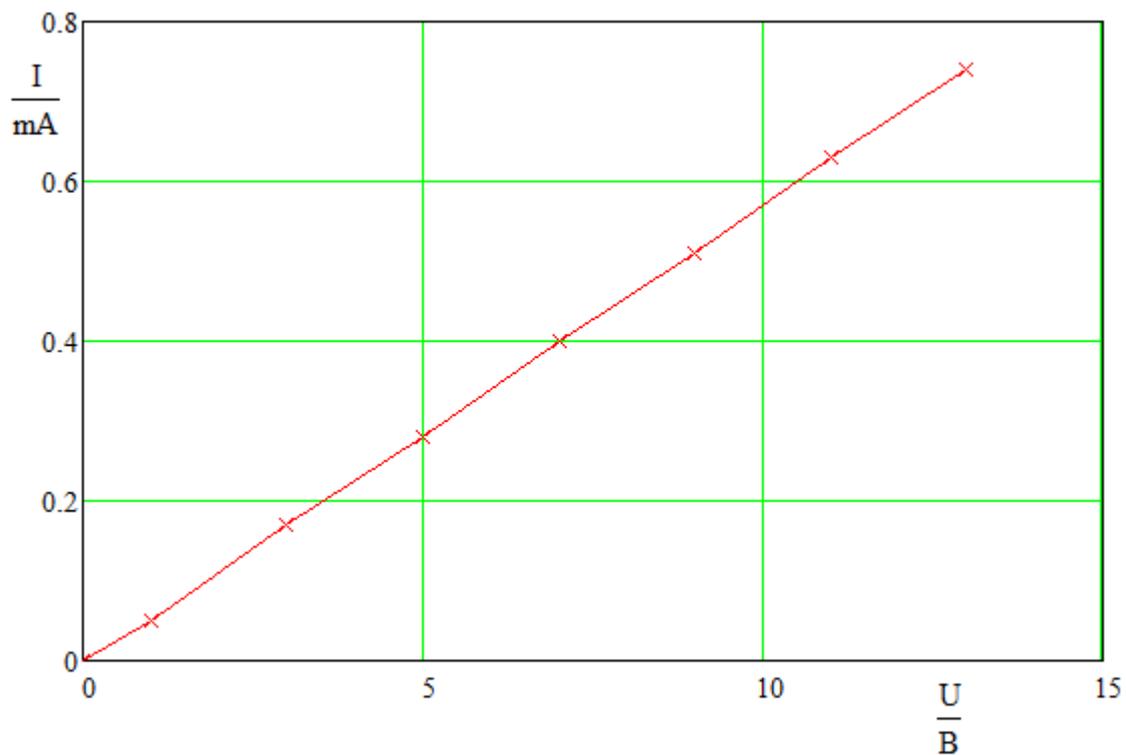


Рисунок 5.3 – ВАХ резистора МЛТ – 2 - 18 кОм при комнатной температуре.

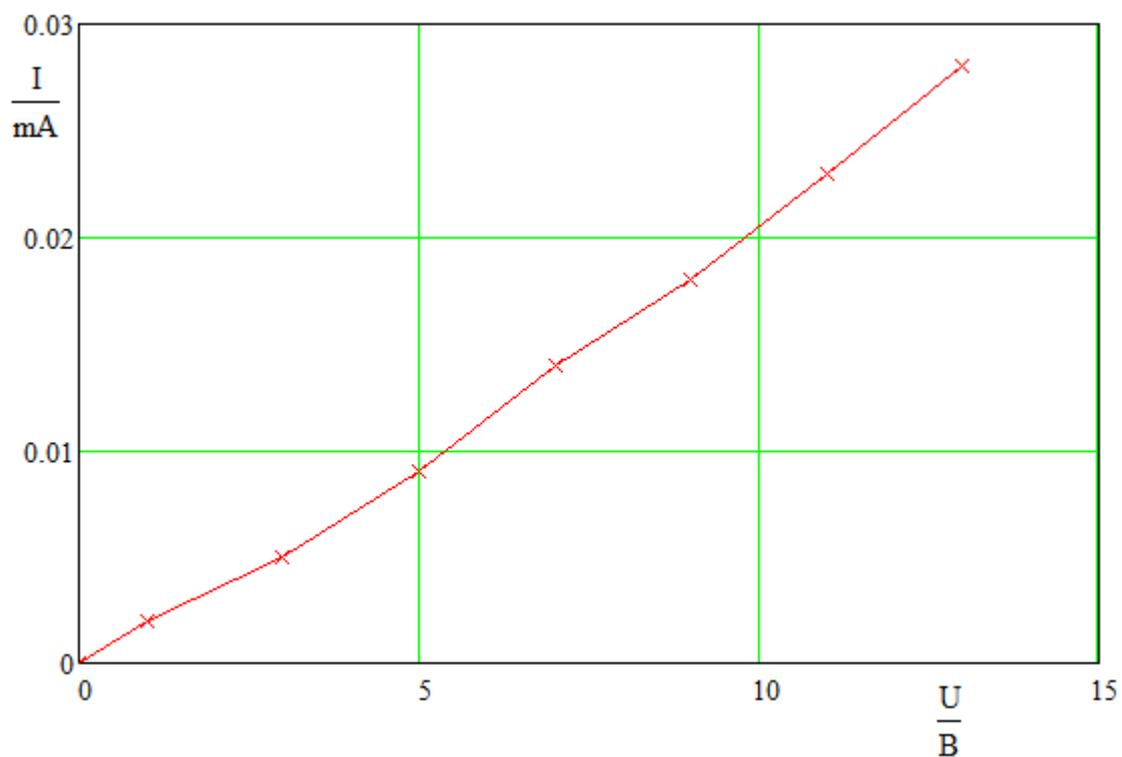


Рисунок 5.4 - ВАХ термистора СТ1-19 – 660 кОм при комнатной температуре.

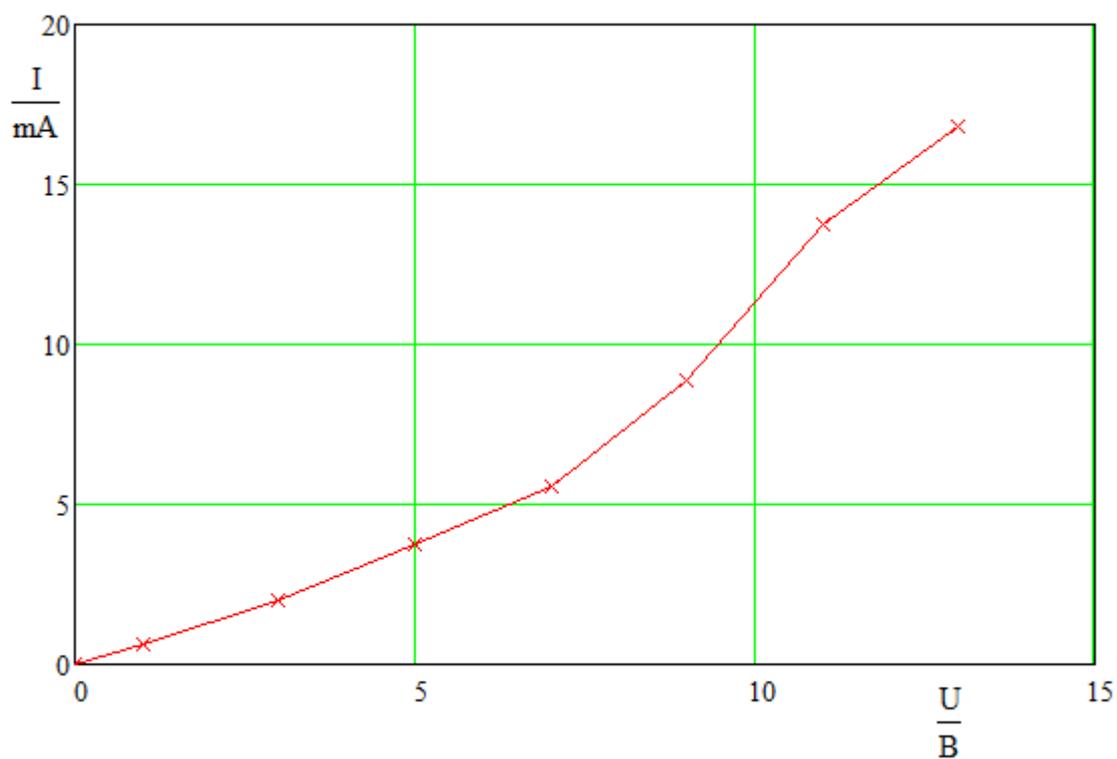


Рисунок 5.5 - ВАХ термистора СТ1 – 17 – 1.2 кОм при комнатной температуре.

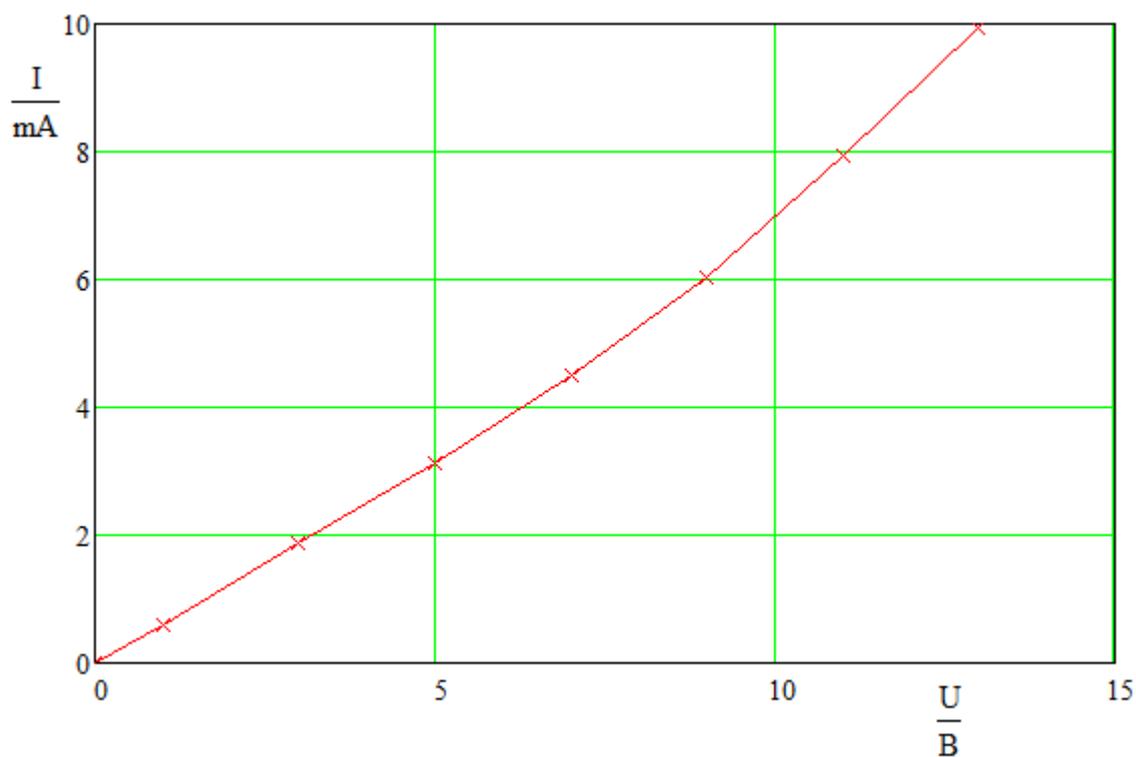


Рисунок 5.6 - ВАХ термистора ММТ-4 – 2.2 кОм при комнатной температуре

5.3. Экспериментальные исследования в режиме нагрева

Включили нагревательный стенд. Постепенно увеличивая заданную температуру и давая время прогреться резисторам и термисторам используя омметр замеряли сопротивление в нагретом состоянии. Результаты замеров свели в таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Сопротивления различных типов резисторов R, кОм

Тип резистора или термистора	Температура t, °C				
	26	30	40	50	60
МРХ-40 кОм	39.9	40.0	39.9	39.9	39.9
С2-29 - 12 кОм	12.3	12.3	12.31	12.31	12.32
МЛТ – 2 - 18 кОм	17.2	17.25	17.26	17.27	17.28
СТ1-19 – 660 кОм	636	539	454	315	205
СТ1 – 17 – 1.2 кОм	0.76	0.74	0.68	0.57	0.4
ММТ-4 – 2.2 кОм	1.64	1.62	1.52	1.36	1.07

Под данным таблицы 5.7 построили температурные зависимости сопротивлений, изображенные на рис.5.7 – 7.12.

По зависимостям видно, что сопротивление постоянных резисторов практически не зависит от температуры, а сопротивление термисторов – значительно меняется. Подсчитаем температурные коэффициенты сопротивлений ТКС:

$$\text{ТКС} = (R_{60} - R_{26}) / (R_{40} \cdot (t_{\max} - t_{\min})) \cdot 100\% \quad , \quad (5.2)$$

Где ТКС – температурный коэффициент сопротивления, %

R_{60} – сопротивление при максимальной температуре $t_{\max} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$,

R_{26} - сопротивление при минимальной температуре $t_{\min} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$,

R_{40} - сопротивление при средней температуре $26 \text{ }^\circ\text{C}$,

$t_{\max} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{\min} = 26 \text{ }^\circ\text{C}$ – максимальная и минимальная температура.

Например, для резистора ММТ-4 – 2.2 кОм:

$$\begin{aligned} \text{ТКС} &= (R_{60} - R_{26}) / (R_{40} \cdot (t_{\max} - t_{\min})) \cdot 100\% = \\ &= (1,07 - 1,64) / (1,52 \cdot (60 - 26)) \cdot 100\% = -1,103\% \end{aligned}$$

Остальные расчеты проведены аналогично, а результаты сведены в таблицу 5.8.

Таблица 5.8 – Температурные коэффициенты сопротивлений.

Тип резистора или термистора	ТКС, %
МРХ-40 кОм	0
С2-29 - 12 кОм	0.005
МЛТ – 2 - 18 кОм	0.014
СТ1-19 – 660 кОм	-2.79
СТ1 – 17 – 1.2 кОм	-1.56
ММТ-4 – 2.2 кОм	-1.10

Следует отметить, что точности используемой аппаратуры оказалось недостаточно для достоверного определения ТКС обычных резисторов в виду малого изменения их сопротивления.

Как и ожидалось согласно рисункам 7.9 – 7.12, ТКС термисторов оказался отрицательным (их сопротивление уменьшается при увеличении температуры).

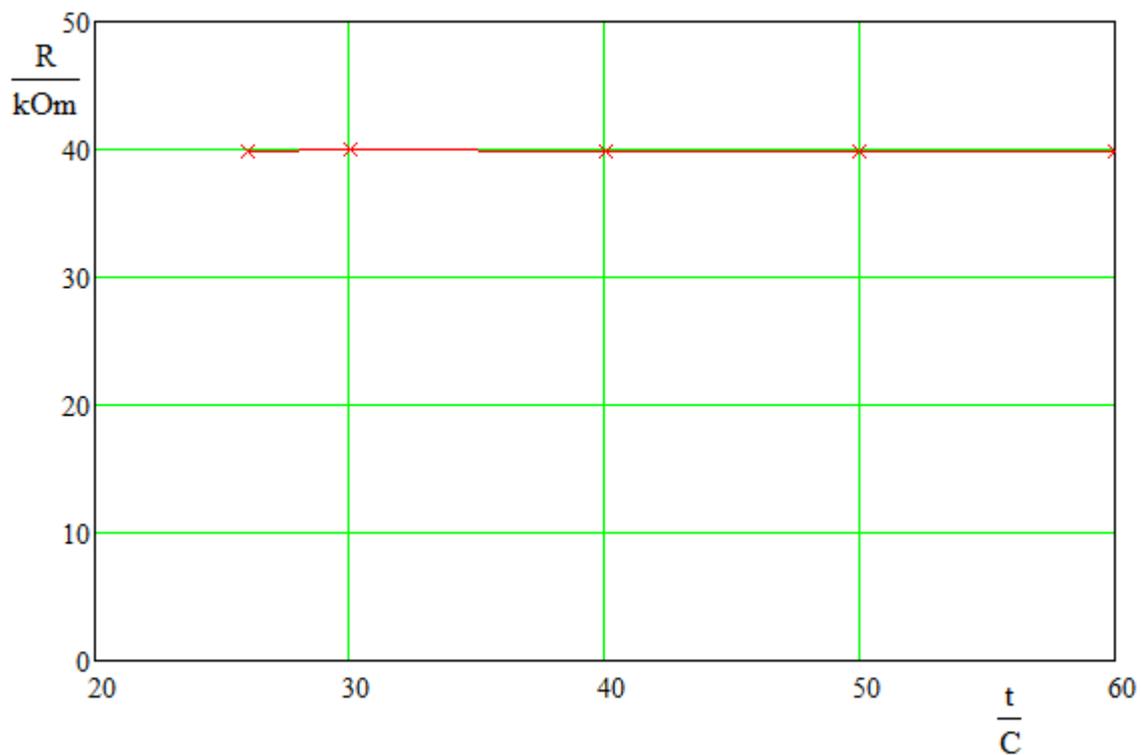


Рисунок 5.7 – Температурная зависимость сопротивления МРХ-40 кОм.

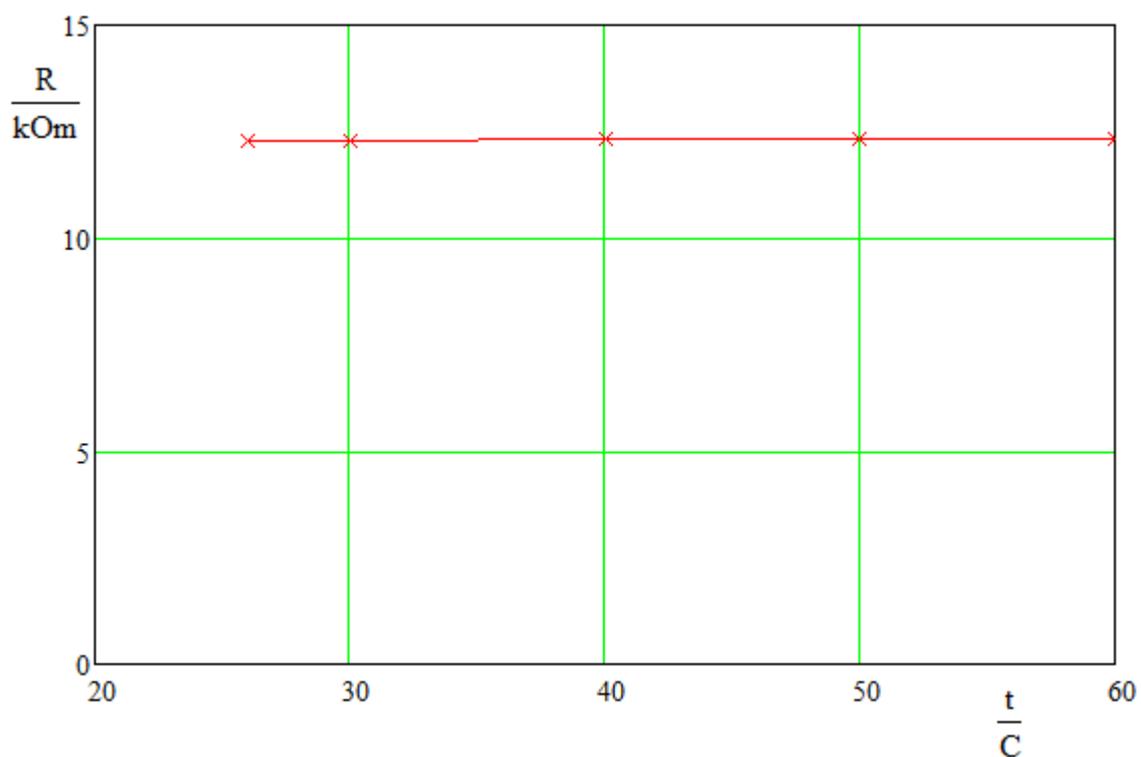


Рисунок 5.7 – Температурная зависимость сопротивления С2-29 - 12 кОм

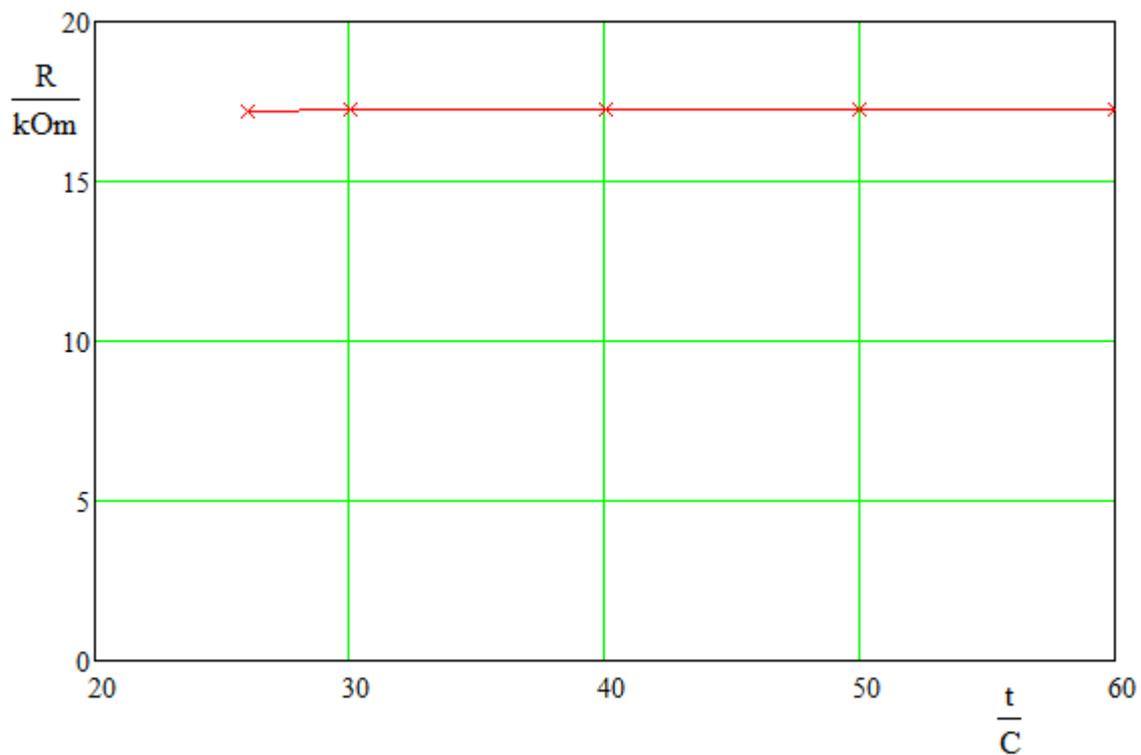


Рисунок 5.7 – Температурная зависимость сопротивления МЛТ – 2 - 18 кОм

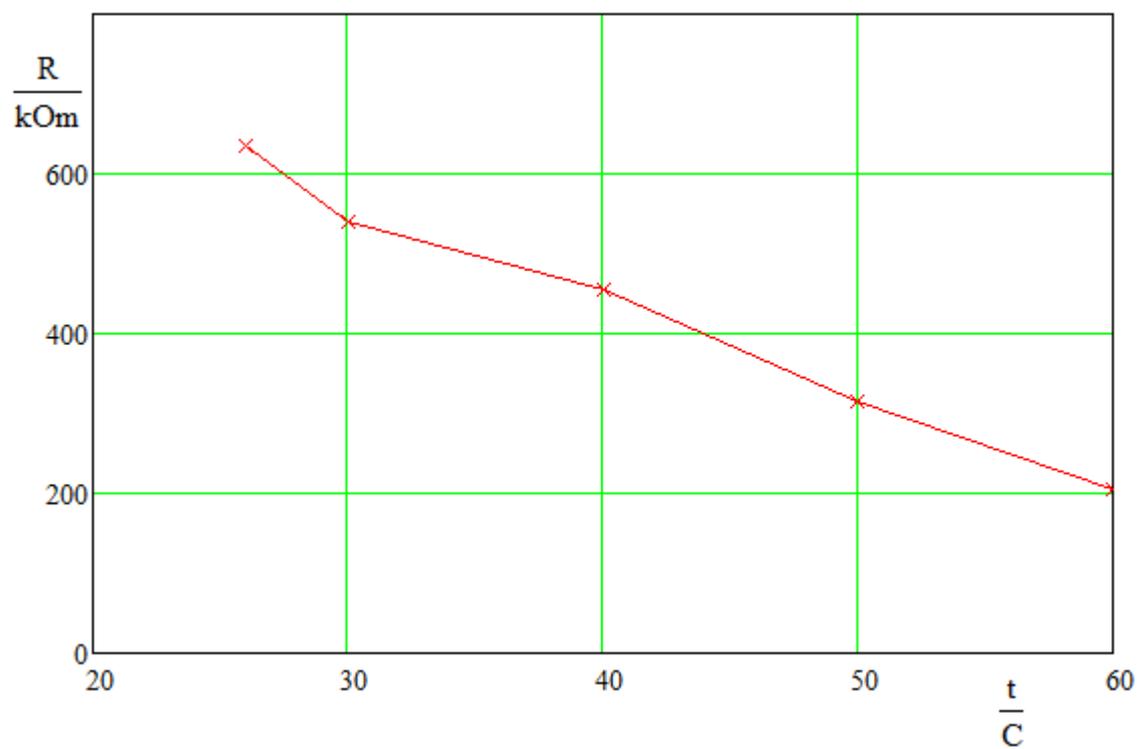


Рисунок 5.7 – Температурная зависимость сопротивления СТ1-19 – 660 кОм

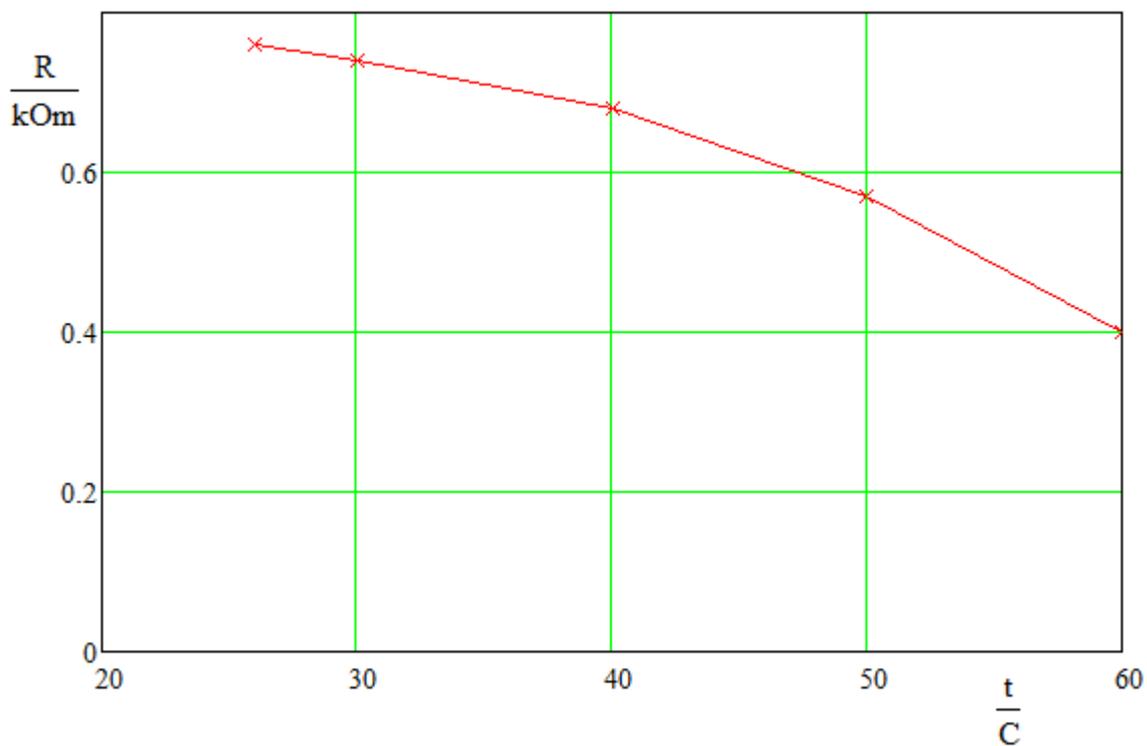


Рисунок 5.7 – Температурная зависимость сопротивления СТ1 – 17 – 1.2 кОм

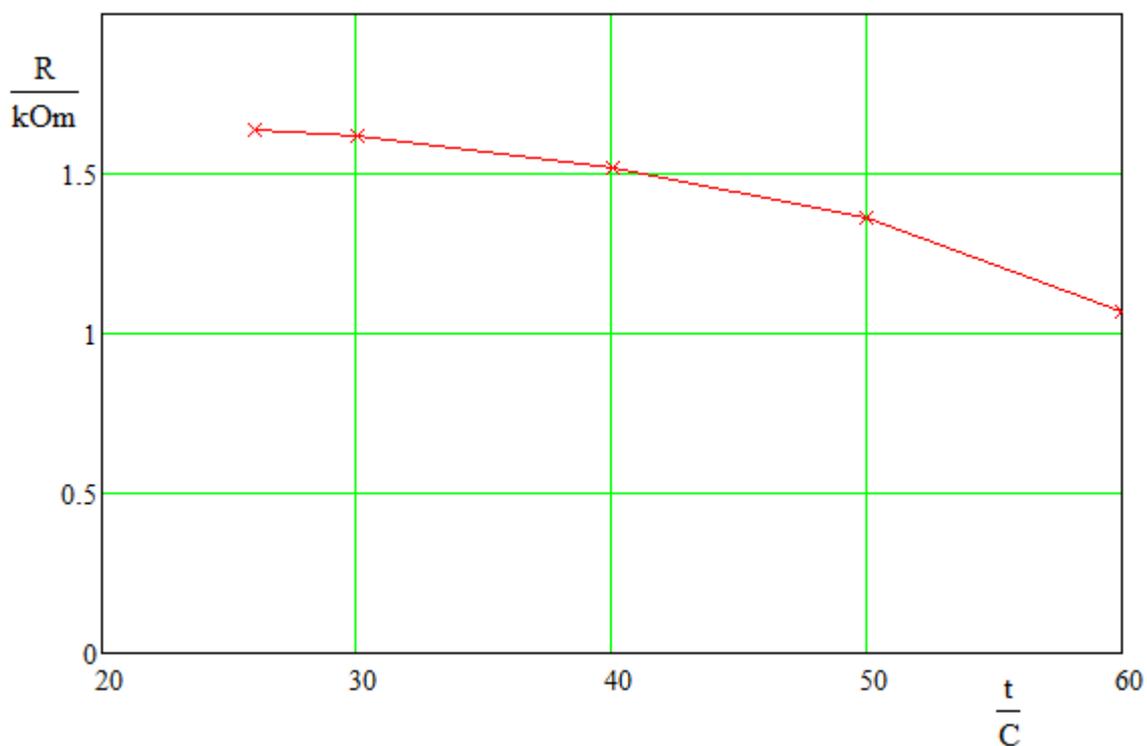


Рисунок 5.7 – Температурная зависимость сопротивления ММТ-4 – 2.2 кОм

Заключение

Проведение лабораторных работ по дисциплине «Электротехнические материалы» при изучении, например, понятий температурного коэффициента изменения сопротивления материалов (ТКС), температурного коэффициента изменения емкости конденсаторов (ТКЕ) и других, связано с необходимостью оперативного изменения температуры.

Применение в работах широко распространенных муфельных печей и других массивных нагревательных устройств связано с неудобствами из-за большой инерционности их, и сложностями при эксплуатации. Так, если в процессе повышения температуры намеченное значение не удалось сразу установить, и температура перескочила выше, то возврат затягивается, так как остывание исследуемого объекта вместе с печью при естественной скорости охлаждения процесс длительный.

Указанные недостатки уменьшены в разработанном и изготовленном нами прецизионном термостате, описанном ниже.

Нам удалось уменьшить время установления температуры за счет:

- значительного уменьшения массы нагреваемых элементов конструкции за счет применения тонкостенного пластмассового корпуса,
- применения нагревателя с минимальной массой, помещенного в высокоэффективный, легко продуваемый корпус, обеспечивающий быстрый нагрев и принудительную подачу нагретого воздуха в полость камеры,
- равномерного перемешивания воздуха по объему,
- быстрого охлаждения объема камеры применением принудительной подачи охлаждающего воздуха с помощью вентилятора;
- быстрого и точного измерения температуры с помощью вычислителя на базе «Arduino», он же управляет включением всех элементов устройства.

Список используемой литературы

1. Химические источники тока: Справочник / Под ред. Н. В. Коровина и А. М. Скундина. – М.: Издательство МЭИ, 2003. 740 с., ил.
2. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л.: Энергоатомиздат, 1985. С.267-291.
3. Преображенский А.А. Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы. М.: Высш. шк., 1972. С.26-35, 66-113.
4. С.Н. Колесов, И.С. Колесов. Материаловедение и технологии конструкционных материалов М., «Высшая школа», 2004
5. И.М. Чуркин. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. ТГУ, Тольятти, 2011.
6. В.Н. Бородулин и др. Электротехнические и конструкционные материалы. М., «Мастерство», 2000
7. А. М. Дальский и др. Технология конструкционных материалов. М., «Машиностроение», 2004
8. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – М.: Высш. шк.1991. – 622 с.
9. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.: ил.
10. Резисторы: Справочник / В. В. Дубровский, Д. М. Иванов, Н. Я. Пратусевич и др.; Под. ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.: ил.
11. Кузнечиков С.Ю. Магнитопроводы из композиционных магнитомягких порошковых материалов.// Электротехника 1994г. №8, С.54
12. Методы проектирования электромеханических вибровозбудителей. Божко А.Е., Пермяков В.И., Пушня В.А. Отв. Ред. А.Н. Подгорный; АН УССР Институт машиностроения. – Киев: Наук.думка, 1989. – 208с.

13. Силовые полупроводниковые приборы. Пер. с англ. Под ред. В.В. Токарева. Первое издание. – Воронеж: «Элист», 1995 г. – 664 с.
14. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база/ Масленников М.Ю., Соболев Е.А., Соколов Г.В. и др.; Под ред. Масленникова М.Ю. М.: Радио и связь, 1996.
15. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.platan.ru](http://www.platan.ru) (дата обращения: 17.05.2018)
16. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.chip-dip.ru](http://www.chip-dip.ru) (дата обращения: 17.05.2018)
17. Миловзоров О. В. Электроника : учеб. для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. - Изд. 4-е, стер. ; Гриф МО. - М. : Высш. шк., 2008. - 288 с.
18. Воронин, П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение/ П.А. Воронин. - М.:Издательский дом “Додека-XXI”, 2001. – 384 с.
19. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: учеб.пособ./ Зиновьев, Г.С. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 664с.
20. Ямпурин Н. П. Электроника [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. П. Ямпурин, А. В. Баранова, В. И. Обухов. - М. : Академия, 2011.
21. AC Fan Series [Электронный ресурс]. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/007/DOC001007035.pdf> (дата обращения: 17.05.2018)
22. LM78XX / LM78XXA 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator [Электронный ресурс]. URL:<https://static.chipdip.ru/lib/164/DOC001164647.pdf> (дата обращения: 17.05.2018)
23. DS18B2 Programmable Resolutio 1-Wire® Digital Thermomet [Электронный ресурс]. URL: https://docviewer.yandex.ru/view/928506/?*=caV9XMOBТbVTCjW97Bodzhjj8j1

7InVybCI6Imh0dHBzOi8vbGliLmNoaXBkaXAucnUvMTc5L0RPQzAwMDE3O
Tc4Ny5wZGYiLCJ0aXRsZSI6IkRPQzAwMDE3OTc4Ny5wZGYiLCJ1aWQiOiI
5Mjg1MDYiLCJ5dSI6Ijk1ODEyNzk3MjE1MjM5Mjc1MjciLCJub2lmcmFtZSI6d
HJ1ZSwidHMiOjE1Mjc2MjM1NzUxMzQsInNlcnBQYXJhbXMiOiJsYW5nPWV
uJm5hbWU9RE9DMDAwMTc5Nzg3LnBkZiZ0bT0xNTI3NjIzNTY1JnRsZD1yd
SZ0ZXh0PURTMThCMjAmdXJsPWh0dHBzJTNBjTjGjTjGjGjGliLmNoaXBkaX
AucnUIMkYxNzk1MkZET0MwMDAxNzk3ODcucGRmJmxyPTI0MCZtaW1lPX
BkZiZsMTBuPXJ1JnNpZ249ODBmNzk1NjJmNDFmYTI4ODI2YjFhOWQ2OD
E0NmM1MmYma2V5bm89MCJ9&lang=en

24. Resistor [Электронный ресурс]. URL:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Resistor> (дата обращения: 17.05.2018)

25. Electrical resistance and conductance [Электронный ресурс]. URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance (дата
обращения: 17.05.2018)