

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович  
Должность: И.о. ректора  
Дата подписания: 19.08.2023 23:10:05  
Уникальный программный ключ:  
2a04bb882d7edb7f479cb266eb4aaaedebeea849



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РД**

**ФГБОУ ВО "ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

**КАФЕДРА УИИВТСИВТ**

**Асланов Т.Г., Тетакаев У.Р., Гасанов О.И.**

## **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторной работы №2

«Исследование характеристик терморезисторов»

по дисциплине «Элементы и устройства систем управления»

для студентов направления подготовки бакалавров

27.03.04—Управление в технических системах,

профиль «Управление и информатика в технических системах»

**МАХАЧКАЛА–2020**

Учебно-методические указания к выполнению лабораторной работы №2 «Исследование характеристик терморезисторов» по дисциплине «Элементы и устройства систем управления» для студентов направления подготовки бакалавров 27.03.04–Управление в технических системах, профиль «Управление и информатика в технических системах». //Махачкала, ИПЦ ДГТУ, 2020 г., 8 с.

В учебно-методических указаниях к выполнению лабораторной работы «Исследование характеристик терморезисторов» по дисциплине «Элементы и устройства систем управления» приведены краткие теоретические сведения о терморезисторах, а также лабораторное задание и порядок его выполнения

Составители: Асланов Т.Г., к. т.н., зав. кафедрой,  
Тетакаев У.Р., к.т.н., ст. преподаватель,  
Гасанов О.И. к.т.н., ст. преподаватель

Рецензенты: 1. Хазамова М.А., к.т.н., доцент кафедры ТиОЭ ДГТУ;  
2. Кобзаренко Д.Н., д.т.н., в.н.с. лаборатории комплексного освоения возобновляемых энергоресурсов Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики филиала ОИВТ РАН,

## Лабораторная работа № 2 «Исследование характеристик терморезисторов»

**Цель работы:** получение зависимости изменения сопротивления терморезистора от температуры, привитие навыков снятия характеристик и обработка результатов эксперимента.

### 1. Краткие теоретические сведения

#### 1.1 Общие сведения о терморезисторах

Терморезистором называется полупроводниковый резистор, сопротивление которого в сильной степени зависит от температуры. Удельная электрическая проводимость полупроводников

$$\gamma = e n_0 \mu_n + e p_0 \mu_p, \quad (1)$$

где  $n_0, p_0$  – концентрация,  $\mu_n, \mu_p$  – подвижность электронов и дырок соответственно.

В примесных (n-типа или p-типа) полупроводниках одним из слагаемых в приведенном выражении можно пренебречь.

Подвижность носителей при нагревании изменяется сравнительно слабо по степенному закону, а концентрация очень сильно по экспоненциальному закону. Поэтому температурная зависимость удельной проводимости полупроводников подобна температурной зависимости концентрации основных носителей, а электрическое сопротивление терморезисторов может быть определено по формуле:

$$R = N_0 * e^{\frac{\Delta \mathcal{E}}{kT}} = N_0 * e^{\frac{B}{T}}, \quad (2)$$

где  $N_0$  – коэффициент, зависящий от типа и геометрических размеров полупроводника;  $\Delta \mathcal{E}$  – энергия активации примесей (для примесных полупроводников) или ширина запрещенной зоны (для собственных полупроводников),  $k$  – постоянная Больцмана.

Постоянная  $B = \Delta \mathcal{E}/k$  носит название коэффициент температурной чувствительности и приводится в паспортных данных на терморезистор. Экспериментально коэффициент температурной чувствительности определяют по формуле:

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} * \ln \frac{R_1}{R_2}, \quad (3)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  – исходная и конечная температуры рабочего температурного диапазона,  $R_1$  и  $R_2$  сопротивления терморезистора при температуре соответственно  $T_1$  и  $T_2$ .

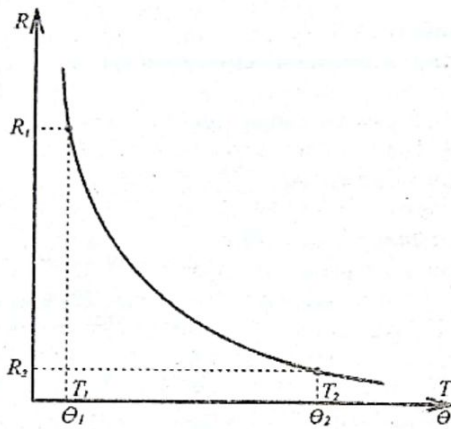


Рисунок 2.1 – График зависимости сопротивления полупроводникового резистора от температуры

Чаще всего терморезисторы имеют отрицательный температурный коэффициент сопротивления  $\alpha_R$

В теории автоматического управления при наличии нелинейных элементов требуется их линеаризация.

Линеаризация может быть выполнена графически по экспериментальным данным. Например, для кривой (рисунок 2.2), если рабочей точкой является точка А, то графическая линеаризация будет иметь вид прямой, касательной к кривой зависимости сопротивления резистора от температуры в точке А.

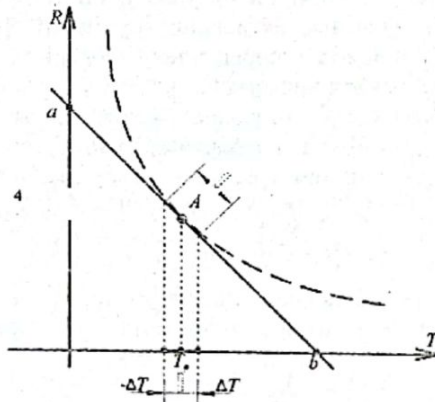


Рисунок 2.2 – Графическая линеаризация

При этом прямую  $ab$  проводят «на глаз». Тем не менее, возникает сомнение, является эта линеаризация оптимальной. Для оптимизации может быть использован метод наименьших квадратов.

Теория автоматического управления предполагает необходимость линеаризации при небольших изменениях линеаризуемой величины. Поэтому рассматриваем изменение сопротивления терморегулятора при отклонениях температуры от рабочей точки в диапазоне  $T_r \pm \Delta T$ , в котором осуществляем измерение.

После снятия экспериментальных данных (см. таблица 2.1) строим график по рисунку 2.2.

Таблица 2.1

T	$T_1$	$T_2$	...	$T_n$
R	$R_1$	$R_2$	...	$R_n$

В соответствии с рисунком 2.2

$$R = R_0 - \frac{R_0}{T_0} T \text{ или } R = R_0 - KT, \text{ где } K = \frac{R_0}{T_0}$$

По полученным экспериментальным данным необходимо найти уравнение прямой  $ab$ , которая наилучшим образом соответствовала бы от экспериментальным данным.

В качестве меры общей ошибки  $S$  в описании несоответствия экспериментальным данным прямой  $ab$  возьмем сумму мер отклонений всех опытных данных, т.е.

$$S = \sum_{n=1}^p (R_n + KT_n - R_0)^2$$

Задача заключается в том, что необходимо выбрать  $K$  и  $R_0$  такими, чтобы величина  $S$  была наименьшей.

Это будет иметь место, если  $\frac{dS}{dK} = 0, \frac{dS}{dR_0} = 0$ . Имеем:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dS}{dK} &= 2 \sum_{i=1}^p (R_i + KT_i - R_0) \cdot T_i = 0 \\ \frac{dS}{dR} &= 2 \sum_{i=1}^p (R_i + KT_i - R_0) = 0 \end{aligned} \right.$$

Эти условия дадут следующие систему уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_{n=1}^p R_n T_n + K \sum_{n=1}^p T_n^2 - R_0 \sum_{n=1}^p T_n &= 0 \\ \sum_{n=1}^p R_n + K \sum_{n=1}^p T_n - p R_0 &= 0 \end{aligned} \right.$$

Введем обозначения

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^p R_n &= a \\ \sum_{n=1}^p T_n &= b \\ \sum_{n=1}^p R_n T_n &= c \end{aligned}$$

$$\sum T_i^2 = d$$

Тогда имеем

$$c + Kd - R_0 b = 0$$

$$a + Kb - pR_0 = 0$$

откуда

$$R_0 = \frac{bc - da}{b^2 - dp}$$

$$K = \frac{pc - ba}{b^2 - dp}$$

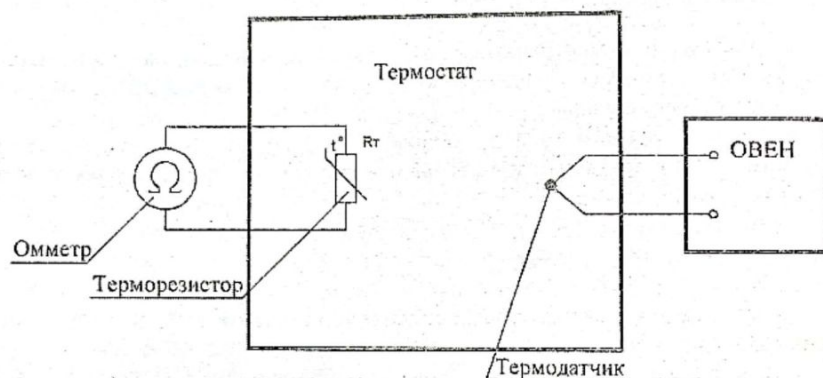


Рисунок 2.3 – Экспериментальная установка

Эксперимент проводится на установке, приведенной на рисунке 2.3.

## 2. Порядок выполнения работы

Снятие зависимости  $R(t)$  сопротивления терморезистора от температуры выполняется по схеме на рисунке 2.3.

Включить термостат. Измерить сопротивление терморезистора при различных температурах - от комнатной до максимальной (значения взять у преподавателя), с интервалом  $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ . Результаты опыта занести в таблицу 2.1.

## 3. Оформление отчета

3.1 Привести схему экспериментальной установки, данные измерительных приборов и исследуемых элементов, а также таблицу измерений.

3.2 На основании данных таблицы 2.1 построить график зависимости сопротивления терморезистора от температуры.

3.3. Для заданной рабочей точки (взять у преподавателя) подобрать, используя метод наименьших квадратов, формулу линейной зависимости сопротивления терморезистора.

3.4. Дать краткие выводы по результатам работы.

## 4. Контрольные вопросы

1. Что называют терморезистором?
2. Чем обусловлена электропроводность полупроводников?
3. В чем причина сильной температурной зависимости сопротивления полупроводниковых резисторов?
4. Что такое коэффициент температурной чувствительности, как его можно определить экспериментально?
5. Почему терморезисторы обладают отрицательным температурным коэффициентом сопротивления?
6. Что такое постоянная времени терморезистора, от чего зависит ее величина?
7. Как практически можно определить постоянную времени терморезистора?
8. В чем различие между статической и динамической ВАХ терморезистора?
9. Какие методы линеаризации дифференциальных уравнений вы знаете?
10. В чем сущность метода наименьших квадратов?

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 2.....	3
«Исследование характеристик терморезисторов».....	3
1. Краткие теоретические сведения .....	3
1.1 Общие сведения о терморезисторах .....	3
2. Порядок выполнения работы.....	6
3. Оформление отчета.....	6
4. Контрольные вопросы.....	7
ОГЛАВЛЕНИЕ.....	7