

Дата проведения занятия 30 октября 2020 г.

Номер пары: 32.

Группа: 21А

Тема занятия: ПЗ № 1. Исследование характеристик терморезисторов.

**Фото выполненного задания скинуть в «В контакте» личным сообщением Орлову А.А. (id421045327), срок сдачи 02.10.2020**

Для получения оценки 3, достаточно выполнить задания без пункта 2.5.

Для получения оценки 4 или 5, нужно выполнить задания с пунктом 2.5.

### Задание.

Используя предлагаемый ниже теоретический материал, и другие источники информации (учебники, интернет), выполнить задания ПЗ.

### Общие сведения

Терморезисторы – это резисторы, обладающие свойством изменять свое сопротивление при изменении температуры. Их изготавливают из чистых металлов (медь, платина), смесей окислов металлов или титаната бария со специальными примесями.

Терморезисторы, изготавливаемые из окислов марганца, кобальта, меди, никеля, обладают свойствами полупроводников и называются термисторами. Полупроводниковые резисторы на базе титаната бария называются позисторами.

Чистые металлы и позисторы обладают положительным температурным коэффициентом, а термисторы — отрицательным. При увеличении температуры сопротивление металлов и позисторов увеличивается, а сопротивление термисторов уменьшается.

Чистые металлы используют для устройства термометров сопротивления. В технической документации принято сокращенное обозначение термометров сопротивления по первым буквам: термометр сопротивления медный (ТСМ), термометр сопротивления платиновый (ТСП). Цифры указывают на модификацию термометра.

Сопротивление платинового термометра определяется в указанных интервалах температур по формуле:

$$R_{\theta} = R_0 * (1 + A * \theta + B * \theta^2). \quad [1]$$

Сопротивление медного термометра при температурах от –50 до +180 °С определяется по формуле

$$R_{\theta} = R_0 * (1 + \alpha(\theta - \theta_0)) \quad ,[2]$$

где  $R_0$  — сопротивление проволоки при температуре  $\theta_0$ ;

$R_{\theta}$  — сопротивление проволоки при температуре  $\theta$ ;

$\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления, составляющий для металлов  $(3,7... 6,5) \cdot 10^{-3}$  1/град;

$A, B$  — постоянные коэффициенты.

Чувствительность (Ом/град) медного термометра сопротивления

$$k_{\text{д}} = \frac{dR_{\theta}}{d\theta} = \alpha * R_0 \quad [3]$$

Стандартные термометры сопротивления имеют различные конструкции.

Измерительный преобразователь (чувствительный элемент) платинового термометра сопротивления (рис. 1) представляет собой платиновую спираль 4, помещенную в капиллярных керамических трубках 2, заполненных керамическим порошком 3, который служит изолятором и обладает ингибиторными (замедляющими химические реакции) свойствами.

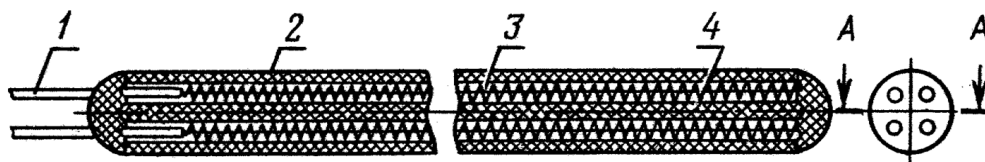


рис.1. Чувствительный элемент платинового термометра сопротивления.

В медных термометрах измерительный преобразователь представляет собой бескаркасную безындукционную (бифилярная намотка) обмотку из медной проволоки, покрытую фторопластовой пленкой, К обмоткам припаивают выводы из проволоки большего сечения. Преобразователи помещают в тонкостенную металлическую гильзу.

Устройство термометра сопротивления показано на рисунке 2. Термометр имеет чувствительный элемент 9, помещенный в кожух 7. Чувствительный элемент посредством выводных проводников, проходящих через фарфоровые изоляторы (бусинки) 10, соединен с зажимами контактной клеммы 5. Свободное пространство трубки заполнено порошком окиси алюминия 8, который улучшает теплообмен между чувствительным элементом и стенками трубки, закрытой герметиком 6. Контактные клеммы 5 закреплены в корпусе головки термометра, содержащей штуцер для кабеля внешних соединений 1 с уплотнительной втулкой и зажимной гайкой. Корпус головки закрыт крышкой 4, уплотненной прокладкой 3. На объекте термометр монтируют при помощи штуцера с гайкой 11.

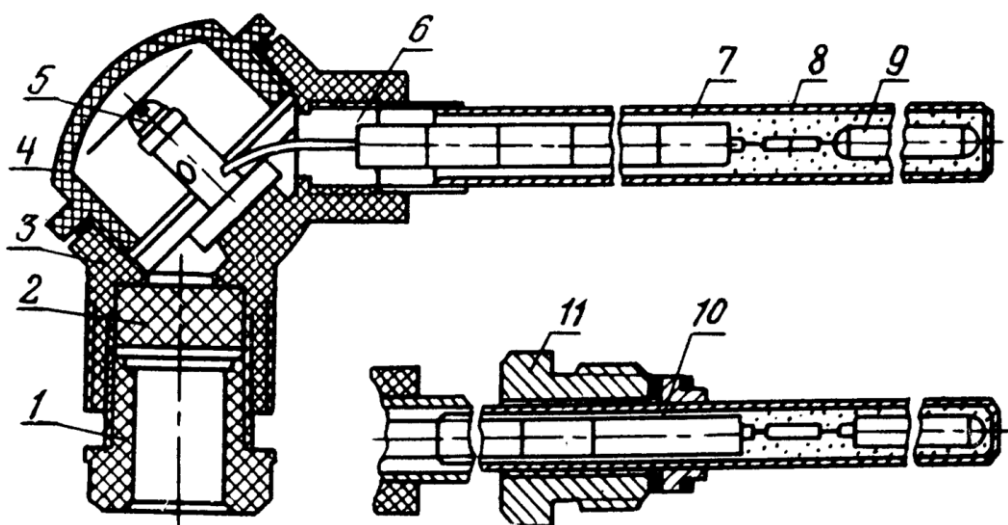


рис. 2 Конструкция термометра сопротивления.

1- штуцер; 2- прокладка; 3- корпус головки; 4- крышка; 5- контактная клемма; 6- герметик; 7- кожух; 8- окись алюминия; 9- чувствительный элемент; 10- изоляторы; 11- штуцер для крепления.

К измерительным устройствам термометр сопротивления подключается

двухжильным кабелем. Длина кабеля существенным образом влияет на общее сопротивление термометра сопротивлению. Поэтому заводы изготовители градуируют термометры вместе с кабелем. Данные градуировки указаны на бирке термометра. Основные параметры термометров сопротивления приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры термометров сопротивления.

| Тип термометра | Сопротивление при 0 °С, Ом | Условное обозначение градуировки | Диапазон измеряемых температур | Отношение сопротивлений $R_{100}/R_0$ |
|----------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| ТСМ            | 53                         | 23                               | - 50 ÷ + 180                   | 1,426                                 |
| ТСМ            | 100                        | 24                               | - 50 ÷ + 180                   | 1,426                                 |
| ТСП            | 10                         | 20                               | 0 ÷ + 650                      | 1,391                                 |
| ТСП            | 46                         | 21                               | - 200 ÷ + 500                  | 1,391                                 |
| ТСП            | 100                        | 22                               | - 200 ÷ + 500                  | 1,391                                 |

Преимуществом термометров сопротивления является: высокая точность измерений, стабильность характеристик во времени.

Недостатки — необходимость в схемах измерения использовать измерительные мосты с электронными усилителями, в комплекте с которыми металлические термометры широко применяются для измерения температуры сельскохозяйственных продуктов.

Полупроводниковые терморезисторы, получившие в последнее время преимущественное распространение, обладают значительно большей чувствительностью, чем металлические.

Серийно выпускаются две группы терморезисторов: с отрицательным и положительным температурным коэффициентом сопротивления. Первые получили название термисторов, а вторые — позисторов.

Зависимость сопротивления термистора от температуры иллюстрируется графиком на рисунке 3 и определяется уравнением

$$R_{\theta} = R_{\infty} * e^{\frac{B}{T}}, \quad [4]$$

где  $T$  — температура, °К;

$R_{\infty}$  — сопротивление термистора при  $T \rightarrow \infty$ , Ом;

$B$  — постоянный коэффициент, характеризующий термочувствительность полупроводникового резистора.

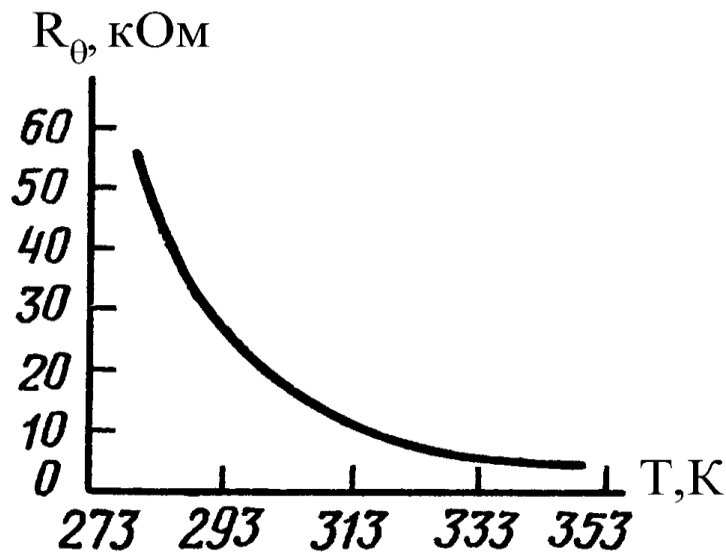


рис. 3. Зависимость сопротивления термистора от температуры.

Чувствительность (Ом/град) полупроводникового резистора:

$$k_D = \frac{dR_\theta}{d\theta} = \alpha * R_\theta, \quad [5]$$

В последней формуле температурный коэффициент  $\alpha$  термистора выражается как:

$$\alpha = -\frac{B}{T^2} \quad [6]$$

Чтобы рассчитать температурную характеристику, достаточно знать координаты двух ее точек ( $R_1, T_1$ ) и ( $R_2, T_2$ ). Подставив их в выражение [4], составим два уравнения, из которых получим формулы для расчета коэффициентов

$$B = \left( \frac{T_1 * T_2}{T_2 - T_1} \right) * \ln \left( \frac{R_1}{R_2} \right) \quad [7]$$

$$R_\infty = R_1 * e^{-\frac{B}{T_1}} \quad [8]$$

Подставив полученные значения коэффициентов  $B$  и  $R_\infty$  в уравнение [4], получим уравнение зависимости сопротивления термистора от температуры.

### Пример.

Термистор при температуре  $T_1=293$  °К имеет сопротивление  $R_{293} = 30$  кОм, а при температуре  $T_2=323$  °К имеет сопротивление  $R_{323} = 7,5$  кОм. Требуется записать уравнение зависимости сопротивления термистора от температуры.

Подставив в формулы [7], [8] полученные значения получим:

$$B = \left( \frac{T_1 * T_2}{T_2 - T_1} \right) * \ln \left( \frac{R_1}{R_2} \right) = \left( \frac{293 * 323}{323 - 293} \right) * \ln \left( \frac{30}{7,5} \right) = 4372 \text{ } ^\circ K$$

$$R_{\infty} = R_1 * e^{\frac{B}{T_1}} = 30 * 10^3 * e^{\frac{4372}{293}} = 9,92 * 10^{-3} \hat{h}$$

Подставив эти значения в уравнение зависимости сопротивления термистора от температуры [4], получим:

$$R_{\theta} = 9,92 * 10^{-3} * e^{\frac{4372}{T}}$$

Подставляя в уравнение различные значения температуры можно рассчитать сопротивление термистора при этих температурах.

Для температуры  $T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 303 \text{ }^{\circ}\text{K}$ , после подстановки получаем:

$$R_{303} = 9,92 * 10^{-3} * e^{\frac{4372}{303}} = 9,92 * 10^{-3} * e^{14,43} =$$

$$= 9,92 * 10^{-3} * 1846943,93 = 18321,68 \text{ Ом}$$

Позисторы (термисторы с положительным температурным коэффициентом) изготавливают из титаната бария со специально подобранными примесями, которые придают ему свойства полупроводника с сильной зависимостью сопротивления от температуры.

Положительный температурный коэффициент позисторов в 3...4 раза больше, чем у термистора, а постоянная времени их в 5...6 раз меньше. Кроме того, их отличает своеобразие температурных характеристик (см. рис. 4) и наличие так называемого *варисторного эффекта*, который выражается в уменьшении сопротивления позистора с увеличением приложенного напряжения.

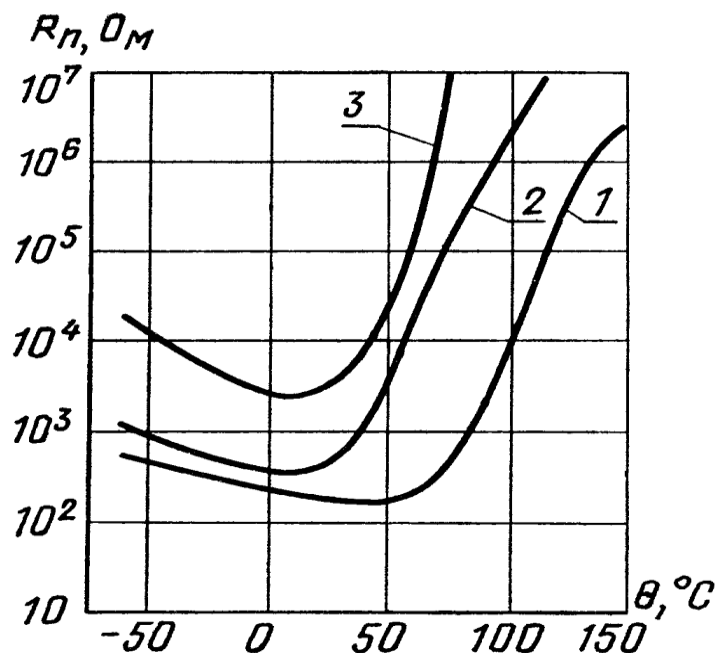


рис. 4. Зависимость сопротивления позистора от температуры:  
 1 – позистор СТ6-1А  
 2 – позистор СТ6-1Б  
 3 – позистор СТ6-3Б

Исследования показали, что дать общее уравнение температурной характеристики позистора для всего температурного диапазона не представляется возможным и, очевидно, не требуется. И.Ф. Бородиным предложено температурную характеристику разделить на два участка: первый от  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  до температуры  $\theta_k$  точки Кюри, при которой наблюдается резкий рост сопротивления позистора, и второй — от температуры  $\theta_k$  (около  $75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) до  $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Тогда первый участок описывается уравнением:

$$R_{\bar{t}} = A * e^{-A(\theta - \theta_f)} + R_f \quad [10]$$

а второй:

$$R_{\bar{t}} = \alpha * (\theta - \theta_{\hat{E}})^{\beta} + R_{\hat{E}} \quad [11]$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  — постоянные коэффициенты, определяемые по экспериментальным точкам;  $R_n$  и  $R_k$  — сопротивления позистора соответственно при начальной температуре  $\theta_n$  и температуре  $\theta_k$  точки Кюри.

Важное преимущество полупроводниковых термометров сопротивления — их высокая чувствительность, которая примерно в 10 раз превышает чувствительность термометров типа ТСМ. Недостатки: разброс характеристик от прибора к прибору, изменение характеристики (старение), нелинейная зависимость сопротивления от температуры. Указанные недостатки затрудняют точное измерение температуры. Полупроводниковые термометры как правило, имеют индивидуальную градуировку, следовательно, они не взаимозаменяемы и при замене одного термометра другим необходима соответствующая подрегулировка измерительной аппаратуры.

Конструкция одного из полупроводниковых термосопротивлений (терморезисторов) показана на рисунке 5. Термисторы и позисторы конструктивно представляют собой тела стержневой, дисковой, пластинчатой или бусинковой форм с металлическими выводами.

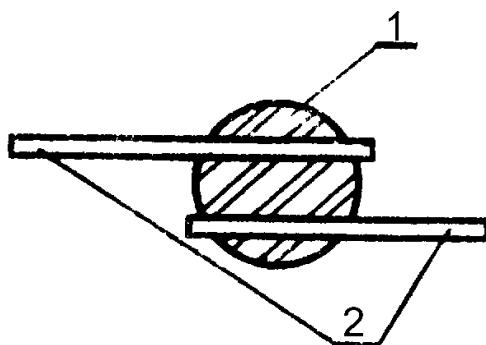


рис. 5 Конструкция термистора.

- 1 — термочувствительный элемент
- 2 — металлические выводы.

Рабочее тело покрывается защитным слоем лака, стекла или полиамидной пленки, при необходимости его помещают в защитный корпус (см. рис 6).

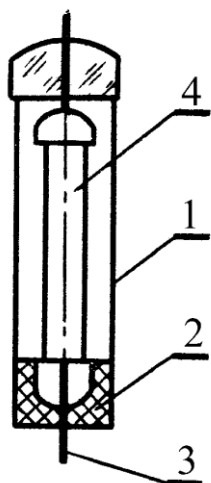


рис. 6. Термистор типа КМТ-4 или ММТ-4

- 1 — защитный кожух;
- 2 — изоляционная колодка;
- 3 — вывод;
- 4 — первичный преобразователь (чувствительный элемент).

Термисторы и позисторы имеют небольшие габаритные размеры, что позволяет встраивать их для контроля температуры в обмотки электрических машин и ткани биологических объектов. Например, бусинка термистора СТЗ-25 имеет диаметр 0,3 мм; термистор КМТ-11 представляет собой стержень диаметром 1 мм и длиной 3,5 мм.

Основным параметром термисторов является номинальное сопротивление при температуре 20° С. Дисковые и пластинчатые термисторы выпускаются с номинальными сопротивлениями от 1 до 22 кОм; стержневые — от 1 кОм до 3,3 МОм. Сопротивления позисторов не нормируются из-

за большого разброса значений. Но для большинства позисторов кратность изменения сопротивления составляет  $10^3$ . Максимально допустимая температура нагрева тела термисторов составляет  $120 \div 150^\circ\text{C}$ . Позисторы допускают нагрев до  $155 \div 200^\circ\text{C}$ .

Характерной особенностью термисторов и позисторов является их тепловая инерция, определяемая тепловой постоянной времени — времени, в течение которого термистор приобретает температуру окружающей среды. Для бусиновых термисторов это время не превышает 1 с, для остальных — находится в пределах от 10 до 100 с.

Максимальная мощность рассеяния для большинства термисторов и позисторов находится в пределах от 0,1 до 1 Вт. Малая мощность терморезисторов не позволяет включать их непосредственно в цепь измерительных приборов. Поэтому в качестве измерительных схем применяют измерительные мосты, обладающие высокой чувствительностью.

В практике термисторы типов КМТ и ММТ применяют для измерения и регулирования температуры. Термисторы КМТ-10 и КМТ-11 обладают свойством резко уменьшать свое сопротивление при нагреве в узком диапазоне температур и используются в схемах температурных реле.

Позисторы типа СТ14-1А и СТ14-1Б используют в схемах температурной защиты. Они изготавливаются в виде дисков диаметром 3 и толщиной 1,5 мм (см. рис. 7). Для изоляции дисков используют полиамидную пленку ПМ-1 толщиной 50 мкм, термические, механические и электрические характеристики которой соответствуют условиям работы датчиков. Комплект таких датчиков (три штуки из расчета один на фазу) является чувствительным органом защиты, подающим сигнал в управляющее устройство.

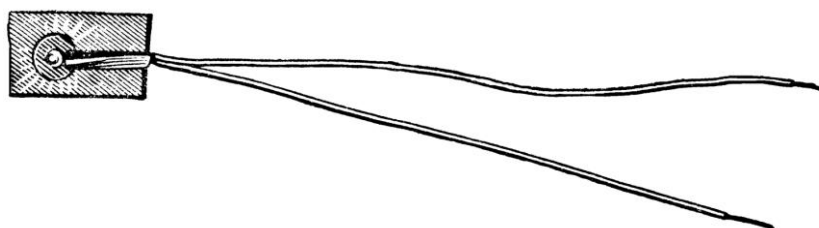


рис. 7. Позистор СТ14-1А

Основные параметры некоторых терморезисторов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные параметры некоторых термисторов и позисторов.

| Параметры  | Термисторы |        |          |          |        | Позисторы |          |         |
|--|------------|--------|----------|----------|--------|-----------|----------|---------|
|  | ММТ-4      | КМТ-1  | КМТ-10   | КМТ-11   | КМТ-12 | СТ5-1     | СТ6-1А   | СТ6-1Б  |
| Диапазон сопротивлений, кОм  | 1÷220      | 22÷100 | 100÷3000 | 100÷3000 | 0,1÷10 | 0,02÷0,15 | 0,04÷0,4 | 0,1÷0,7 |
| Допустимая температура, °С   | 120        | 150    | 400      | 400      | 120    | 135       | 155      | 125     |
| Допустимая мощность рассеяния, Вт  | 0,7        | 1,0    | 0,25     | -        | -      | 0,8       | 1,1      | 0,8     |
| Постоянная времени, с  | 115        | 85     | 24       | 24       | -      | 15        | 15       | 15      |
| Кратность изменения сопротивления, $R_{20}/R_{100}$ (для позисторов $R_{100}/R_{20}$ ) | 8          | 18     | 35       | 35       | -      | 1000      | 1000     | 1000    |

Полупроводниковые терморезисторы в соответствии с их основными свойствами широко применяют в датчиках температуры, скорости движения воздуха или жидкости, уровня жидкости и сыпучих материалов, влажности и других параметров (по изменению условий теплообмена). Большие значения сопротивления полупроводниковых резисторов и их температурного коэффициента сопротивления дают возможность практически не считаться с сопротивлениями проводов и контактов. Это обеспечивает высокую точность измерений на расстоянии.

## ПЗ № 1. Исследование характеристик терморезисторов.

**Наименование работы:** ПЗ № 1. Исследование характеристик терморезисторов.

Снятие температурных характеристик терморезисторов.

**Цель работы:**

1. Повторить устройство и принцип действия терморезисторов.
2. Научиться определять область рабочих температур у терморезисторов

**Приобретаемые умения и навыки:**

Научиться снимать характеристики терморезисторов.

**Оснащение рабочего места (используемые приборы и оборудование):**

| Приборы и оборудование    | Тип                | Кол-во | Пределы измерения | Обозначение | Примечание              |
|---------------------------|--------------------|--------|-------------------|-------------|-------------------------|
| Стенд лабораторный        | БИС                | 1      |                   |             |                         |
| Мультиметр 3              | M890G              | 1      |                   | <i>P</i>    | Измерение температуры   |
| Мультиметр 1              | M890B <sup>+</sup> | 1      | 200Ω-2k-20k-200k  | <i>PR</i>   | Измерение сопротивления |
| Терморезистор             | -                  | 2      | -                 | <i>RK</i>   | термистор - 1 шт        |
| Нагревательное устройство | -                  | 1      | -                 | <i>EK</i>   | $U_{ном} = 12В$         |

\*- приборы могут быть заменены аналогичными

### Схема лабораторной установки

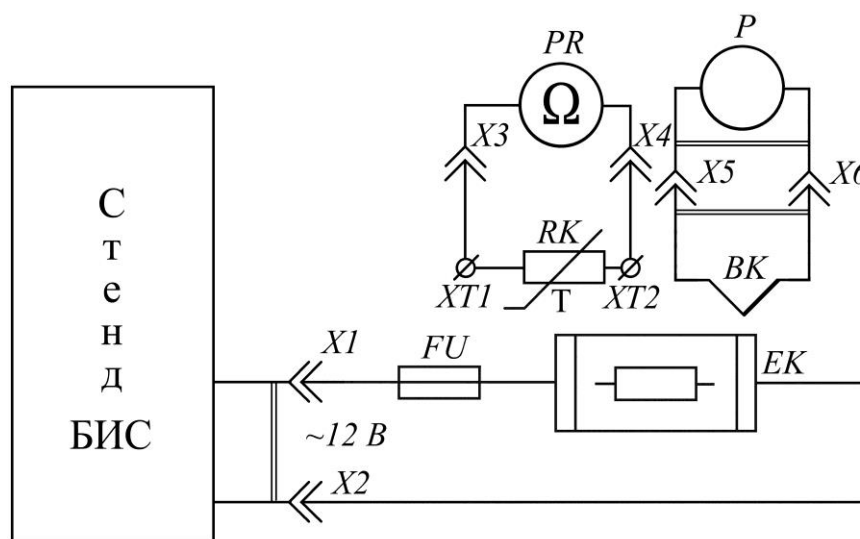


рис. 8. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки

### Задание по лабораторной работе:

**1. Задание, выполняемое при подготовке к занятию (домашняя подготовка).**

1.1. Пользуясь методическими указаниями, учебником, справочной литературой изучите устройство и принцип действия терморезисторов.

1.2. Оформите бланк отчета по лабораторной работе, указав в нем:

- наименование лабораторной работы;
- цель работы, получаемые умения и навыки;
- используемые приборы и оборудование (в форме таблицы);
- схема лабораторной установки;



- требуемые в пунктах 2.2.-2.7. схемы, таблицы и результаты выполнения заданий.

## 2. Порядок выполнения работы.

- 2.1. Посмотрите видео фрагмент испытания терморезистора по предложенной ссылке:  
[https://yadi.sk/i/\\_Lq5wo\\_qo4IYLO](https://yadi.sk/i/_Lq5wo_qo4IYLO)
- 2.2. По таблице 3 определите номер образца терморезистора, с которым будет выполняться работа. По таблице 4 определите данные для таблицы 5.

Таблица 3. Распределение образцов терморезисторов

| Ф.И.О.              | Образец | Ф.И.О.           | Образец |
|---------------------|---------|------------------|---------|
| Беляев Роман        | 1       | Трифонов Дмитрий | 1       |
| Гольшев Матвей      | 1       | Хохряков Олег    | 1       |
| Доронин Данил       | 2       | Торопов Андрей   | 2       |
| Муллаяров Артур     | 2       | Яшкин Данил      | 2       |
| Корнилов Александр  | 3       | Урванцев Максим  | 3       |
| Лукоянов Михаил     | 3       | Чухарева Дарья   | 3       |
| Мангилев Константин | 3       | Неволин Владимир | 4       |
| Неволин Кирилл      | 4       | Каюмов Айдар     | 4       |
| Пшеницын Данил      | 4       | Рябов Игорь      | 5       |
| Закиров Вадим       | 5       |                  |         |
| Запольских Никита   | 5       | Перевалова Ирина | 6       |
| Гордиенко Алексей   | 6       |                  |         |
| Сафин Айрат         | 6       | Сафин Эдуард     | 7       |

Таблица 4. Величины сопротивлений образцов терморезисторов (Ом) при разных температурах.

|         |   | Температура, °С |       |       |       |       |       |      |      |      |
|---------|---|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
|         |   | 20              | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80   | 90   | 100  |
| Образец | 1 | 68049           | 38700 | 22817 | 13900 | 8723  | 5625  | 3719 | 2515 | 1737 |
|         | 2 | 33125           | 24640 | 18420 | 12240 | 11559 | 10654 | 8291 | 6349 | 4740 |
|         | 3 | 13167           | 9220  | 6604  | 4830  | 3599  | 2728  | 2101 | 1641 | 1299 |
|         | 4 | 6559            | 5801  | 5170  | 4642  | 4194  | 3812  | 3483 | 3199 | 2952 |
|         | 5 | 1419            | 1000  | 720   | 530   | 397   | 302   | 234  | 183  | 146  |
|         | 6 | 404             | 236   | 142   | 89    | 57    | 37    | 25   | 17   | 12   |
|         | 7 | 170             | 128   | 98    | 76    | 60    | 48    | 39   | 32   | 26   |

- 2.3. По предложенным данным (таблицы 3 и 4) заполните таблицу 5, на основании которой постройте кривую зависимости сопротивления терморезистора от температуры  $R=f(T)$ .

Таблица 5. Величина сопротивления терморезистора.

| Температура, °С | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| Образец n       |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |

- 2.4. Обратившись к общим сведениям по работе, проанализировав вид полученной кривой, определите вид терморезистора, основные параметры (чувствительность, область его рабочих температур и др.).
- 2.5. Обратившись к общим сведениям по работе, используя соотношения [4, 7, 8] и приведенный там пример, выполните необходимые расчеты и запишите для термистора уравнение зависимости его сопротивления от температуры.
- 2.6. Сделайте выводы по выполненной вами лабораторной работе.
- 2.7. Оформите отчет по работе.

### Контрольные вопросы:

1. Для чего используются терморезисторы?
2. Перечислите основные типы терморезисторов, чем они отличаются друг от друга?

3. Какой температурный коэффициент сопротивления у термистора?

4. Как меняется сопротивление позистора при увеличении температуры окружающей среды?