

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕМПЕРАТУРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
РЕЗИСТОРОВ**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы  
по курсу «Электротехнические материалы»  
для студентов специальности  
140211

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Электротехнические материалы» (специальность 140211)

Составили: канд.техн.наук, доц. Т.А. Дудорова;  
ст. преподаватель И.А.Семкина

Составлены на основе экспериментальных исследований, проведенных  
А.Г.Юшковским.

Утверждены на заседании кафедры 3 марта 2007 г.

Рекомендовано методическим советом университета

«25» 06 2007г.

**Цель работы** - исследование зависимости сопротивления резисторов от температуры

### **Общие сведения**

Резистор (англ. *resistor*, от лат. *resisto* - сопротивляюсь) - пассивный элемент электрической цепи, в идеале характеризуемый только сопротивлением электрическому току.

Резисторы классифицируются на:

**постоянные резисторы** (сопротивление которых не регулируется);

**переменные регулируемые резисторы** (потенциометры, реостаты, подстроечные резисторы);

различные специальные резисторы, например:

**нелинейные** (которые, строго говоря, не являются обычными резисторами из-за нелинейности ВАХ);

**терморезисторы** (с зависимостью сопротивления от температуры);

**фоторезисторы** (сопротивление зависит от освещённости);

**тензорезисторы** (сопротивление зависит от деформации резистора);

**магниторезисторы** и пр.

По используемому материалу резисторы классифицируются на:

**Проволочные резисторы.** Представляют собой кусок проволоки с высоким удельным сопротивлением, намотанный на какой-либо каркас. Для изготовления проволоки применяют такие сплавы, как манганин, константан, никелин.

**Плёночные металлические резисторы.** Представляют собой тонкую плёнку металла с высоким удельным сопротивлением, напыленную на керамический сердечник, на концы которого надеты металлические колпачки с проволочными выводами. Иногда для повышения сопротивления в плёнке прорезается канавка. Это наиболее распространённый тип резисторов.

**Угольные резисторы** бывают плёночными и объёмными. Используется высокое удельное сопротивление графита.

**Полупроводниковые резисторы.** Используется сопротивление слаболегированного полупроводника. Эти резисторы могут иметь большую нелинейность вольт-амперной характеристики. В основном применяются в составе интегральных микросхем.

Выпускаемые промышленностью резисторы одного и того же номинала имеют разброс сопротивлений. Значение возможного разброса определяется точностью резистора. Выпускают резисторы с точностью 20%, 10%, 5%, и т.д. вплоть до 0,1%. Номиналы резисторов не произвольны: их значения выбираются из специальных номинальных рядов. Наиболее часто из номинальных рядов E12 или E24 (для резисторов с точностью до 5%), для более точных резисторов используются более точные ряды, построенные, однако, по тому же принципу.

Резисторы, выпускаемые промышленностью, характеризуются также определённым значением максимальной рассеиваемой мощности (выпускаются резисторы мощностью 0,125Вт 0,25Вт 0,5Вт 1Вт 2Вт 4Вт и более).

### **Зависимость сопротивления от температуры**

Сопротивление металлических и проволочных резисторов немного зависит от температуры. При этом зависимость от температуры практически линейная. Такая зависимость сопротивления от температуры позволяет использовать резисторы в качестве термометров. Сопротивление полупроводниковых резисторов может зависеть от температуры сильнее, возможно, даже экспоненциально по закону Аррениуса, однако в практическом диапазоне температур и эту экспоненциальную зависимость можно заменить линейной.

Все электрические проводники чувствительны к изменениям температуры. Обычная медная проволока имеет положительный температурный коэффициент. Когда она нагревается, ее сопротивление увеличивается. Тем не менее, *относительный* рост сопротивления очень мал. В большинстве случаев избыток тепла не оказывает значительного влияния на сопротивление. С другой стороны, имеются проводниковые и полупроводниковые материалы, сопротивление которых

претерпевает большие изменения при относительно небольших температурных колебаниях.

Резисторы различных типов и номинальных сопротивлений широко применяются в устройствах автоматики электросистем, измерительной и вычислительной техники и во многих других областях электротехники.



Рис.1 - Терморезистор СТ1-19

Одной из важнейших характеристик проводниковых и полупроводниковых материалов, используемых для изготовления резисторов, независимо от конкретного применения является их удельное сопротивление  $\rho$ . Эта величина зависит от температуры. Относительное изменение удельного сопротивления материала резисторов с изменением температуры характеризуется температурным коэффициентом сопротивления ТКС,  $\%/^{\circ}\text{C}$ . У резисторов, изготовленных из металлов или их сплавов значение ТКС достаточно велико ( $\approx 0,4 \%/^{\circ}\text{C}$ ), а у большинства сплавов, значительно меньше ( $10^{-2} \dots 10^{-4} \%/^{\circ}\text{C}$ ). ТКС терморезисторов отрицателен и в десятки и сотни раз больше ТКС непроволочных и проволочных резисторов.

Терморезисторы изготавливают из полупроводниковых материалов на основе окислов металлов. Наиболее распространены медно-марганцевые терморезисторы (ММТ), кобальто-марганцевые терморезисторы (КМТ). Нагрев может быть прямым, проходящим через резистор током, и косвенным, от другого теплового источника. Параметры

терморезисторов те же, что и у постоянных линейных резисторов. Тепловые свойства терморезисторов характеризуются постоянной времени, то есть промежутком времени, в течение которого температура терморезистора, перенесенного из спокойного воздуха при нуле градусов Цельсия в спокойный воздух при температуре  $100^{\circ}\text{C}$ , достигает температуры плюс  $63^{\circ}\text{C}$ . Эта величина характеризует тепловую инерцию терморезистора. Обычно постоянная времени лежит в пределах 30 - 130 секунд. Конструктивно терморезисторы выполняются в виде стержней, дисков, таблеток и др.

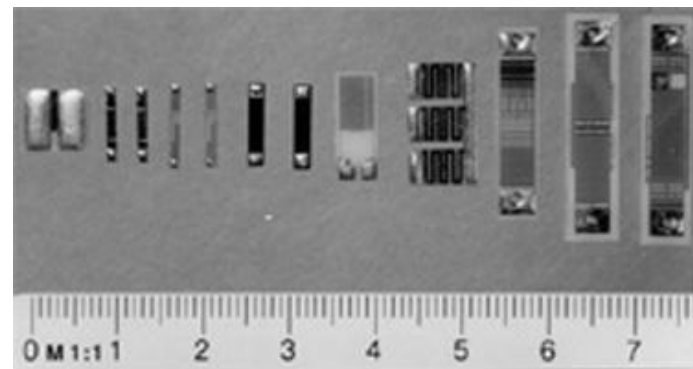


Рис.2 - Тонкопленочные терморезисторы

Терморезисторы используются в схемах термокомпенсации и стабилизации напряжения, измерения и регулирования температуры, ограничения импульсных пусковых токов, в качестве бесконтактных реостатов, токовых реле времени и т.п.

#### ***Терморезистор с отрицательным температурным коэффициентом***

Специальный резистор, разработанный для больших изменений сопротивления в зависимости от температурных флуктуаций, известен как термистор. Термисторы обычно имеют отрицательный температурный коэффициент (NTC). Это означает, что, когда температура

терморезистора возрастает, сопротивление его падает, и наоборот. Даже при незначительном изменении температуры происходит значительное изменение сопротивления (рисунок 3).

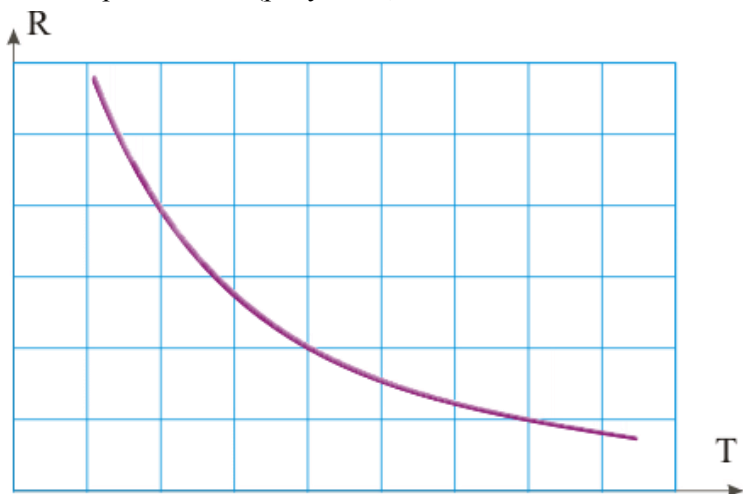


Рис.3 - Общий вид статической характеристики термистора

Области применения: измерение и регулирование температуры (в частности, в качестве высокостабильных датчиков температуры), температурная компенсация элементов электрических цепей в диапазоне  $-60\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также ограничение пусковых токов систем (например, в источниках питания) на рабочий ток  $0,2 \dots 15\text{A}$ .



Рис.4 - Термисторы

### ***Терморезистор с положительным температурным коэффициентом***

Имеются также терморезисторы с положительным температурным коэффициентом (РТС), более известные как позисторы. Эти устройства увеличивают свое сопротивление при возрастании температуры. При этом их сопротивление изменяется более резко и круто, чем у терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом.

Хорошим примером терморезистора с положительным температурным коэффициентом является нить лампы накаливания. Когда лампа накаливания выключена, нить накала имеет очень низкое значение сопротивления. Однако когда через лампу протекает ток, нить сильно накаляется и быстро нагревается до температуры белого каления. Это значительно увеличивает сопротивление нити. Например, стандартная лампа накаливания 100 Вт имеет в холодном состоянии сопротивление приблизительно 10 Ом. Когда же на лампу подается напряжение 120 В, нить нагревается с увеличением сопротивления до 144 Ом, то есть отмечается рост сопротивления в 14,4 раза. Характеристики лампы накаливания могут использоваться для целей регулирования в некоторых типах электрических и электронных схем.

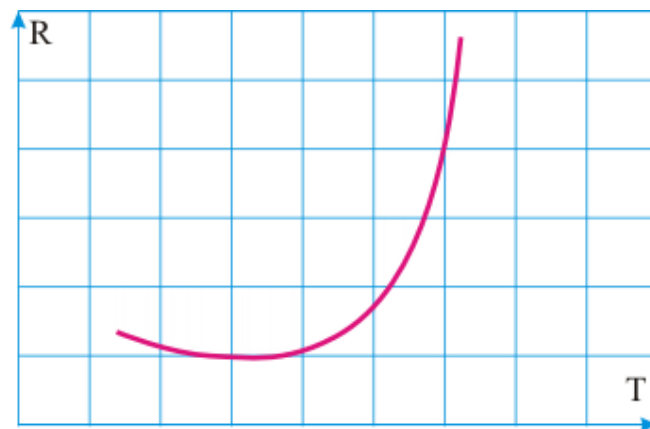
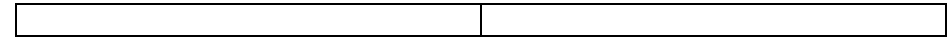


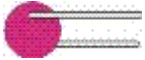




Рис.5 - Общий вид статической характеристики позистора

Следует отметить, что функциональные и эксплуатационные возможности терморезисторов, как датчиков внешних воздействий среды, во многом определяются свойствами материала, из которого изготавливаются их термочувствительные элементы (ТЧЭ). Так, поликристаллические металлооксидные полупроводниковые материалы не могут обеспечить работу приборов при температурах выше 300°C, подвержены процессам старения и, следовательно, не отличаются долговременной стабильностью рабочих параметров.

Распространенные монокристаллические полупроводниковые материалы из-за сравнительно малой ширины запрещенной зоны (2,5 эВ) также имеют существенные ограничения рабочих температур (250...300°C) и требуют защиты поверхности от многих воздействий внешней среды, что связано, как правило, с потерей термочувствительности и увеличением тепловой инерционности.



	ММТ-13
	ММТ-8
	СТ1-17
	КМТ-1, СТ3-1
	Т8, Т9

## Оборудование и приборы

Лабораторная установка содержит смонтированную на основании электропечь, плату с набором резисторов, лицевую панель, плату регулятора напряжения и электролампу накаливания.

Электропечь трубчатая, горизонтальная, с электронагревателем и защитным кожухом. В камере через окно введена плата с набором резисторов, с противоположной стороны в окно введен термометр через отверстие опорной стойки, что обеспечивает ему горизонтальное положение.

Одни выводы резисторов, закрепленных на плате, соединены между собой и подключены к одной из клемм для измерения  $R_x$  (рисунок 6). вторые выводы резисторов подключены к гнездам 1 – 4 разъемов групп А и Б

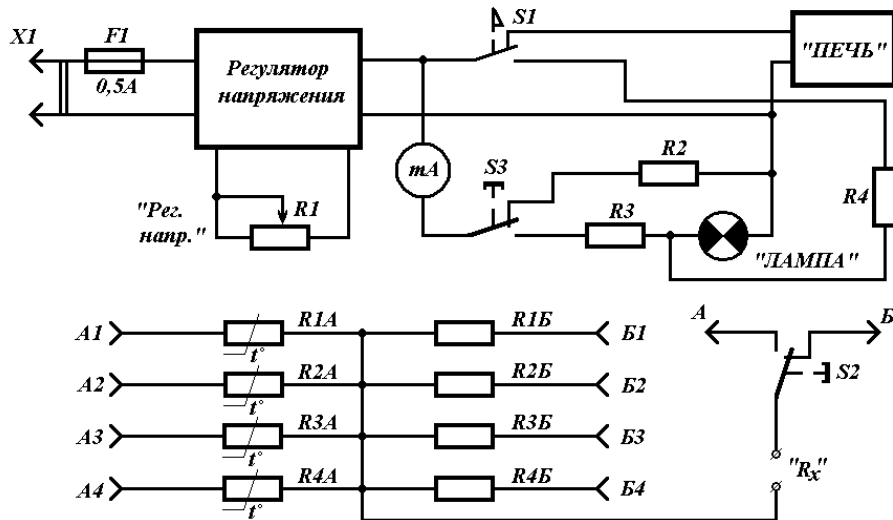


Рис.6 - Электросхема лабораторной установки для исследования температурной характеристики резисторов

## Группа А, терморезисторы:

$R1A - MMT-4-1,5k\Omega;$   $TKC = -(2,4-5)\% / ^\circ C$

$R2A - M10KM-10k\Omega;$   $TKC = -(2,5-8)\% / ^\circ C$

$R3A - KMT-12;$   $TKC = -(4,2-8,4)\% / ^\circ C$

$R4A - \text{Позистор CT 15-2};$   $TKC = -(10-20)\% / ^\circ C$

## Группа Б, терморезисторы:

$R1B - C2-23-7,5k\Omega;$   $TKC = -(3-10) \cdot 10^{-2} \% / ^\circ C$

$R2B - BC-150k\Omega;$   $TKC = -(7-12) \cdot 10^{-2} \% / ^\circ C$

$R3B - C1-4-51k\Omega;$   $TKC = -(7-12) \cdot 10^{-2} \% / ^\circ C$

$R4B - C2-29B-876 \pm 1\% \Omega;$   $TKC = -(3-10) \cdot 10^{-2} \% / ^\circ C$

Штырь вывода А через размыкающий контакт кнопки S2, а штырь вывода Б через замыкающий контакт кнопки S2 соединены со второй клеммой для измерения  $R_x$

На лицевой панели установлены: переключатель S1, обеспечивающий подачу напряжения либо на печь, либо на лампу; предохранитель FI (0,5А); переменный резистор регулятора напряжения; измерительный прибор (mA), позволяющий измерять напряжение 0–250В (при отжатой кнопке S3); клеммы "Rx" для подключения омметра; выводы А и Б со штырями; гнезда 1 – 4 группы А и 1 – 4 группы Б; кнопка S2, позволяющая измерять сопротивления резисторов группы А (в отжатом положении) и группы Б (в нажатом положении).

Плата регулятора напряжения закреплена на основании и закрыта крышкой.

### Порядок выполнения исследований

1. Проверить плату с набором резисторов. Для этого извлечь плату из окна печи (справа), убедиться в целостности монтажа визуальным осмотром. Установить плату с набором резисторов в окно печи в горизонтальном положении (резисторами вверх).
2. Установить термометр в окно печи (слева) через отверстие стойки и повернуть его в положение, удобное для наблюдения за температурой в пределах  $30 - 80 \text{ }^\circ\text{C}$ .
3. Проверить работу регулятора напряжения. Для этого переключатель *SI* установить в положение "*лампа*", ручку регулятора "*Рег. напр.*" повернуть против часовой стрелки до упора (исходное положение). Далее, вставить вилку *XI* в розетку сети 220В, плавно поворачивая ручку "*Рег. напр.*" по часовой стрелке по прибору и яркости свечения лампы убедиться, что напряжение регулируется от минимального значения до 220 – 250В. Ручку "*Рег. напр.*" повернуть в исходное положение.
4. Подготовить омметр для измерения сопротивления исследуемых резисторов, подключив его к клеммам "*R<sub>x</sub>*".
5. Установить штыри выводов *A* и *B* в гнезда разъемов группы *A* и *B* в соответствии с заданием преподавателя (например: *A3* , *B2* для измерения сопротивлений резисторов *R3A* и *R2B*).
6. Измерить сопротивление заданных резисторов при комнатной температуре (группы *A* при отжатой кнопке *S2* группы *B* при нажатой кнопке *S2*), результат занести в таблицу 1.
7. Установить переключатель *SI* в положение "*печь*". При помощи регулятора напряжения устанавливать температуру печи от комнатной до  $80^\circ\text{C}$ .

#### **ПРИМЕЧАНИЕ Температуру в печи выше $80^\circ\text{C}$ не поднимать!**

8. Измерения сопротивления резисторов и значения температуры производить одновременно. Для получения зависимости  $R_x = f(T \text{ }^\circ\text{C})$  достаточно 5 – 6 точек.

9. После окончания исследования зависимости  $R_x = f(T \text{ }^\circ\text{C})$  ручку "*Рег. напр.*" установить в исходное положение. Переключатель *SI* установить в положение "*лампа*".

10. Измеряя напряжение на лампе (при отжатой кнопке *S3*) и ток лампы (при нажатой кнопке *S3*) снимите зависимость  $I_l = f(U_l)$ , занеся в таблицу 2 данные измерений для 4 – 5 точек.

11. После окончания исследований ручку "*Рег. напр.*" установить в исходное положение и вынуть из розетки сети 220В вилку *XI*.

12. После охлаждения лампы до комнатной температуры вывернуть лампу из патрона и измерить ее сопротивление  $R_0$  при комнатной температуре, записав данные в таблицу 2.

### Обработка результатов

1. Результаты измерений

Таблица 1.

Тип терморезистора:						
<i>T, °C</i>						
<i>R, Ом</i>						
Расчетное значение <i>TKC, % / °C</i> =						
Табличное значение <i>TKC, % / °C</i> =						
Тип резистора:						
<i>T, °C</i>						
<i>R, Ом</i>						
Расчетное значение <i>TKC, % / °C</i> =						
Табличное значение <i>TKC, % / °C</i> =						

Таблица 2.

<i>U<sub>л</sub>, В</i>						
<i>I<sub>л</sub>, mA</i>						
<i>R<sub>л</sub>, Ом</i>						

2. Для двух значений температур  $T_1$  и  $T_2$  (по указанию преподавателя) рассчитать  $TKC$  для терморезисторов (группы А) по формуле

$$TKC = \frac{T_1}{(T_2 - T_1) \cdot T_2} \cdot \ln \frac{R_{T_2}}{R_{T_1}} \cdot 100, \% / ^\circ C,$$

для резисторов (группы Б) по формуле

$$TKC = \frac{R_{T_2} - R_{T_1}}{(T_2 - T_1) \cdot R_{T_1}} \cdot 100, \% / ^\circ C,$$

где  $T_1$  и  $T_2$  начальная и конечная температуры резисторов,  $R_{T_1}$  и  $R_{T_2}$  сопротивление при температуре  $T_1$  и  $T_2$  соответственно

$$R_L = \frac{U_L}{I_L}.$$

Результаты занести в таблицу 2.

3. Построить графики  $R_x = f(T \text{ } ^\circ C)$  и  $R_L = f(U_L)$  и объяснить их характер.
4. Дать краткую характеристику материалов резисторов.

### **Контрольные вопросы**

1. Почему и как зависит удельное электрическое сопротивление металлических резисторов от температуры?
2. Какие материалы и сплавы используются для изготовления терморезисторов?
3. Почему и как зависит удельное электрическое сопротивление терморезисторов от температуры?
4. Что такое температурный коэффициент сопротивления? Единицы его измерения?
5. Какие материалы и сплавы используют для изготовления образцовых резисторов?

6. Какие материалы и сплавы используют для изготовления нагревательных приборов?
7. Где используются терморезисторы?
8. Как возникают в полупроводниках свободные носители зарядов с точки зрения зонной теории твердого тела?
9. Что такое собственная электропроводность полупроводника?
10. Что такое примесная электропроводность полупроводника?
11. Какие примеси называют донорными?
12. Какие примеси называют акцепторными?
13. Как влияет температура на количество свободных носителей заряда в полупроводниках?
14. Почему для полупроводников обычно не указывают конкретное значение удельной электрической проводимости или удельного электрического сопротивления?
15. Как изменяется ток электролампы с момента ее подключения к электросети до полного нагревания ее нити накала?
16. Во сколько раз отличается ток электролампы в момент ее подключения к электросети относительно его номинального значения?

### **Список литература**

1. Резисторы: Справочник/ Четвертков И.И., Терехов В.М., Дубровский В.В. и др .М.: Радио и Связь, 1991. С. 528 .
2. Шефтель И.Т. Терморезисторы. Электропроводность 3d-окислов, параметры, характеристики и области применения. Серия Физика полупроводников и полупроводниковых приборов. М.: Наука, 1973. С. 415.
3. Сорокин В. С., Антипов Б. Л., Лазарева Н. П.. Материалы и элементы электронной техники: В 2 т. Т.1. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники.М.: ИЦ Академия, 2006. С.384.
4. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Резисторы, конденсаторы, провода, припой, флюсы: Справочное пособие. М.: Солон-пресс, 2000. С. 496.



Дудорова Татьяна Александровна  
Семкина Ирина Анатольевна

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы  
«Исследование  
температурной характеристики  
резисторов»  
по курсу «Электротехнические материалы»  
для студентов специальности  
140211

Редактор Т.В.Тимофеева

---

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 1,0	Уч.-изд. л. 1,0
Заказ	Тираж 100	Цена свободная

---

Редакционно-издательский центр КГУ.  
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.  
Курганский государственный университет.