

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

*Методические указания  
к лабораторной работе*

САМАРА 2006

Составитель *К.Е. Воронов*

УДК 615.47

**Исследование датчиков температуры:** метод. указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *К.Е. Воронов*. – Самара, 2006. 18 с.

Изложены основные теоретические сведения об областях применения датчиков температуры в биомедицинской технике, рассмотрены метрологические характеристики и конструкции терморезисторов, термисторов, термопарных датчиков температуры, схемы формирования сигнала. Приведены описание лабораторного макета и порядок выполнения работы.

Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 200401(190500) по курсу «Измерительные преобразователи и электроды». Подготовлены на кафедре радиотехники и МДС.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета.

Рецензент доцент В. А. Глазунов

\* \* \*

Цель работы: исследование, сравнение линейности, чувствительности датчиков температуры, исследование влияния схем формирования на основные характеристики датчиков температуры.

## **КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

### **Общие положения**

Из всех физических величин, несомненно, наиболее часто измеряемой является температура. Действительно, температура представляет собой очень важную характеристику состояния вещества, которая отражает как непрерывные изменения состояния вещества, так и скачкообразные. Поэтому в науке, медицине и промышленности необходимы тщательный контроль и точные измерения температур.

Благодаря многообразию свойств веществ и физических явлений, зависящих от температуры, было создано большое количество методов измерений: оптические методы, основанные на изменении спектрального распределения испускаемого излучения или уширения спектральных линий вследствие эффекта Доплера, обусловленного тепловым движением молекул; механические методы, основанные на расширении твердого тела, жидкости или газа при постоянном давлении, на изменении давления насыщенного пара или скорости звука; электрические методы, основанные на зависимости от температуры сопротивления или его собственного шума, на эффекте Зеебека или на зависимости частоты колебаний кварцевого кристалла от температуры.

При использовании оптических и акустических методов наблюдения за состоянием среды, где измеряется температура, не вносят в нее никаких возмущений, но область их применения ограничена, и осуществление измерений этими методами связано с определенными трудностями. Электрические методы имеют широкую область применения и сравнительно просто реализуются, но взаимное влияние датчика и исследуемой среды при выполнении точных измерений часто ставит трудную задачу по определению отличия измеряемой

температуры от фактически измеренной, которая является температурой датчика.

Для обеспечения одинаковости измерения введены абсолютные шкалы температур, основанные на законах термодинамики. Они называются термодинамическими или абсолютными шкалами температур. Наиболее часто они определяются на основании свойств идеального газа.

Идеальный газ (теоретическое понятие) определяется следующими свойствами: его внутренняя энергия  $U$  зависит только от температуры; уравнение состояния, связывающее его давление  $p$ , объем  $v$  и температуру  $T$ , имеет вид:

$$pv = G(T).$$

Можно показать, что при определении температуры по термодинамической шкале

$$G(T) = RT,$$

где  $R$  – константа, называемая универсальной газовой постоянной, значение которой для заданной массы газа – одной грамм-молекулы – зависит только от выбранной единицы измерения абсолютной температуры. Чтобы определить числовое значение температуры  $T$ , необходимо выбрать для нее единицу измерения. Для этого достаточно произвольно установить значение температуры, соответствующей четко определенному и воспроизводимому явлению.

*Шкала Кельвина.* Единица измерения Кельвин (К) определяется из того условия, что температура воды в тройной точке (температура равновесия воды, льда и пара) равна 273,16 К.

*Шкала Рэнкина.* Единица измерения – градус Рэнкина ( $^{\circ}\text{R}$ ) – равен  $\frac{5}{9}$  Кельвина; при таком определении температура в тройной точке воды равна  $491,69^{\circ}\text{R}$ .

Посредством простого смещения нуля термодинамической шкалы можно получить новые шкалы температур, не являющиеся абсолютными, но с такой же единицей измерения, как у исходной абсолютной шкалы.

*Шкала Цельсия.* Она получается из абсолютной шкалы Кельвина, если за нуль принять температуру замерзания воды; единица измерения этой шкалы – градус Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ) – равна одному Кельвину:

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,16.$$



Таблица 1 – Шкалы и некоторые важные значения температур

Шкалы температур					
Температуры	Кельвина, К	Цельсия		Рэнкина, °R	Фаренгейта, F
		°C (до 1990 г.)	t <sub>90</sub> /°C (после 1990 г.)		
1	0	-273,15	-273,15	0	-459,67
2	273,15	0	0	491,67	32
3	273,16	0,01	0,01	491,67	32,018
4	373,15	100	99,974	671,67	212

1 – абсолютный нуль; 2 – температура равновесия смеси воды и льда при нормальном атмосферном давлении, равном 101325 Па; 3 – тройная точка воды; 4 – температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении.

*Шкала Фаренгейта.* Эта шкала получается смещением нуля абсолютной шкалы Рэнкина; единица измерения – градус Фаренгейта (°F) – равна одному градусу Рэнкина:

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{R}) - 459,67.$$

Формулы перехода от одной шкалы к другой имеют следующий вид:

$$T(^{\circ}\text{C}) = [T(^{\circ}\text{F}) - 32](5/9),$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = (9/5) T(^{\circ}\text{C}) + 32.$$

В качестве примера в табл. 1 приведены соответствующие значения нескольких важных температур для различных шкал.

Для осуществления на практике точных измерений температуры были выбраны три физические величины: сопротивление, электродвижущая сила (э.д.с.) термопары и излучение черного тела, являющиеся функциями температуры, численные значения которых определяются точными значениями в реперных точках. В интервале между реперными точками температура вычисляется интерполяцией. В интервале температур от  $-259,34$  (тройная точка водорода) до  $630,74$  °C (точка затвердевания сурьмы) используется температурная зависимость сопротивления проволоки, изготовленной из очень чистой платины. В интервале температур от 0 до  $630,74$  °C температура  $T$  (°C) может быть выражена через измеренное сопротивление  $R(T)$  формулой

$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2),$$

где  $R_0$  – сопротивление при температуре  $0^\circ\text{C}$ , а значения  $A$  и  $B$  вычисляются по результатам измерения  $R$  при температурах кипения воды ( $100^\circ\text{C}$ ) и серы ( $444,6^\circ\text{C}$ ).

В диапазоне температур от  $-259,39$  до  $0^\circ\text{C}$  температура  $T(^\circ\text{C})$  определяется по измеренному сопротивлению  $R(T)$  из формулы:

$$R(T) = R_0[1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3],$$

где  $R_0$ ,  $A$ ,  $B$  – величины, определенные в предыдущем интервале, а  $C$  определяется по измеренному сопротивлению в точке кипения кислорода.

В интервале температур от  $630,74$  до  $1064,3^\circ\text{C}$  (точка затвердевания золота) измеряется э.д.с.  $e$  термопары платино-родий (10% Rh) – платина, зависимость которой от температуры в градусах Цельсия выражается формулой

$$e(T) = a + bT + cT^2.$$

Константы  $a$ ,  $b$ ,  $c$  определяются по результатам измерения  $e$  при температурах затвердевания сурьмы ( $630,74^\circ\text{C}$ ), серебра ( $961,93^\circ\text{C}$ ) и золота ( $1064,43^\circ\text{C}$ ) в условиях, когда температура нулевого спая равна  $0^\circ\text{C}$ .

При температурах выше  $1064,43^\circ\text{C}$  ( $1337,58\text{ K}$ ) абсолютная температура тела  $T$  в практической шкале температур определяется по интенсивности излучения (энергетической светимости)  $L(T)$  черного тела на длине волны  $\lambda$ :

$$\frac{L(T)}{L(T_{\text{Au}})} = \frac{\exp(A/\lambda \cdot T_{\text{Au}}) - 1}{\exp(A/\lambda \cdot T) - 1},$$

где  $L(T_{\text{Au}})$  – интенсивность излучения на длине волны  $\lambda$  при температуре плавления золота,  $A = 0,014388\text{ K}\cdot\text{m}$  – константа. Интенсивность излучения измеряют с помощью монохроматического оптического пирометра.

Очевидно, что обе шкалы, термодинамическая и практическая, совпадают в реперных точках; тем не менее, в интервалах, где производится интерполяция, между этими шкалами существует расхождение, зависящее от температуры. Это расхождение не более  $0,04^\circ\text{C}$  в диапазоне от  $-190$  до  $120^\circ\text{C}$  и достигает  $0,5^\circ\text{C}$  при температурах около  $800^\circ\text{C}$ .

Для практического проведения измерений используется целый ряд первичных преобразователей.

## Терморезисторы

Терморезисторы, в зависимости от используемого материала, делятся на проводниковые и полупроводниковые.

Для изготовления чувствительных элементов проводниковых терморезисторов используются металлы, обладающие стабильным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), воспроизводимыми свойствами и инертностью к воздействиям окружающей среды. Перечисленным требованиям в наибольшей степени отвечает платина, которая используется в самых точных и стабильных ТР. Широко применяются более дешевые медные терморезисторы. Используется для изготовления ЧЭ и никель.

Медные терморезисторы работают в диапазоне от  $-200$  до  $+200$  °С. Уравнения преобразования и допустимые отклонения от них для различных групп терморезисторов строго регламентируются стандартом,

В диапазоне от  $-50$  до  $+200$  °С уравнение преобразования одной из наиболее распространенных групп медных ТР имеет вид линейной функции:

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + A \cdot T),$$

где  $R_0$  – сопротивление при  $0$  °С,  $T$  – температура в °С,  $A$  – температурный коэффициент сопротивления ( $A = 1,426 - 10^{-3} 1/\text{К}$ ).

ТКС определяет относительную чувствительность

$$S(T) = -\frac{1}{R_0} \cdot \frac{dR(T)}{dT} = A.$$

Платиновые терморезисторы применяются для измерения температур в диапазоне от  $-260$  до  $+1100$  °С. Наибольшую точность они обеспечивают в более узком диапазоне температур. Вид интерполяционного уравнения преобразования зависит от диапазона температуры и типа ТР. Для наиболее распространенных разновидностей ТР уравнение преобразования в диапазоне от  $0$  до  $630,74$  °С описывается выражением

$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2),$$

а в диапазоне от  $-259,39$  до  $0$  °С –

$$R(T) = R_0[1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3],$$

где  $A = 3,96847 \cdot 10^{-3} (1/K)$ ,  
 $B = -5,847 \cdot 10^{-7} (1/K)^2$ ,  
 $C = -4,3558 \cdot 10^{-12} (1/K)^4$ .

Согласно требованиям стандарта отклонения от уравнения преобразования у платиновых ТР этой группы в диапазоне от 0 до 630,74 °С не должны превышать 0,15%, а при  $T = 100$  °С – 0,05%.

Уравнение преобразования платинового терморезистора нелинейно. Абсолютную погрешность нелинейности в диапазоне температур от 0 до 630,74 °С можно определить по формуле

$$\Delta R_H = R_0 \cdot B \cdot T^2,$$

в диапазоне от –259,39 до 0 °С –

$$\Delta R_H = R_0 \cdot [B \cdot T^2 + C \cdot (T - 100) \cdot T^3].$$

Относительная погрешность нелинейности  $\delta_H$  ( $\delta_H = \Delta R_H / R_0$ ) в диапазоне от 0 до 630,74 °С невелика и составляет несколько процентов. Поэтому на графике уравнения преобразования его нелинейность практически не видна.

Выражение для чувствительности платинового терморезистора в диапазоне от 0 до 630,74 °С имеет вид:

$$S(T) = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{dR(T)}{dT} = A + 2 \cdot B \cdot T,$$

в диапазоне от –259,39 до 0 °С –

$$S(T) = A + 2 \cdot B + 4 \cdot C \cdot T^2 \cdot (T - 75).$$

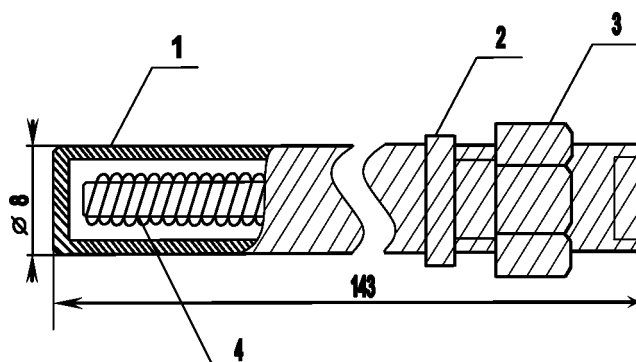


Рис. 1. Конструкция терморезистора

На рис.1 изображена одна из возможных конструкций проводникового терморезистора. Ее основу составляет защитный корпус 1 с резьбовым штуцером 2 и головкой 3, на которой имеется разъем для

соединения с линией связи. Благодаря защитному корпусу терморезистор можно использовать для измерения температуры в жидких средах.

Чувствительный элемент (ЧЭ) представляет собой проволочную спираль 4, укрепленную на слюдяном прямоугольном каркасе и изолированную от корпуса слюдяными пластинками. Они прижимаются к спирали специальными элементами, выполненными из металла с высокой теплопроводностью и обеспечивающими тепловой контакт чувствительного элемента и корпуса.

Большинство полупроводниковых ТР, изготавливаемых промышленностью, используется для измерения температур от  $-60$  до  $+300$  °С. Уравнение преобразования полупроводниковых ТР является существенно нелинейным и описывается выражением:

$$R(T) = R_0 \cdot \exp \left[ B \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right],$$

где  $R(T)$ ,  $R_0$  – сопротивления при температурах  $T$  и  $T_0$  в градусах Кельвина (обычно  $T_0 = 293,15$  К),  $B$  – коэффициент, имеющий размерность температуры.

Типовая схема формирования сигнала с платинового терморезистора приведена на рис. 2.

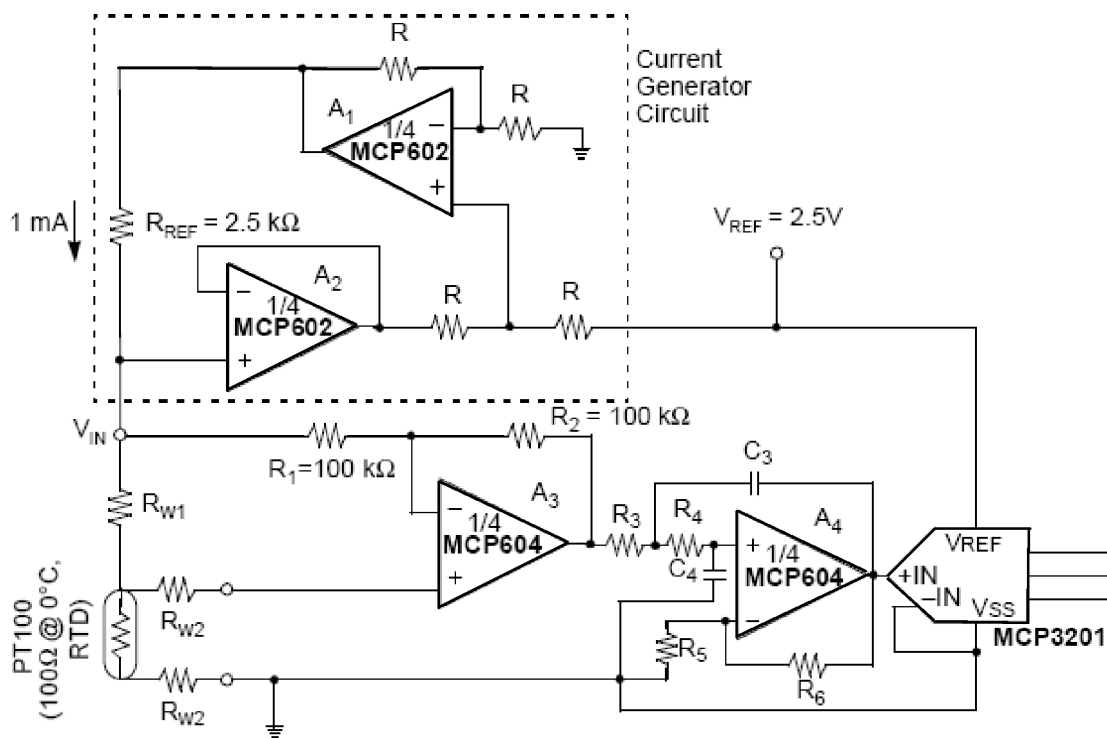


Рис. 2. Типовая схема измерения с терморезистора

## Полупроводниковые терморезисторы – термисторы

В отличие от проводниковых ТР полупроводниковые имеют большой разброс характеристик, что затрудняет стандартизацию уравнений преобразования. Это серьезный недостаток полупроводниковых ТР. К их достоинствам относятся низкая стоимость, малые габариты и высокая чувствительность, которая на порядок выше чувствительности проводниковых ТР:

$$S(T) = \frac{1}{R(T)} \cdot \frac{dR(T)}{dT} = -\frac{B}{T^2}.$$

Чувствительность полупроводниковых ТР отрицательна и составляет  $(20-80) \cdot 10^{-3} 1/K$ . Полупроводниковые ТР имеют существенную нестабильность уравнения преобразования. В худшем случае она достигает единиц процентов за год (у платиновых терморезисторов нестабильность составляет десятые доли процентов за десять лет).

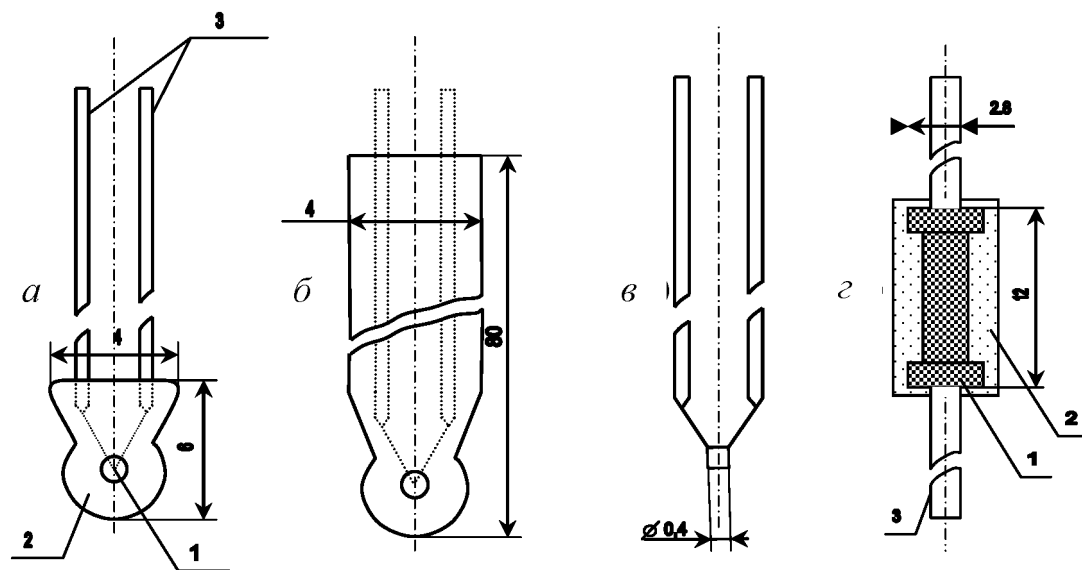


Рис. 3. Конструкции миниатюрного полупроводникового ТР

На рис. 3 изображены примеры конструкций миниатюрных полупроводниковых ТР. В конструкции *a* чувствительный элемент 1 ("бусинка") снабжен выводами 3 из проволоки низкой теплопроводности и покрыт защитным слоем стекла 2. Конструкция *б* имеет аналогичный чувствительный элемент (ЧЭ) и защитный слой в зоне "бусинки", но отличается тем, что и выводы ТР имеют защитный слой.

В простейшей конструкции в ни ЧЭ, ни выводы не имеют защитного покрытия. Диаметр "бусинки" составляет десятые доли миллиметра. Терморезистор  $z$  внешне напоминает обычный резистор, применяемый в электронных схемах. Защита 2 чувствительного элемента 1 и выводов 3 позволяет использовать ТР в жидких средах.

Типовая схема формирования сигнала с использованием полупроводникового терморезистора приведена на рис. 4.

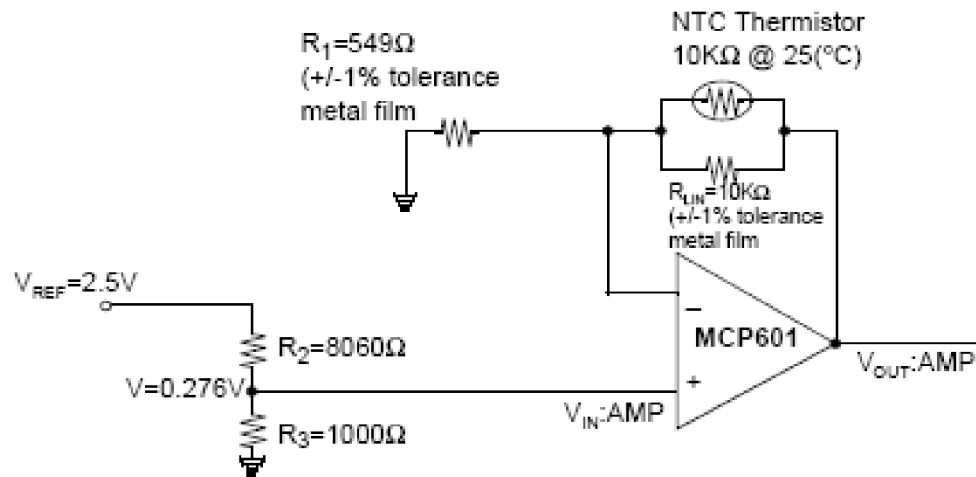


Рис. 4. Типовая схема измерения с использованием термистора

### Измерение температуры термопарой

Термопара, образованная двумя проводниками  $A$  и  $B$ , два спая которых находятся при температурах  $T_1$  и  $T_2$ , создает э.д.с.  $E_{A/B}^{T_2 T_1}$ , зависящую, с одной стороны, от материала проводников  $A$  и  $B$  и, с другой стороны, от температур  $T_1$  и  $T_2$ . Обычно температура одного спая постоянна и известна; она служит опорной (нулевой) точкой  $T_1 - T_r$ . Температура другого спая  $T_2$  является температурой  $T_c$ , которую приобретает этот спай в исследуемой среде с температурой  $T_x$ . Температура  $T_c$  зависит от  $T_x$  и тепловых потоков, которые могут устанавливаться между спаем и другими объектами или средами. Поскольку измерительная информация поступает от спая, размеры которого могут быть очень малыми, это обеспечивает высокое быстродействие и позволяет проводить точечные измерения температуры. Указанные две особенности определяют преимущество применения термопар по сравнению с термометрами сопротивления. Другое достоинство термопары заключается в вырабатываемом сигнале – э.д.с., для из-

мерения которого не требуется пропускать ток через датчик, поэтому не возникает, как в случае термометров сопротивления, никакой погрешности, связанной с саморазогревом, что существенно для измерений в системах с малой тепловой инерцией или при низких температурах.

Недостаток термопары заключается в том, что для измерения необходимо знать температуру опорного спая. Любая погрешность  $T_r$  дает погрешность такого же порядка в  $T_c$ .

Э.д.с. термопары в широком диапазоне температур является нелинейной функцией  $T_c$ . Нелинейность зависимости э.д.с. термопары от температуры выражается полиномом. Для термопары каждого типа существует стандарт, в котором приводятся таблица значений э.д.с.  $E$  в зависимости от температуры  $T$  и полином, описывающий алгебраическую зависимость  $E$  от  $T$ , которая соответствует таблице. Например, для термопары платинородий (30% Rh) – платинородий (6% Rh) согласно французскому стандарту NFC 42-321 в диапазоне температур от 0 до 1820 °C

$$E = \sum_{i=0}^{i=8} a_i T_i,$$

где  $E$  выражается в мкВ,  $T$  – в °C,

$$\begin{aligned} a_0 &= 0, & a_1 &= -2,4674601620 \cdot 10^{-1}, & a_2 &= 5,9102111169 \cdot 10^{-3}, \\ a_3 &= -1,4307123430 \cdot 10^{-6}, & a_4 &= 2,1509149750 \cdot 10^{-9}, \\ a_5 &= -3,1757800720 \cdot 10^{-12}, & a_6 &= 2,4010367459 \cdot 10^{-15}, \\ a_7 &= -9,0928148159 \cdot 10^{-19}, & a_8 &= 1,3299505137 \cdot 10^{-22}. \end{aligned}$$

Термопары в зависимости от их типа применимы от очень низких температур (от  $-270^\circ\text{C}$  для термопары медь – сплав серебра с кобальтом) до очень высоких температур ( $2700^\circ\text{C}$  для термопары вольфрам – рений (5% Re) – вольфрам – рений (26% Re)). В последнем случае они позволяют измерять значительно более высокие температуры, чем термометры сопротивления (приблизительно на  $1400^\circ\text{C}$ ).

Чувствительность термопары к температуре, или термоэлектрическая способность  $s$  при температуре  $T_c$ , определяется соотношением

$$s(T_c) = dE_{A/B} T_c^{0^\circ\text{C}} / dT_c.$$



Она зависит от температуры и выражается в мкВ/°С. Например, для термопары железо – константан  $s(0^\circ\text{C}) = 52,9 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$ ,  $s(700^\circ\text{C}) = 63,8 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$ , а для термопары платино-родий (10% Rh) – платина  $s(0^\circ\text{C}) = 6,4 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$ ,  $s(1400^\circ\text{C}) = 11,93 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$ . Таким образом, чувствительность термопар значительно ниже чувствительности измерительных установок с термометрами сопротивления.

Спай термопары должен иметь достаточно малый объем, чтобы не создавать неравномерности температуры в различных его точках, которая может привести к возникновению паразитной э.д.с. вследствие химической неоднородности металла в спае. Обычно используется один из трех методов изготовления спая: а) пайка оловом, если рабочая температура не очень высокая (термопары типа Т); б) автогенная сварка при помощи кислородно-ацетиленовой горелки (используется чаще всего); в) электросварка.

Проволоки могут быть скручены на небольшой длине около спая для увеличения механической прочности за счет уменьшения определенности местоположения спая и быстрого действия.

Чтобы избежать какого-либо контакта за пределами измерительных спаев, проволоки пропускаются через керамические изоляторы. Изолятор должен быть химически инертным и иметь большое электрическое изолирующее сопротивление при высокой температуре. Вследствие хрупкости изоляторов обычно требуется дополнительная защита, которая обеспечивается герметичной оболочкой или трубкой, не чувствительной к тепловым ударам (она обычно изготавливается из керамики или стали). В последнем случае спай термопары может быть изолирован или соединен с корпусом, что уменьшает время запаздывания, но может привести к нежелательным электрическим наводкам (рис.5).

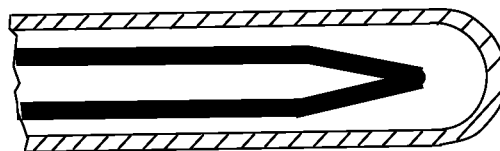


Рис.5. Конструкция термопары

Типовая схема подключения термопары с компенсацией начальной температуры и схемой, обеспечивающей подавление синфазной помехи, приведена на рис. 6.

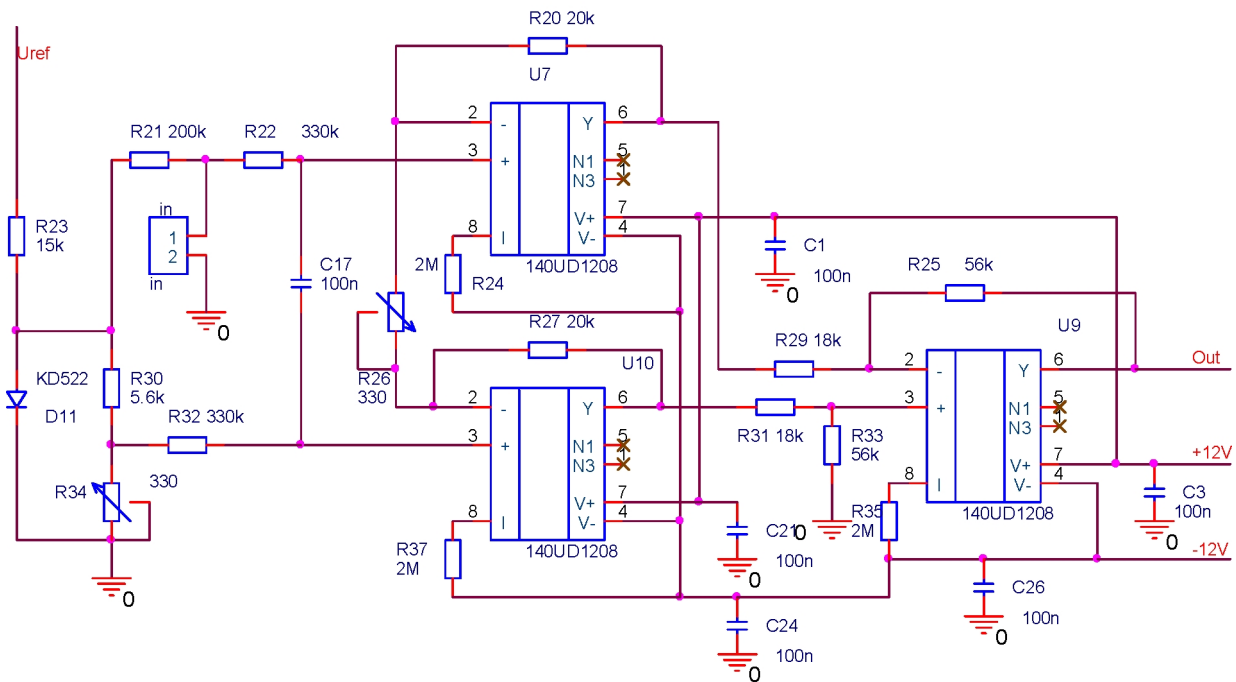


Рис. 6. Схема подключения термопарного датчика

## Измерение температуры с помощью диодов и транзисторов

Используемые элементы – диоды или кремниевые транзисторы, включенные по схеме диода (коллектор замкнут на базу) – питаются постоянным током  $I$  в прямом направлении; напряжение  $U$  на выводах, зависящее от температуры, является выходной электрической величиной датчика температуры, который образуют указанные элементы.

Ток  $I$ , протекающий через диод или транзистор, включенный по схеме диода, связан с напряжением  $U$  классическим соотношением

$$I = I_0[\exp(qU/kT) - 1],$$

где  $T$  выражается в кельвинах.

Чувствительность к температуре  $S$  диода или транзистора, включенного по схеме диода, определяется как

$$S = dU/dT.$$

Ее величина имеет порядок  $S \approx 2,5$  мВ/°С, но она не является совершенно не зависимой от температуры. Кроме того, чувствительность, как и напряжение  $U$ , зависит от обратного тока  $I_0$ , который может быть существенно разным у различных элементов. Поэтому взаимозаменяемость можно обеспечить только посредством отбора элементов, имеющих одинаковые определяющие параметры (одинаковые значения  $U$  при одинаковом токе и одинаковые значения  $I_0$ ).

Для транзисторов серии MTS по паспорту (фирма «Motorola») зависимость средней величины температурного коэффициента от напряжения  $U$  (в мВ) в интервале от  $-40$  до  $150$  °С при температуре  $25$  °С имеет вид

$$dU/dT = -2,25 + 0,0033(U - 600), \text{ мВ/}^\circ\text{С}.$$

Напряжение  $U(T)$  можно представить формулой

$$U(T) = U(25^\circ\text{С}) + (dU/dT)(T - 25^\circ\text{С}),$$

где  $T$  выражается в °С. Эта формула позволяет определять температуру с погрешностью  $< \pm 2^\circ\text{С}$  для транзисторов серии MTS 102,  $< \pm 3^\circ\text{С}$  для транзисторов серии MTS 103 и  $< \pm 5^\circ\text{С}$  для транзисторов серии MTS 105.

Порядок чувствительности обычно больше чувствительности термопар, и для измерения не требуется знать температуру опорного спая, но тем не менее указанное значение ниже чувствительности термометров сопротивления с устройством формирования сигнала. Изменение электрических параметров при высоких и низких температурах определяет рабочий диапазон измеряемых температур, который охватывает температуры от  $-50$  до  $+150$  °С. В этом диапазоне датчики отличаются очень высокой стабильностью.

Нелинейность транзисторных датчиков температуры в диапазоне от  $-20$  до  $+150$  °С такого же порядка, как и у платинового термометра сопротивления, и значительно меньше, чем у термопары.

Пример измерительной схемы представлен на рис. 7.

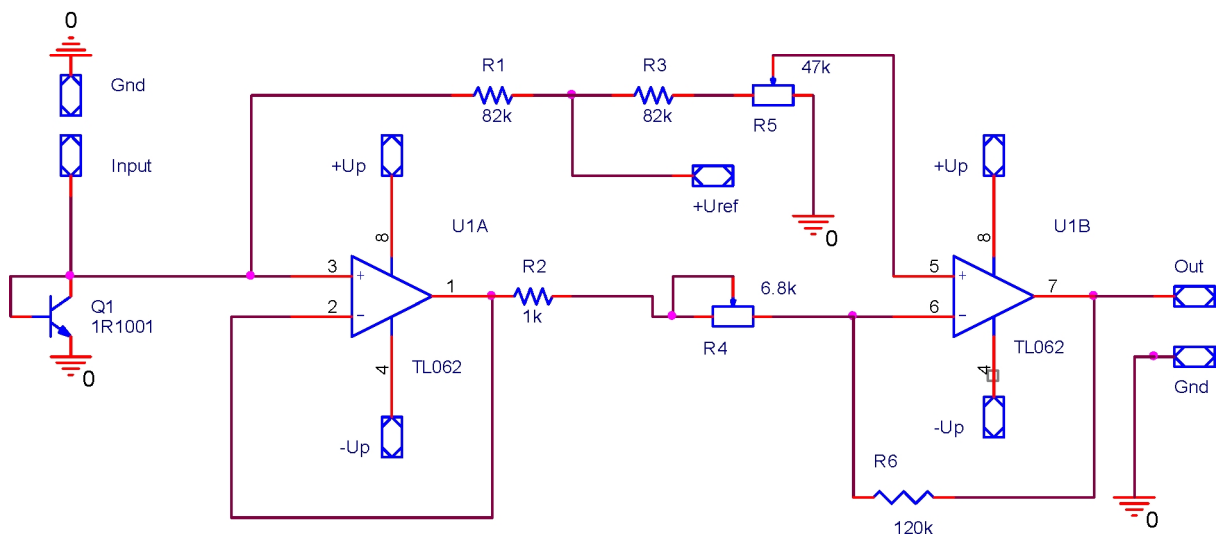


Рис. 7. Типовая схема включения преобразователя с использованием p-n перехода в качестве датчика температуры

## Порядок выполнения лабораторной работы

1. Исследование статических характеристик датчиков температуры:

- Собрать лабораторную установку в соответствии со схемой, приведенной на рис. 8.

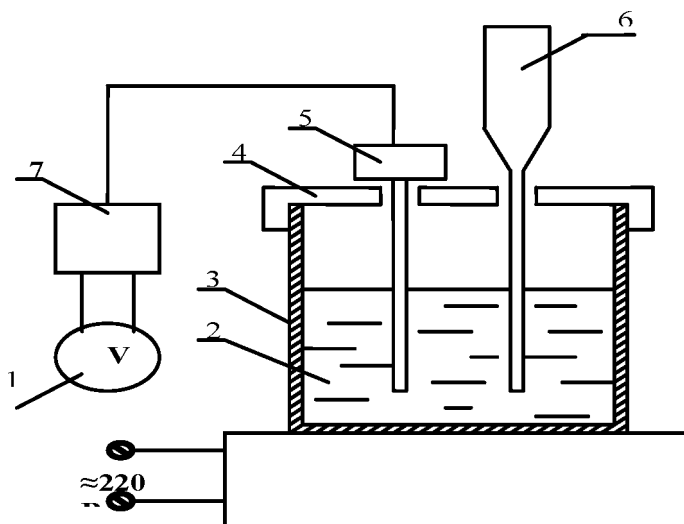


Рис. 8. 1 – вольтметр, 2 – вода, 3 – объем для жидкости, 4 – крышка, 5 – датчик температуры, 6 – термометр ртутный, 7 – преобразователь

- Осуществляя нагрев воды в емкости, произвести построение зависимости выходного напряжения от температуры в диапазоне от 30 до 100°C. Контроль температуры осуществить с помощью ртутного термометра. Результаты измерения занести в таблицу. По полученным графикам построить тарировочные характеристики. Рассчитать чувствительность.

- Произвести аппроксимацию полученных характеристик и определить погрешность аппроксимации.

2. Исследование динамических характеристик датчиков температуры:

- Рассчитать расчетную температуру, образованную в результате смешивания двух объемов –  $V_1 = 0,4$  л и  $V_2 = 0,4$  л с температурами  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 70^\circ\text{C}$ .

- Зафиксировать в объеме 1 с размещенными в нем датчиками начальную температуру  $t_1$ .

- Произвести скачкообразное изменение температуры за счет быстрого добавления в рассматриваемый объем  $V_1$  фиксированного объема воды  $V_2$  с температурой  $t_2$ .

- Измерить время установления расчетного значения результирующей температуры для каждого из рассматриваемых датчиков. Рассчитать теплоемкость датчиков  $K$  и постоянную времени датчиков  $\tau$ .

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать наименование и цель работы, схему лабораторного стенда, графики зависимостей, полученных в пп. 1, 2, результаты расчетов.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расскажите об основных методах измерения температуры. Шкалы, используемые для измерения температуры.
2. Что такое реперные точки? Как осуществляется на практике точное измерение температуры?
3. Терморезисторы, их основные характеристики.
4. Схема измерения температуры с использованием в качестве датчика температуры терморезисторов, особенности ее работы.
5. Термисторы, их основные характеристики.
6. Схема измерения температуры с использованием в качестве датчика температуры термисторов, особенности ее работы.
7. Термопары, их основные характеристики.
8. Схема измерения температуры с использованием в качестве датчика температуры термопары, особенности ее работы.
9. P-n переход полупроводниковых элементов как датчик температуры, его основные характеристики.
10. Схема измерения температуры с использованием в качестве датчика температуры p-n перехода полупроводникового транзистора, особенности ее работы.
11. Привести сравнительную характеристику датчиков температуры.
12. Что такое измеренная и измеряемая температура?
13. Причины возникновения погрешности измерения температуры.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Датчики измерительных систем: в 2 кн. / Ж. Аш [и др.]. Кн. 1. – М.: Мир, 1992. 480 с.
2. Измерение электрических и неэлектрических величин: учеб. пособие для вузов / Н.Н. Евтихеев [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 352 с.
3. Методы электрических измерений: учеб. пособие для вузов / Л.Г. Журавин [и др.]. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 288 С.
4. Мейзда, Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений / Ф. Мейзда. – М.: Мир, 1990. 535 с.

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ**

*Методические указания  
к лабораторной работе*

Составитель ***Воронов Константин Евгеньевич***

Редактор Н. С. К у п р и я н о в а

Компьютерная верстка Т. Е. П о л о в н е в а

Подписано в печать 23.03.06 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,00. Усл. кр.-отг. 1,1. Уч.-изд.л. 1,25.

Тираж 150 экз. Заказ . Арт. С – 58/2006

Самарский государственный  
аэрокосмический университет.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

РИО Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

*Методические указания  
к лабораторной работе*

САМАРА 2006



**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ**

**САМАРА 2006**