

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ им. академика С. П. КОРОЛЕВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОДНИКОВЫХ  
И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЙ**

*ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2*

КУЙБЫШЕВ 1978

УДК 621.317.7

Составитель доц. *О. П. Скобелев*

Утверждена редакционно-издательским советом института 6.X.77 г.

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОДНИКОВЫХ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы: изучение конструкций проводниковых и полупроводниковых термосопротивлений (ТС), исследование статических и динамических характеристик.

Промышленность выпускает две группы ТС — проводниковые и полупроводниковые. В автоматизированных системах управления технологическими процессами, научными исследованиями и производственными испытаниями ТС применяются, главным образом, для преобразования температуры.

Проводниковые ТС относятся к одним из наиболее точных преобразователей температуры. Градуировочные характеристики проводниковых ТС повторяются от экземпляра к экземпляру с малым разбросом. Эти качества обеспечивают нормализацию естественного выходного сигнала проводниковых ТС и государственный стандарт на градуировочные характеристики, что имеет важное значение для разработки и эксплуатации систем автоматизации. Полупроводниковые ТС выгодно отличаются от проволочных большей температурной чувствительностью и значительно меньшими габаритами. Недостатками, снижающими эксплуатационные качества полупроводниковых ТС, являются значительный разброс градуировочных характеристик и других параметров, а также их нестабильность во времени.

Можно ожидать, что совершенствование технологии производства полупроводниковых ТС позволит в дальнейшем существенно улучшить основные характеристики и параметры ТС.

## СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТС

Основной характеристикой ТС является уравнение преобразования (градуировочная характеристика), представляющее связь сопротивления  $R_\theta$  и температуры  $\Theta$ .

Рассмотрим сначала уравнения преобразования проводниковых ТС, а затем полупроводниковых.

При построении проводниковых ТС используются материалы, обладающие большим и высокостабильным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), хорошей воспроизводимостью свойств и инертностью к воздействиям окружающей среды [1]. К таким материалам относится платина. Благодаря своей дешевизне широко распространены медные ТС.

Для медного ТС, предназначенного для преобразования температуры в диапазоне  $-50$ — $+180^\circ\text{C}$ , градуировочная характеристика имеет вид линейной функции (рис. 1 а):

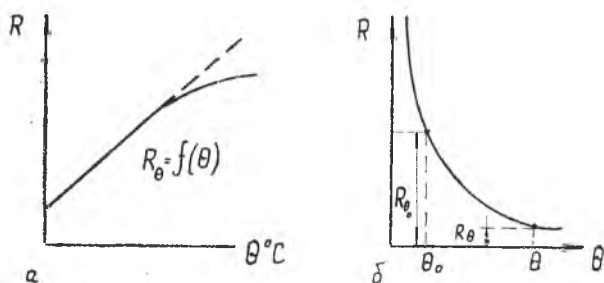


Рис. 1. Градуировочные характеристики ТС: а — проводникового; б — полупроводникового

$$R_\theta = R_0(1 + \Theta\alpha),$$

где  $R_0$  — сопротивление при  $0^\circ\text{C}$ ;

$\Theta$  — температура,  $^\circ\text{C}$ ;

$\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления ТКС

$$(\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ 1/град}).$$

ТКС определяет относительную чувствительность

$$S = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR_\theta}{d\Theta} = \alpha. \quad (1)$$

Для платинового ТС в диапазоне температур от 0 до +650°C:

$$R_{\Theta} = R_0(1 + A\Theta + B\Theta^2), \quad (2)$$

где  $A = 3,96847 \cdot 10^{-3}$  1/град;  $B = -5,847 \cdot 10^{-7}$  1/град. В интервале от 0 до -200°C

$$R_{\Theta} = R_0[1 + A\Theta + B\Theta^2 + C(\Theta - 100)^3], \quad (3)$$

где  $C = -4,22 \cdot 10^{-12}$  1/град.

Выражения (2), (3) нелинейны, чувствительность уменьшается с ростом температуры (см. рис. 1, а). Нелинейность в диапазоне 0-650°C достигает нескольких процентов, а в диапазоне 0-50°C не превышает 0,1%.

В отличие от проводниковых ТС уравнение преобразования полупроводниковых существенно нелинейно.

Для полупроводниковых ТС, выполненных из медно-марганцевых или кобальто-марганцевых сплавов, уравнение преобразования описывается выражением

$$R_{\Theta} = R_0 e^{B\left(\frac{1}{\Theta} - \frac{1}{\Theta_0}\right)}, \quad (4)$$

где  $R_{\Theta}$ ,  $R_0$  — сопротивление при температуре  $\Theta$  и  $\Theta_0$ , К;

$B$  — коэффициент, имеющий размерность температуры.

Коэффициент  $B$  легко определить из (4) (см. рис. 1, б):

$$B = \frac{\Theta \Theta_0}{\Theta - \Theta_0} \ln \frac{R_{\Theta}}{R_{\Theta_0}}. \quad (5)$$

Чувствительность ТС

$$S_R = \frac{dR_{\Theta}}{d\Theta} = R_0 e^{B\left(\frac{1}{\Theta} - \frac{1}{\Theta_0}\right)} \cdot \left(-\frac{B}{\Theta^2}\right).$$

Относительная чувствительность определяется ТКС

$$S = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR_{\Theta}}{d\Theta} = -\frac{B}{\Theta^2} = \alpha. \quad (6)$$

ТКС полупроводниковых ТС отрицателен. Его величина почти на порядок выше ТКС проводниковых ТС и составляет  $(20-80) \cdot 10^{-3}$  1/град.

Погрешности преобразования температуры ТС вызываются нестабильностью во времени  $R_0$ ,  $\alpha$ , а также перегревом термометра измерительным током.

Перегрев ТС определяется из уравнения теплового баланса для стационарного (установившегося) режима:

$$P = \xi F (\Theta_2 - \Theta_1). \quad (7)$$

где  $P = i_{\Theta}^2 R_{\Theta}$  — мощность измерительного тока;  
 $\xi F (\Theta_2 - \Theta_1)$  — мощность, рассеиваемая в окружающую среду;  
 $\xi$  — коэффициент теплопередачи;  
 $F$  — поверхность ТС;  
 $\Theta_1 - \Theta_2 = \Delta\Theta$  — перепад температуры ТС  $\Theta_2$  и окружающей среды  $\Theta_1$ ;

$$\Delta\Theta = \frac{i_{\Theta}^2 R_{\Theta}}{\xi F}. \quad (8)$$

Чтобы уменьшить перегрев  $\Delta\Theta$ , необходимо стремиться к минимуму мощности измерительного тока ( $P = i_{\Theta}^2 R_{\Theta} \rightarrow 0$ ). В большинстве проводниковых ТС  $P < 0,01$  Вт.

Между тем, применение ТС не ограничивается преобразованием температуры. Из выражений (7), (8) следует, что температурный перепад зависит от условий теплопередачи, определяемых коэффициентом  $\xi$ . В свою очередь, коэффициент  $\xi$  зависит от свойств среды, скорости потоков жидкости или газа и т. п. Поэтому ТС может работать как термоанемометр, датчик уровня жидкости или состава газа. Чтобы чувствительность ТС к изменениям  $\xi$  была максимальной, необходимо по возможности увеличивать мощность измерительного тока ( $P = i_{\Theta}^2 R_{\Theta}$ ).

При изучении свойств ТС, как преобразователя параметров, связанных с коэффициентом теплопередачи, важное значение имеет вольтамперная характеристика. Рассмотрим вольтамперную характеристику полупроводникового ТС (рис. 2). Она снимается с цепи, содержащей переменный резистор  $R$  и термосопротивление  $R_{\Theta}$ . В области малых токов  $I$  при небольшой мощности ТС ведет себя как обычное линейное сопротивление. В этой области ТС работает как преобразователь температуры.

При больших токах (в области II) мощность увеличивается, возрастает перепад  $\Delta\Theta$ , сопротивление  $R_{\Theta}$  и напряжение  $U_{\Theta}$  уменьшаются. Вольтамперная характеристика становится нелинейной.

Вид вольтамперной характеристики определяется электрическими и теплофизическими параметрами ТС и окружающей среды. Получить в аналитическом виде связь напряжения  $U_{\Theta}$

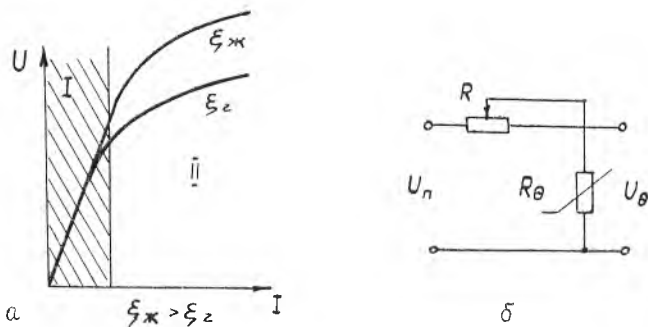


Рис. 2. Вольтамперные характеристики полупроводникового ТС для различных сред (а) и схема для снятия вольт-амперной характеристики (б)

и  $i_\theta$  трудно. В параметрическом виде вольтамперную характеристику находят из уравнения теплового баланса (7):

$$i_\theta^2 R_\theta = \xi F(\Theta_2 - \Theta_1);$$

$$U_\theta^2 / R_\theta = \xi F(\Theta_2 - \Theta_1),$$

где  $R_\theta$  — сопротивление ТС при температуре  $\Theta_2$ . Его можно представить в виде

$$R_\theta = R_1 e^{B(\frac{1}{\Theta_2} - \frac{1}{\Theta_1})}.$$

Тогда

$$\begin{cases} i_\theta = \sqrt{[R_1 e^{B(\frac{1}{\Theta_2} - \frac{1}{\Theta_1})}]^{-1} \xi F(\Theta_2 - \Theta_1)} \\ U_\theta = \sqrt{R_1 e^{B(\frac{1}{\Theta_2} - \frac{1}{\Theta_1})} \xi F(\Theta_2 - \Theta_1)} \end{cases} \quad (9)$$

Из (9) следует, что при постоянной температуре среды  $\Theta_1$ , заданном параметре  $B$  вольтамперная характеристика определяется коэффициентом  $\xi$ . Чем больше  $\xi$ , тем меньше  $\Delta\Theta$  (8) и  $\Theta_2$ , больше  $R_\theta$ , и при одном значении добавочного сопротивления  $R$  — выше напряжения  $U_\theta$ . Так как  $\xi$  жидкости  $> \xi$  газа, то вольтамперная характеристика ТС в жидкости пройдет выше, чем в газе (см. рис. 2, а).

## ДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТС

ТС — разновидность тепловых преобразователей, для которых характерна значительная инерционность. Динамические свойства рассмотрим для случая преобразования температуры. Пусть ТС массой  $m$  и теплоемкостью  $C$ , имеющей температуру  $\Theta_2(t_1)$ , внезапно помещается в среду с температурой  $\Theta_1$ . В результате теплообмена со средой его температура  $\Theta_2(t)$  возрастает (рис. 3) и стремится к значению  $\Theta_1$ .

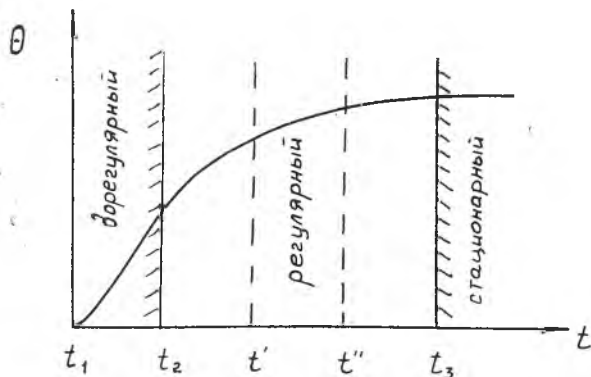


Рис. 3. Характеристика  $\Theta = f(t)$

На участке  $t_1-t_2$  имеет место так называемый дорегулярный режим, объясняемый тем, что за это время происходит перераспределение температур в толще самого тела и установление градиентов температуры, соответствующих однонаправленному тепловому потоку [1].

На участке  $t_2-t_3$  протекает регулярный режим установления температуры, а после  $t_3$  наступает стационарный (установившийся) режим теплового баланса.

Дорегулярный режим протекает сравнительно быстро, а стадия теплового равновесия наступает теоретически через бесконечное время. Поэтому основное время занимает регулярный режим. Поведение ТС в этом режиме описывается дифференциальным уравнением

$$mC \frac{d\Theta_2}{dt} + \xi F \Theta_2 = \xi F \Theta_1. \quad (10)$$

Уравнение (10) является уравнением теплового баланса в динамическом режиме. Правая часть характеризует мощность



теплового потока от среды к ТС, в левой части—мощность потока от ТС в окружающую среду и мощность на повышение теплосодержания.

После преобразования (10)

$$T \frac{d\Theta_2}{dt} + \Theta_2 = \Theta_1,$$

где  $T = \frac{mC}{\xi F}$  — постоянная времени, характеризующая инерционность ТС.

Операторная чувствительность (передаточная функция)

$$S(p) = \frac{\Theta_2(p)}{\Theta_1(p)} = \frac{1}{1 + Tp}.$$

При  $\Theta_1 = \text{const}$ , пренебрегая длительностью дорегулярного режима и обозначая начальную разность температур  $\Theta_1 - \Theta_2(t) = \Theta$ , выражение для переходного процесса как при нагревании [ $\Theta_1 > \Theta_2(t)$ ], так и при охлаждении [ $\Theta_1 < \Theta_2(t)$ ] получим в виде

$$\Theta(t) = \Theta e^{-\frac{t}{T}}. \quad (11)$$

Величину  $T$  легко найти экспериментально. Логарифмируя (11), имеем

$$\ln \Theta(t) = \ln \Theta - \frac{t}{T}.$$

Определив  $\Theta(t)$  для двух моментов времени  $t'$  и  $t''$ , получим:

$$T = \frac{t'' - t'}{\ln \Theta(t'') - \ln \Theta(t')} = (t'' - t') \frac{1}{\ln \frac{\Theta(t')}{\Theta(t'')}}. \quad (12)$$

## ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Лабораторный стенд содержит установку для снятия статических и динамических характеристик ТС и приборный корпус с органами управления на лицевой панели (рис. 4).

Установка для проведения экспериментов с ТС состоит из двух химических стаканов.

На крышке стакана 1, заполненного водой, закрепляются: пробирка 2, в которой расположены проводниковые и полупроводниковые ТС;

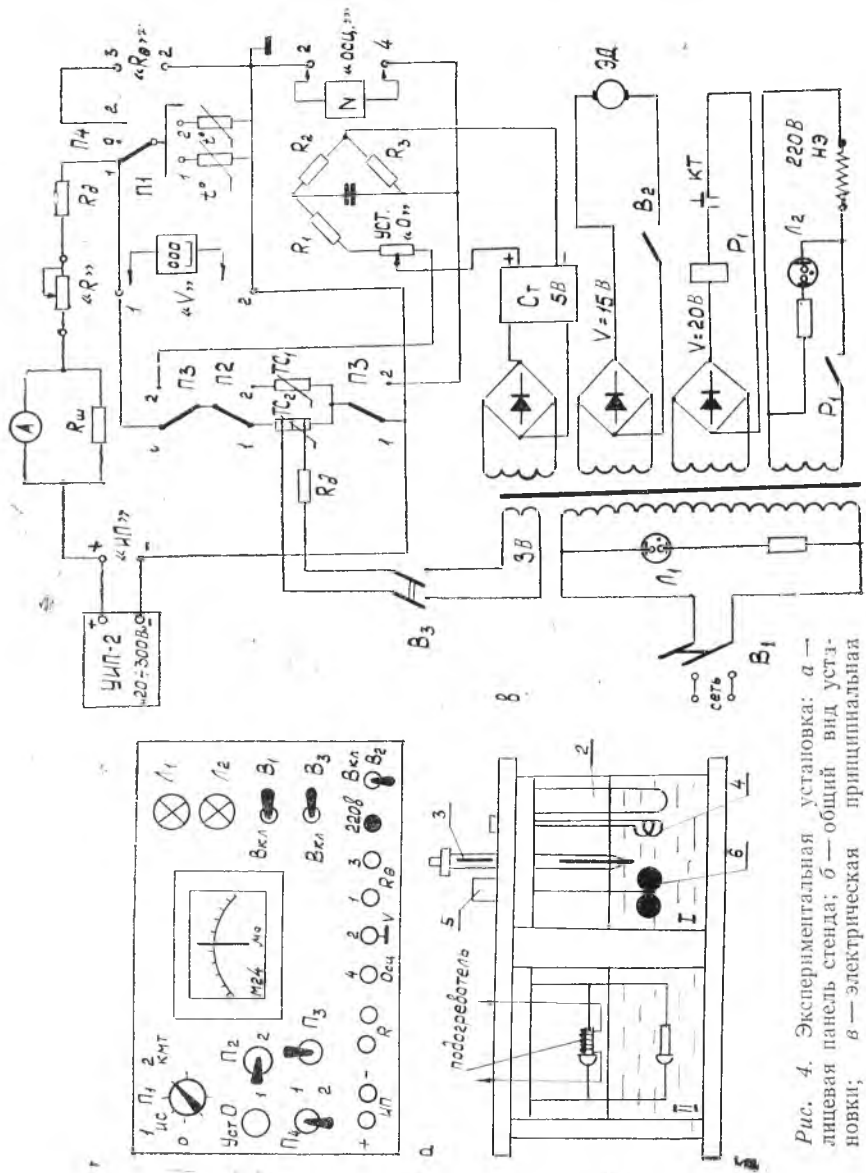


Рис. 4. Экспериментальная установка: а — левая панель стэнда; б — общий вид установки; в — электрическая принципиальная схема

контактный термометр 3, предназначенный для измерения и регулирования температуры в стакане 1;

электронагреватель 4;

электродвигатель постоянного тока 5 с мешалкой 6 для ускорения процесса равномерного нагрева воды в стакане 1 и ТС в пробирке 2.

В пробирке расположены чувствительный элемент медного ТС типа ИС, чувствительный элемент платинового термометра типа П-1, полупроводниковые ТС типа КМТ и СТ.

Конструктивно чувствительный элемент медного ТС типа ИС-543 представляет собой проволочную решетку, нанесенную на пленочное основание (см. рис. 5, а). Термометр ИС-543 предназначен для преобразования температуры поверхности.

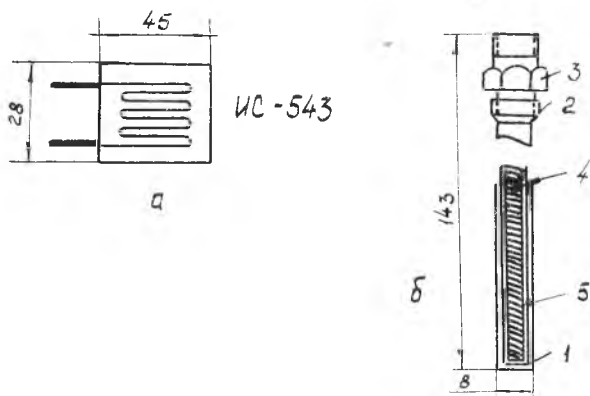


Рис. 5. Конструкции чувствительного элемента медного (а) и платинового ТС (б)

Конструкция платинового термометра типа П изображена на рис. 5, б. Его основу составляет защитный корпус 1, с резьбовым штуцером 2 и головкой 3, на которой имеется разъем для соединения с линией связи. Благодаря защитному корпусу 1 ТС можно использовать для преобразования температуры жидкостей.

Чувствительный ТС представляет собой бифилярную спираль, укрепленную на слюдяном каркасе 4 с выводами из серебряной проволоки. Чувствительный элемент помещается в токосъемные металлические гильзы 5.

На рис. 6, а показана конструкция полупроводниковых ТС типа КМТ-1 (КМ — кобальто-марганцевый сплав). Он выполнен в виде полупроводникового стержня, покрытого эмалевой краской с контактными колпачками и выводами.

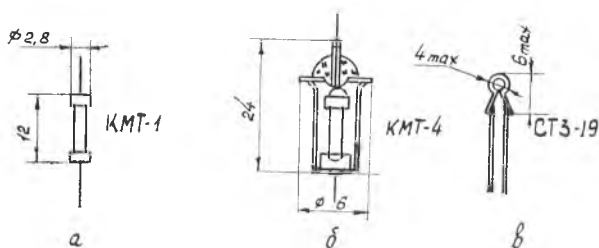


Рис. 6. Конструкции полупроводниковых ТС типа КМТ-1 (а), КМТ-4 (б) и СТЗ-19 (в)

Этот тип ТС может использоваться только в сухих помещениях. Терморезисторы КМТ-4 (см. рис. 6, б) заключены в металлические капсулы и герметизированы, благодаря чему они могут быть использованы в условиях любой влажности и в жидкостях, которые не являются агрессивными относительно корпуса ТС.

Особый интерес представляют миниатюрные полупроводниковые ТС для объектов малого объема с быстроменяющимися температурами. ТС типа СТЗ-19 имеют каплевидную форму. Чувствительный элемент герметизирован стеклом и снабжен выводами из проволоки с низкой теплопроводностью (см. рис. 6, в).

Схема электрических соединений представлена на рис. 4, в.

С помощью этой схемы в стакане 1 снимаются статические характеристики: уравнения преобразования (градуировочные характеристики) ТС и вольтамперные характеристики при различных температурах.

Для снятия градуировочных характеристик используется система автоматического регулирования температуры. Чувствительным элементом системы является контактный термометр КТ. Установка необходимой температуры производится регулировкой подвижного контакта. Этот контакт включен в цепь реле  $P_1$ . Нагревательный элемент НЭ соединен с обмоткой трансформатора через нормально замкнутые контакты  $P_1$ . Поэтому при включении установки тумблером  $B_1$  в сеть НЭ разогревает воду, при этом загорается сигнальная лампа  $L_2$

на лицевой панели приборного корпуса. Ртутный столбик контактного термометра поднимается и замыкает подвижной контакт. Реле  $P_1$  срабатывает, цепь НЭ размыкается, лампа  $L_2$  — гаснет. Из-за тепловой инерции системы некоторое время продолжается разогрев при отключенном НЭ. Далее вода охлаждается, контакт термометра размыкается и вновь включается НЭ.

Система автоматического регулирования при включенном электродвигателе ЭД мешалки поддерживает температуру ТС с точностью  $0,1^\circ\text{C}$ . Выход системы на заданную температуру продолжается 10—15 мин. Сопротивление ТС, соответствующее выбранной температуре, измеряется с помощью моста постоянного тока ММВ. Входные клеммы моста соединяются с клеммами « $R_\theta$ » 2—3 на лицевой панели приборного корпуса. Клеммы « $R_\theta$ » через переключатели  $P_1$  и  $P_4$  связаны с ТС ( $P_4$  — в положении 2). С помощью внешнего вольтметра ВК7-10А-1 и миллиамперметра М24, расположенного на лицевой панели внешнего блока питания УИП-2, снимается вольт-амперная характеристика ТС. При этом переключатель  $P_4$  находится в положении 1,  $P_3$  — в положении 2. Регулировка тока производится магазином сопротивлений, подключенным к клеммам « $R$ » на лицевой панели.

В стакане  $P$  снимаются статические и динамические характеристики: вольт-амперная характеристика ТС в различных средах (воздух и глицерин); характеристика  $\Theta = f(t)$  при тестовом воздействии, близком к скачку.

В стакане расположены два полупроводниковых ТС. Один из них ( $ТС_2$ ) — в воздухе, второй ( $ТС_1$ ) — в глицерине. Характеристики  $R_\theta = f(\Theta)$  обоих ТС подобраны одинаковыми между собой и с ТС типа КМТ-4, расположенным в стакане 1.

Вольт-амперные характеристики, снятые для  $ТС_1$  и  $ТС_2$ , позволяют произвести качественные сравнения и приближенно сравнить влияние коэффициента теплоотдачи в обеих средах.

Такое сравнение исключает необходимость перемещения ТС из одной среды в другую или изменение уровня жидкости при неподвижном ТС.

Кроме того, использование близких по своим параметрам ТС, расположен-

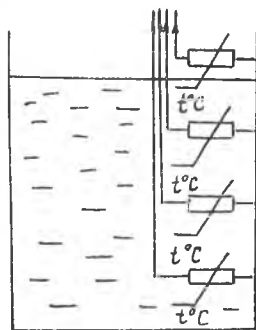


Рис. 7. Применение ТС в датчиках уровня дискретного типа

ных на различных уровнях, имитирует работу датчика уровня дискретного действия (рис. 7). ТС работает в нелинейной области вольтамперной характеристики. Величина напряжения на ТС характеризует окружающую среду. Если они расположены в жидкости, то напряжение на них выше, чем на тех, которые расположены в воздухе.

Динамическая характеристика  $\Theta = f(t)$  снимается с помощью схемы неравновесного моста и специального подогревателя из нихрома, намотанного на поверхности ТС<sub>2</sub> (см. рис. 4, б). Градуировочная характеристика моста  $\Theta = \varphi(U_{\text{вых}})$  приведена на рис. 8. Масса подогревателя существенно меньше массы ТС. Поэтому его разогрев происходит значительно быстрее в сравнении с разогревом ТС.

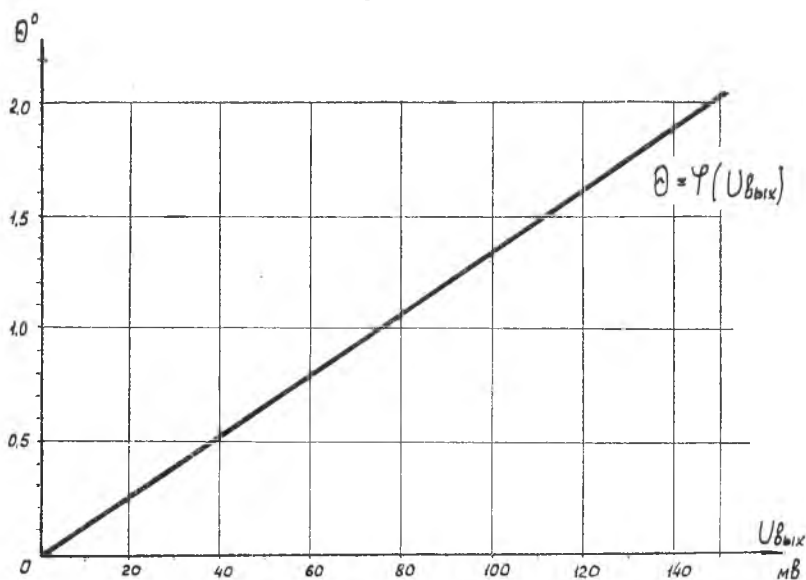


Рис. 8. Градуировочная характеристика  $\Theta = \varphi(U_{\text{вых}})$  неравновесного моста

Следовательно, можно считать, что температура подогревателя, имитирующая температуру среды, изменяется практически скачкообразно при включении напряжения на подогреватель.

Включение ТС в мост производится переключателем  $\Pi_3$  (в положение 2).

Установка нуля производится потенциометром «Уст. 0».

Включение тока в подогреватель осуществляется тумблером  $B_3$ .

Для измерения выходного напряжения моста, соответствующего температуре ТС, используется электронный осциллограф с медленной разверткой, или милливольтметр постоянного тока с секундомером. Выходное напряжение моста выведено на клеммы «ОСЦ» на лицевой панели стенда.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Перед выполнением лабораторной работы ознакомиться с инструкциями по эксплуатации моста ММВ для измерения сопротивлений, вольтметра ВК7-10А-1, осциллографа С1-19Б, источника питания УИП-2.

Подготовить приборы к работе.

По указанию преподавателя выбрать тип ТС для проведения экспериментов.

2. Снять вольтамперные характеристики полупроводникового ТС при двух различных температурах в одной среде (воздухе). Характеристика снимается в стакане 1 при комнатной температуре (20—30°C) и при температуре (80—90°C).

При выключенном сетевом тумблере блока питания УИП-2, выключенном сетевом тумблере  $B_1$  стенда собрать схему для снятия вольтамперной характеристики.

Соединить клеммы «20—300 V» УИП-2 с клеммами ИП на лицевой панели приборного корпуса. Подсоединить магазин сопротивлений к клеммам « $R_{\text{в}}$ ». Установить  $P_1$  — в положение 2,  $P_4$  — в положение 1, вольтметр к клеммам 2—1. Включить УИП-2 и, изменяя сопротивление магазина, снять вольтамперные характеристики при комнатной температуре и свести результаты в табл. 1. Аналогично снимаются вольтамперные

Таблица 1

Вольтамперная характеристика при различных температурах

| №<br>п/п | $\Theta = 20^\circ\text{C}$ |        | $\Theta_2 = 80^\circ\text{C}$ |        |
|----------|-----------------------------|--------|-------------------------------|--------|
|          | $U$ В                       | $i$ мА | $U$ В                         | $i$ мА |
|          |                             |        |                               |        |

характеристики при температуре 80—90°C при включенной системе регулирования температуры (см. п. 3). Привести уставовку в исходное положение.

Снять вольтамперные характеристики полупроводниковых ТС в различных средах при комнатной температуре (20—30°C). Установить  $P_4$  в положение 0,  $P_3$  — в положение 1.

Изменяя положение переключателя  $P_2$ , снять вольтамперные характеристики в воздухе и глицерине. Занести результаты в табл. 2.

Таблица 2  
Вольтамперные характеристики в различных средах

| №<br>п/п | ТС <sub>1</sub> (глицерин) |      | ТС <sub>2</sub> (воздух) |      |
|----------|----------------------------|------|--------------------------|------|
|          | U В                        | i мА | U В                      | i мА |
|          |                            |      |                          |      |

3. Снять температурные характеристики ТС.

**ВНИМАНИЕ!** Отключить УИП-2 от клемм ИП, а также вольтметр от клеммы «V». При выключенном  $B_1$  установить  $P_1$  в положение 1,  $P_4$  — в положение 2.

Подключить мост ММВ к клеммам « $R_\theta$ ». Меняя положение  $P_1$ , измерить сопротивления « $R_\theta$ » при комнатной температуре. Занести результаты в табл. 3. Подготовить систему автоматического регулирования температуры к работе. Для этого установить подвижной контакт на необходимую температуру.

Включить  $B_1$  и тумблер  $B_2$  двигателя мешалки. Загораются лампы  $L_1$  и  $L_2$ .

Через 10—15 мин. устанавливается заданная температура и производится измерение  $R_\theta$ . Подобным образом снимаются остальные точки температурных характеристик  $R_\theta = f(\theta)$  исследуемых ТС.

Таблица 3  
Зависимость  $R = f(\theta)$

| $\theta$ | R, Ом |        |
|----------|-------|--------|
|          | КМТ-4 | ИС-543 |
|          |       |        |



#### 4. Снять динамическую характеристику $\Theta=f(t)$ .

**ВНИМАНИЕ!** Отключить ММВ от клемм « $R_\Theta$ ». При отключенном  $B_1$  установить  $P_2$  в положение 1,  $P_3$  — в положение 2, подсоединить осциллограф (или милливольтметр) на клеммы «ОСЦ». Произвести калибровку осциллографа (или милливольтметра).

Включить  $B_1$ , произвести установку нуля моста ручкой «уст. 0». Замыкая тумблер  $B_3$ , включить подогреватель. Фиксируя время секундомером, снять характеристику  $U_{\text{вых}}=E(t)$  и перевести ее в координаты  $\Theta=f(t)$ , пользуясь зависимостью  $\Theta=f(U_{\text{вых}})$  (см. рис. 8).

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Градуировочные характеристики проводникового и полупроводникового ТС, а также таблицы и результаты эксперимента.

2. Результаты расчета температурных коэффициентов сопротивления (ТКС) для проводниковых и полупроводниковых ТС, найденные в начале и конце температурного диапазона.

3. Таблицы и графики вольтамперных характеристик полупроводниковых ТС при различных температурах, а также в различных средах.

4. Построить график динамической характеристики  $\Theta=f(t)$  и найти в ее регулярной области значение постоянной времени  $T$ .

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Напишите выражения уравнений преобразования для проводниковых и полупроводниковых ТС. Нарисуйте графики функций  $R_\Theta=f(\Theta)$  для обоих видов ТС и сравните их линейность.

2. Сравните температурную чувствительность обоих видов ТС, габариты, стабильность и инерционность ТС.

3. Как зависит вид вольтамперной характеристики от температуры и коэффициента теплоотдачи в окружающую среду?

4. Как получить динамическую характеристику ТС  $\Theta=f(t)$  и найти постоянную времени?

5. Как работает система автоматического регулирования температуры в экспериментальной установке?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Электрические измерения неэлектрических величин. Под ред. Новицкого П. В. М., «Энергия», 1975.

2. Нечаев Г. К. Полупроводниковые термосопротивления в автоматике. Киев, 1962.

Составитель *Олег Петрович Скобелев*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОДНИКОВЫХ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИИ

*Лабораторная работа № 2*

Редактор Н. М. Чулкова  
Техн. редактор Н. М. Каленюк  
Корректор Л. М. Соколова

Сдано в набор 30.01.78 г. Подписано в печать 28.04.78 г.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага оберточная белая. Литературная гарнитура.  
Высокая печать. Усл. п. л. 0,97. Учет.-изд. л. 0,9.  
Тираж 1000 экз. Заказ № 474. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. С. П. Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.