

---

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗПРИЕМАЩИ ЕЛЕМЕНТИ ЗА ТЕМПЕРАТУРА

5

*Целта на упражнението е студентите да се запознаят с различните методи и средства за измерване на температура. Да се снемат статичните характеристики на изследваните възприемащите елементи за температура.*

### ТЕОРЕТИЧНИ ПОЛОЖЕНИЯ

За да се осигури високопроизводителна, икономична и безопасна работа на технологичните апарати в енергетиката, хранително-вкусовата, металургичната и химическата промишленост е необходимо да се заложи използването на съвременни методи и средства за измерване на величини, характеризиращи производствения процес и състоянието на оборудването.

Автоматичният контрол се явява първа степен на автоматизацията, без успешното функциониране на която е невъзможно създаването на ефективни системи за управление.

Температурата е процесна характеристика на почти всеки производствен процес, което определя многообразието на използвани методи и средства за нейното измерване.

#### **Класификация на методите за измерване на температура**

Най-общо методите за измерване на температура се разделят на две базови групи: *контактни* и *безконтактни*. При контактните методи обмяната на енергия между средата и термометричното вещество се базира на топлопроводност. Контактни термометри се наричат тези, които се намират в механичен контакт с измерваната среда. Те се делят от своя страна на няколко групи:

- термоелектрически термометри;
- термосъпротивителни термометри;
- разширителни термометри.

Често в практиката непосредственият контакт на чувствителния елемент на термометъра с изследваната среда или тяло е невъзможен. В тези случаи се използват безконтактни методи за измерване на температурата чрез топлинното излъчване. Средствата, чрез които се осъществява безконтактно измерване на температура се наричат пирометри.

Обекти на изследване в това упражнение ще бъдат контактните термометри - термоелектрическите, електрическите съпротивителни термометри и манометричните.

#### **Термодвойки**

Принципът на действие на термодвойките е основан на термоелектрическите явления. Термоелектрическите преобразуватели (термодвойките) се състоят от два разнородни проводника 1 и 2, които са споени чрез заварка в единия си край. На фиг. 5.1 е показана опростена схема на термодвойка.

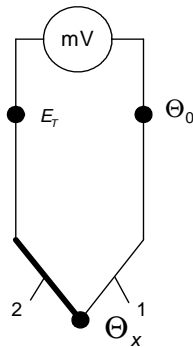
Спйката с температура  $\Theta_x$  се нарича горещ или работен край на термодвойката, а спйката с по-ниска (постоянна) температура  $\Theta_0$  се нарича студен или свободен край на термодвойката.

При поставяне на работния край в среда с температура  $\Theta_x$ , между свободните краища възниква термо-е.д.н.:

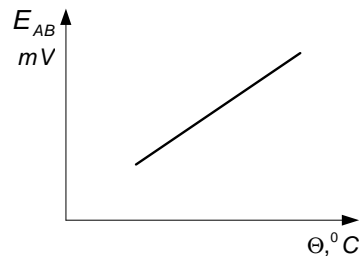
$$E_T = k_T(\Theta_x - \Theta_0), \quad (5.1)$$

където  $\Theta_0$  е температурата на свободните краища, а коефициентът  $k_T$  зависи от материалите на двата проводника.

Задължително условие за измерване на температурата на средата  $\Theta_x$  с термодвойка е температурата на свободните краища да се поддържа постоянна  $\Theta_0 = const$ . На фиг. 5.2 е представена статичната характеристика на термодвойката.



Фиг. 5.1



Фиг. 5.2

При големи температурни разлики зависимостта  $E_T = f(\Theta_x - \Theta_0)$  не е точно линейна и се дава в градуировъчни таблици за  $\Theta_0 = 0$ .

За предпазване от корозия и механични повреди промишлените термодвойки се поставят в защитна обвивка (арматура), която трябва да е газонепроницаема, механично здрава и с голяма топлопроводност.

В практиката са намерили приложение следните основни видове термодвойки:

- *платинородий - платина* - положителният електрод е от сплавта платинородий (90% платина и 10% родий), а отрицателният от платина. Тези термодвойки се използват за продължителни измервания на температури от  $-20 - 1300^{\circ}\text{C}$  и за краткотрайни измервания на температури до  $1600^{\circ}\text{C}$ .

- *хромел - алумел* - положителният електрод е от сплав, наречена хромел (90% никел и 10% хром), а отрицателният - от сплав алумел (94,83% никел, 0,17% желязо, 2% алуминий, 2% манган и 1% силиций). Тези термодвойки се използват за продължителни измервания на температури от  $-50 - 1000^{\circ}\text{C}$  и за краткотрайни измервания на температури до  $1300^{\circ}\text{C}$ .

- *хромел - копел* - положителният електрод е хромел, а отрицателният – копел (сплав от 56,5% мед и 43,5% никел). Тези термодвойки се използват за продължителни измервания на температури от  $-50 - 600^{\circ}\text{C}$  и за краткотрайни

измервания на температури до  $800^{\circ}\text{C}$ .

### Терморезистори

Действието на термосъпротивителните чувствителни елементи (терморезисторите) е основано на свойството на проводниците и полупроводниците да променят своето електрическо съпротивление при промяна на температурата.

Принципът на действие на металните терморезистори се основава на увеличаването на тяхното електрическо съпротивление при нарастване на температурата им поради увеличаването на амплитудата, с която трептят атомите в кристалната решетка на металите под действие на нарастналата топлинна енергия. Увеличената амплитуда пречатства насоченото движение на електроните в електрическата верига, в която е свързан терморезисторът, което е равностойно на нарастване на неговото електрическо съпротивление.

Зависимостта на съпротивлението на металните терморезистори  $R_t$  от температурата е почти линейна и се описва от уравнението:

$$R_t \approx R_0[1 + \alpha(\Theta - \Theta_0)] , \quad (5.2)$$

където:  $R_t$  е съпротивлението на проводника на датчика при температура  $\Theta$ ,  $\Omega$ ;

$R_0$  - съпротивлението на проводника при температура  $\Theta_0$ ,  $\Omega$ ;

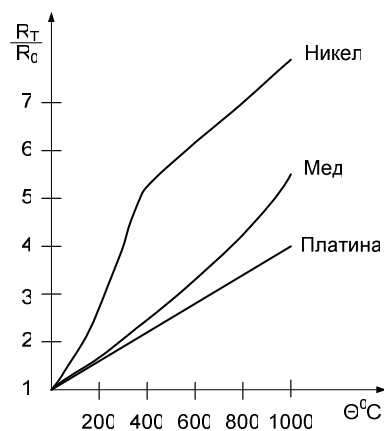
$\alpha$  - специфичен температурен коефициент на съпротивлението,  $(3.5 - 6.5)10^{-3} 1/^{\circ}\text{C}$ .

Проводниковите терморезистори се изработват предимно от чисти метали като мед, никел, желязо и платина, като медните и платиновите терморезистори са най-широко разпространени.

Медните терморезистори се изработват от електролитна мед и се използват в температурния обхват от  $-50 \div 180^{\circ}\text{C}$ .

При измерване на температури в обхвата от  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $1400^{\circ}\text{C}$  се използват изключително платиновите терморезистори.

Желязото и никелът се използват по-рядко за изработване на термосъпротивления. Те имат висок температурен коефициент на съпротивление и сравнително голямо специфично съпротивление.

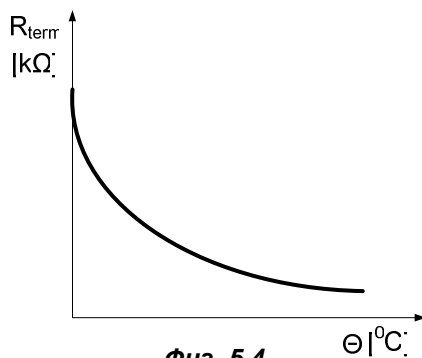


Фиг. 5.3

Фигура 5.3 показва изменението на съотношението  $R_T/R_0$  във функция от температурата за платина, мед и никел.

### Термистори

Полупроводниковите сензори за измерване на температура се наричат термистори. Устройството им е аналогично на това на металните терморезистори. Тези сензори се изработват от полупроводникови материали. Имат много голям



Фиг. 5.4

обхват от стойности – от няколко  $\Omega$  до няколко  $M\Omega$ . Тяхното съпротивление намалява при нарастване на температурата т.е. имат отрицателен температурен коефициент на съпротивлението  $\alpha < 0$ , който е 8 - 10 пъти по-голям от този на проводниковите терморезистори.

Съпротивлението на термисторите се изменя по хиперболичен закон в зависимост от температурата:

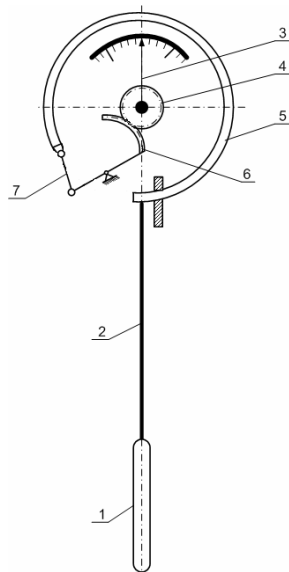
$$R_t = A.e^{\frac{B}{\theta}}, \quad (5.3)$$

където:  $B$  е константа, зависеща от свойствата на използвания полупроводник.

Термисторите се използват за измерване на температури от  $-90 - 200^{\circ}C$  с висока точност (до  $0,005 K$ ), Техен недостатък е силно изразената нелинейност на статичната им характеристика, фиг. 5.4.

### Термобалони

Опростена конструкция на такъв преобразувател е показана на фиг. 5.5. Измерваната температура се възприема от чувствителен елемент, изграден от термобалон 1, който се поставя в контролираната среда, капилярна тръбичка 2, свързана с манометричната тръба 5. При повишаване на налягането в манометричната тръба придвижващия механизъм 7, задвижва зъбния сектор 6 и зъбното колело 4, свързано с показващата стрелка 3.



Фиг. 5.5

Термобалонът се изработва от неръждаема стомана, а капилярната тръба – от мед или стомана с вътрешен диаметър  $0.15 - 0.5 mm$ . Дължината на капилярната тръба може да бъде от порядъка на метри.

В зависимост от термометричното вещество манометричните термометри могат да бъдат:

- газови – цялата измервателна система е запълнена с газ;
- течностни – термобалонът е запълнен с течност;
- паро-течностни – термобалонът е запълнен частично с течност с ниска температура на кипене и частично с нейните наситени пари.

В газовите манометрични термометри като термометрично вещество най-често се използват инертни газове (азот, хелий). Чрез тези термометри се измерва температура от  $50$  до  $630^{\circ}C$ . Началното налягане в газовите

манометрични термометри зависи от измерваната температура и обикновено е  $0.98 - 4.9 \text{ MPa}$ . Зависимостта на налягането  $P$  от температурата  $\Theta$  се описва със следното уравнение:

$$P = P_0[1 + a(\Theta - \Theta_0)], \quad (5.4)$$

където:  $a$  е температурния коефициент на разширение на газа,  $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ ;  $\Theta_0$  - началната температура,  $^\circ\text{C}$ ;  $P_0$  - налягането при температура  $\Theta_0$ ,  $\text{MPa}$ .

Течностните манометрични термометри обикновено се запълват с живак и по-рядко с органични течности (метилолв алкохол или ксилол). Те измерват температури от  $-50$  до  $300^\circ\text{C}$ . Изменението на налягането  $\Delta P$ ,  $\text{Pa}$  от температурата  $\Theta$  се описва със следното уравнение:

$$\Delta P = \frac{\Delta\Theta b}{\eta}, \quad (5.5)$$

където:  $b$  е температурния коефициент на обемно разширение на течността,  $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ ;

$\Delta\Theta$  - изменение на температурата,  $^\circ\text{C}$ ;  $\eta$  - коефициентът на свиваемост на течността.

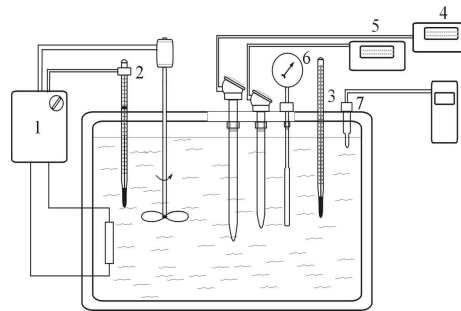
В паро-течностните манометрични термометри две трети от обема се запълва с течности като етилхлорид, метилхлорид, ацетон и др. Тези манометрични термометри измерват температури от  $-50$  до  $300^\circ\text{C}$ . В затворената термосистема протичат процеси на изпарение и кондензация. С повишаване на температурата се увеличава налягането на наситената пара, съответстваща на измерваната температура. Чувствителността на паро-течните манометрични термометри е по-висока от газовите и течностните манометрични термометри, защото налягането на наситената пара много по-силно зависи от температурата.

Към предимствата на манометричните термометри могат да се отнесат простата им конструкция, дистанционното измерване на температурата и възможността за автоматичен запис на показанията, работа във взривоопасна и пожароопасна среда. Недостатъците са свързани с ниската точност на измерване и трудност на ремонта при разхерметизиране на измервателната термосистема.

### МЕТОДИЧНИ УКАЗАНИЯ

За провеждане на лабораторното упражнение е необходимо студентите да се запознаят с устройството и принципа на работа на изследваните възприемащи елементи за температура – термодвойка, терморезистор, термистор и термобалон.

Схемата на опитната постановка е показана на фиг. 5.6. Състои се от термостат 1, термодвойка свързана с милivolтветър 4, терморезистор и термистор с омметри съответно 5 и 7, термобалон 6, електроконтактен живачен термометър 2, образцов термометър 3. Статичната характеристика на възприемащите елементи се сема в следната последователност.



Фиг. 5.6. Схема на опитната постановка за изследване на възприемащи елементи за температура

1. Под ръководството на ръководителя на упражнението се задава температура на термостата с помощта на контактният живачен термометър.

2. След достигане на зададената температура на водата в термостата се отчита напрежението в термодвойката (т.е. термо-е.д.н), съпротивленията в терморезистора и термистора и налягането в термобалона. За целта се използват манометричният термометър, снабден с допълнителна скала за измерване на налягане. Резултатите се нанасят в таблица 5.1.

3. Точки 1 и 2 се повтарят и за други зададени от ръководителя на упражнението стойности на температурата.

### ОПИТНИ ДАННИ И РЕЗУЛТАТИ

Таблица 5.1

Температура на водата, $\Theta$	$^{\circ}\text{C}$	
Термо- е.д.н. на термодвойката, $E_{AB}$	$mV$	
Съпротивление на терморезистора, $R_r$	$\Omega$	
Съпротивление на термистора, $R_{term}$	$M\Omega$	
Налягане на термобалона, $P_t$	$MPa$	

По опитни данни от табл. 5.1 се построяват статичните характеристики на термодвойката  $E_{ABt} = f(\Theta)$ , терморезистора  $R_r = f(\Theta)$ , термистора  $R_{term} = f(\Theta)$  и термобалона  $P_t = f(\Theta)$ .

От получените статични характеристики да се определи чувствителността на възприемащите елементи, като отношение на измерената изходна величина за произволно изменение на входната величина  $\Delta\Theta$ , т.е:

$$S_E = \frac{\Delta E_{AB}}{\Delta\Theta}; \quad S_r = \frac{\Delta R_t}{\Delta\Theta}; \quad S_r = \frac{\Delta R_{term}}{\Delta\Theta}; \quad S_p = \frac{\Delta P_t}{\Delta\Theta}.$$

### ВЪПРОСИ И ЗАДАЧИ

1. Пояснете принципа на действие на термодвойките! Какви стандартни термодвойки се използват в производството?

2. Пояснете принципа на действие на терморезисторите и термисторите!

3. Какви стандартни терморезистори се използват в производството?

4. Да се поясни принципа на действие на манометричните термобалони!

5. Какъв е начина за снемане на статични характеристики на възприемащите елементи за температура – термодвойка, терморезистор и термистор и термобалон?