

## Лекція 17. Вимірювання температури

Електричні прилади, які призначені для вимірювання температури, називають електричними термометрами. Електричний термометр складається з первинного перетворювача температури (терморезистора, термопари) і вторинного вимірювального ланцюга.

Залежно від типу використаного первинного перетворювача прилади називають термометрами опору, термоелектричними термометрами.

### 4.7.1. Електричні термометри опору

Вони засновані на використанні терморезисторів у якості чутливого елемента первинного перетворювача температури (терморезистивного перетворювача температури). Знаючи залежність опору терморезистора від температури, можна за його змінами знайти температуру середовища, яке контролюється.

Найчастіше для вимірювання температури від  $-260^{\circ}\text{C}$  до  $1100^{\circ}\text{C}$  використовуються платинові терморезистивні перетворювачі температури. Вони мають високу точність і стабільність характеристики. До їхніх недоліків слід віднести нелінійність характеристики перетворення і значне зменшення чутливості при вимірюванні низьких температур.

Термометри опору, які використовують мідні, нікелеві терморезистори, мають гіршу стабільність роботи у часі. Перевагою

мідних термометрів опору (ТО) являється лінійність характеристики перетворення. Діапазон температур, який вимірюється мідними ТО, становить  $-200^{\circ}\text{C} \dots +200^{\circ}\text{C}$ .

При вимірюванні низьких і середніх температур використовують терморезистори з високим номінальним опором (100 ... 500 Ом), а при вимірюванні високих температур – низькоомні терморезистори з номінальним опором 1 ... 10 Ом і виконані товстим дротом.

У таблиці 4.1. наведені основні параметри термометрів опору.

Таблиця 4.1

Платинові термометри опору		Мідні термометри опору	
Опір при $0^{\circ}\text{C}$ (Ом)	Діапазон вимірювання, $^{\circ}\text{C}$	Опір при $0^{\circ}\text{C}$ (Ом)	Діапазон вимірювання, $^{\circ}\text{C}$
10	$-200 \dots +750$	10	$-50 \dots +200$
50	$-260 \dots +1000$	50	$-50 \dots +200$
100	$-260 \dots +1000$	100	$-200 \dots +200$

Терморезистор і дроти, з'єднуючі його зі вторинним вимірювальним приладом, включаються послідовно. З'єднувальні дроти зазвичай являються мідними, і їх опір залежить від їх температури. Температурні зміни опорів з'єднувальних дротів приводять до додаткових похибок вимірювання.

Вторинні вимірювальні перетворювачі термометрів опору повинні виконуватися такими, щоб максимально зменшити цю

похибку. Опори з'єднувальних дротів повинні бути підігнаними до значень, при яких був проградуйований вторинний вимірювальний перетворювач. Значення цих (градуйованих) опорів зазначаються на шкалі приладу або в його паспорті. У більшості випадків для вимірювання опорів терморезисторів використовуються мости. Терморезистор може підключатися до моста по двопровідній або трипровідній схемі.

Двопровідна схема з'єднання дешевша, однак у цьому випадку опори обох дротів включаються послідовно з терморезистором в одне плече. При зміні навколишньої температури опори з'єднувальних дротів змінюються, що збільшує похибку вимірювання.

На рис. 4.44 зображена схема автоматичного урівноваженого моста. Вимірювальний ланцюг являє собою міст, який складається з манганінових резисторів  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , реохорда  $R_p$  і терморезистора  $R_T$ . Для зменшення впливу температурних змін опорів з'єднувальних дротів терморезистор підключається до моста по трипровідній схемі. В цій схемі два дроти  $R_{Л1}$  і  $R_{Л3}$  включені в сусідні плечі мосту, а третій  $R_{Л2}$  – в діагональ живлення. Зміна температури викликає однакові зміни опорів з'єднувальних дротів, що не впливає на баланс моста і, отже, виключається температурна похибка.

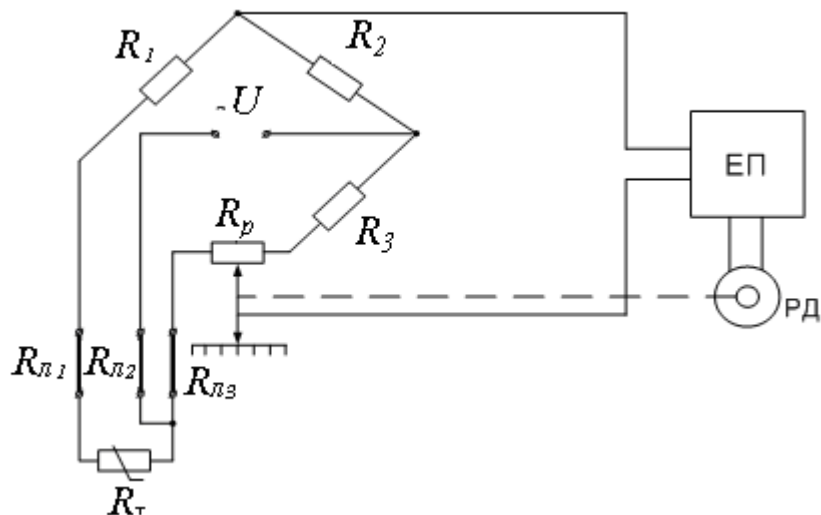


Рис. 4.44

При зміні температури змінюється опір терморезистора, що призводить до розбалансу моста. У вимірювальній діагоналі моста з'являється напруга розбалансу  $\Delta U$ , яка посилюється підсилювачем ЕП і подається на реверсивний двигун РД. Вал двигуна через редуктор з'єднаний з движком реохорда і переміщує його до тих пір, поки напруга розбалансу у вимірювальній діагоналі моста зменшиться до нуля.

Движок реохорда зв'язаний з відліковим пристроєм, проградуєваним у градусах, а також із пристроєм дистанційної передачі показів. Вимірюючи температуру термометром опору необхідно також враховувати додаткову похибку, викликану нагріванням терморезистора при протіканні через нього вимірювального струму. Для зменшення цієї похибки необхідно, щоб зміна опору терморезистора через вплив вимірювального струму не перевищувала 0,1 %.

Для вимірювання температури за допомогою стандартних мідних і платинових терморезисторів промисловість випускає автоматичні мости класів точності 0,25; 0,5.

#### 4.7.2. Термоелектричні термометри

Термоелектричні термометри складаються з термоелектричного перетворювача температури (термопари) і вимірювального ланцюга (компенсатора, мілівольтметра або автоматичного потенціометра). Робочий кінець термопари поміщається в середовище, температуру якого необхідно виміряти. Вільні кінці підключаються до вимірювального ланцюга.

На рис. 4.45 наведений найпростіший вимірювальний ланцюг термометра з використанням термопари. На цій схемі  $T_x$  – вимірювальна температура (температура гарячого спаю термопари), а

$T^0$  – температура вільних кінців термопари.

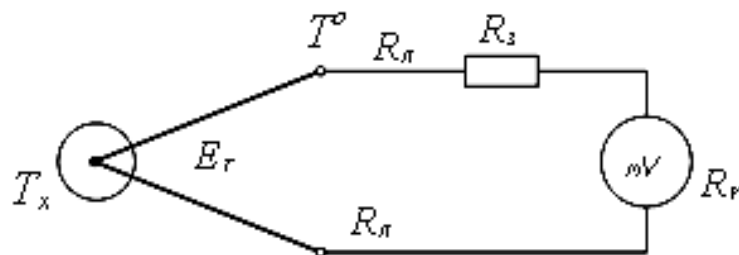


Рис. 4.45

Покази мілівольтметра

$$U = \frac{E_T \cdot R_3}{R_T + 2R_L + R_V + R_3},$$

(4.123)

де  $E_T$  – ЕРС термопары;

$R_T$  – опір термопары;

$R_V$  – опір мілівольметра;

$R_L$  – опір з'єднувальних дротів;

$R_3$  – зрівнювальний резистор.

Як видно з формули, якщо температура вільних кінців термопары  $T^0$  буде постійною, а також будуть постійними всі опори, то покази мілівольметра співпадають із значенням ЕРС термопары. У цьому випадку шкала приладу може бути проградууйована у градусах із вказівкою типу термопары і значенням зовнішнього для мілівольметра опору. Для підгонки цього зовнішнього опору до значення, при якому здійснювалось градуування термопары, використовують зрівняльний резистор  $R_3$ .

Похибка, яка вноситься зовнішнім для мілівольметра опором вимірювального ланцюга,

$$\delta_V = \frac{R_T + 2R_L + R_3}{R_V} \cdot 100\%.$$

(4.124)

Для зменшення цієї похибки необхідно, щоб

$$R_V \gg (R_T + 2R_L + R_3)$$

У цих термометрах можливі додаткові похибки від зміни опорів термопар і з'єднувальних дротів.

Опір термопар змінюється зі зміною глибини занурення у вимірювальне середовище, тобто зі зміною відношення нагрітої і холодної частин термопар. Тому глибину занурення термопар вибирають відповідно до паспортних даних термопар. Крім цього, при коливаннях температури повітря змінюються опори з'єднувальних дротів і опір  $R_v$  мілівольтметра.

Велику похибку у вимірюванні температури може викликати зміна температури вільних кінців термопар відносно градуйованої температури  $T_{гр}$ . Градуйовані характеристики термопар побудовані для певної температури  $T_{гр}$  вільних кінців (зазвичай  $T_{гр} = 0^\circ\text{C}$ ). Якщо температура вільних кінців термопар не дорівнює градуйованій, то необхідно вводити поправку на зміну ЕРС термопар відносно градуйованого значення.

Для автоматичного введення поправки, через зміни температури холодного спаю, у ланцюг термопар включаться міст (рис. 4.46).

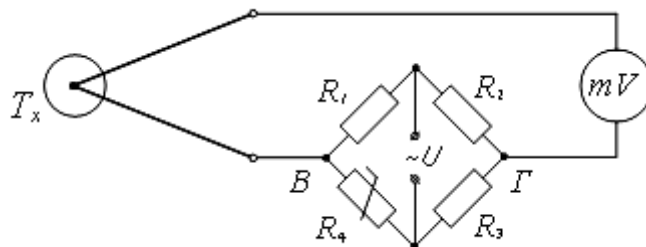


Рис. 4.46

Резистори  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  виконані з манганіну, який має малі значення температурного коефіцієнта опору, а резистор  $R_4$  виконаний з матеріалу з великим температурним коефіцієнтом опору (мідь або нікель). Резистор  $R_4$  повинен розміщуватися поблизу вільних кінців термопари, щоб мати однакову з ними температуру.

Міст збалансований таким чином, що при температурі  $T_{sp}$  (температура градування термопари) напруга  $U_{вз}$  у вимірювальній діагоналі моста  $BГ$  дорівнює нулю. Зі зміною навколишньої температури змінюється температура холодних спаїв термопари і резистора  $R_4$ , що призводить до розбалансування моста. На діагоналі моста  $BГ$  виникає потенціал, який компенсує зміну ЕРС термопари внаслідок зміни температури холодного спаю. Однак через нелінійність характеристики термопари, повної компенсації термо-ЕРС від зміни температури холодних спаїв не вдається досягти. Недоліком цього способу температурної компенсації являється необхідність додаткового джерела постійного струму для живлення моста. У термоелектричних термометрах для вимірювання ЕРС термопари використовують також автоматичні потенціометри (рис. 4.47)



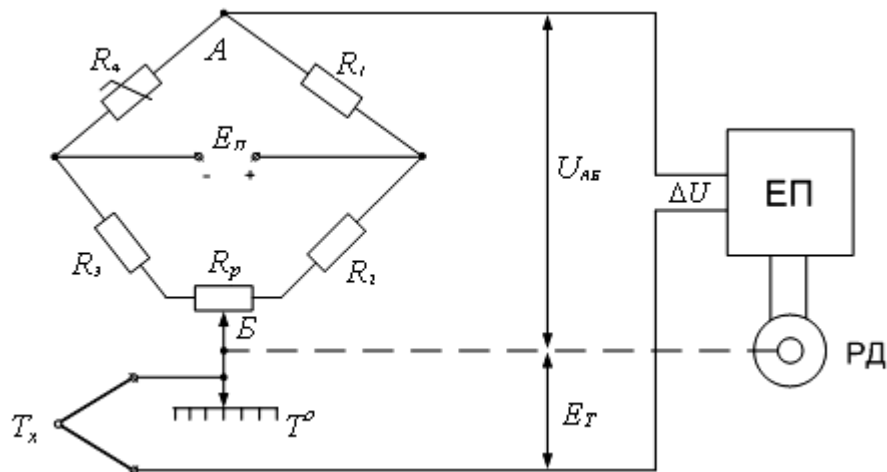


Рис. 4.47

Термопара включається таким чином, щоб її ЕРС  $E_T$  була направлена зустрічно вихідній напрузі  $U_{AB}$  потенціометра, виконаного по мостовій схемі. Напруга  $U_{AB}$  змінюється пропорційно переміщенню движка по реохорду  $R_p$ .

Різниця напруг  $\Delta U = E_T - U_{AB}$  підсилюється підсилувачем ЕП і подається на реверсивний двигун РД. Вал двигуна обертаючись переміщує движок реохорда так, щоб різниця  $\Delta U$  зменшувалась. У момент повної компенсації напруг, коли  $E_T = U_{AB}$ , вал зупиняється. Разом з переміщенням движка переміщується і стрілка приладу, який проградуєований у одиницях вимірюваної температури.

Для збільшення точності вимірювання температури міст живиться від стабілізованого джерела напруги  $E_{\pi}$ , а опори пліч моста  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  виготовляються з термостабільного матеріалу манганіну. Для автоматичного введення поправок на зміну  $E_T$  при змінах температури холодного спаю термопари в плече моста включено термозалежний опір  $R_4$  з міді. Резистор  $R_4$  знаходиться поблизу затискувачів, до яких підведені неробочі (холодні) спаї термопари.

Автоматичні потенціометри мають меншу основну похибку, ніж мілівольтметри, оскільки на них не впливають температурні зміни опору дротів і термопар.

Похибки від нелінійності характеристик термопар досягають 3%.