

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

## **МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання лабораторних робіт  
з контрольно-вимірювальних приладів та електричних вимірювань**

### **Частина III. Вимірювання неелектричних величин**

Для студентів спеціальності  
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
денної та заочної форм навчання.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

**МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання лабораторних робіт  
з контрольно-вимірювальних приладів та електричних вимірювань**

**Частина III. Вимірювання неелектричних величин**

Для студентів спеціальності  
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
денної та заочної форм навчання.

**ЗАТВЕРДЖЕНО**  
на засіданні кафедри автоматизації  
виробничих процесів,  
протокол №3 від 15.09.2022 р.

УДК 681.2(07)

Метрологія та вимірювання. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з контрольно-вимірювальних приладів та електричних вимірювань. Частина III. Вимірювання неелектричних величин. Для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. / [уклад. : В. М. Каліч, Р. В. Жесан, М. С. Мірошніченко]. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 33 с.

Укладачі:      Каліч В. М., кандидат технічних наук, професор;  
                      Жесан Р. В., кандидат технічних наук, доцент;  
                      Мірошніченко М. С., кандидат технічних наук, доцент.

Рецензент:     Сербул О. М., кандидат технічних наук, доцент.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

### Дослідження індуктивних перетворювачів.

#### 1. Мета роботи:

- 1) вивчити принцип дії та конструкції індуктивних перетворювачів;
- 2) провести дослідження індуктивних перетворювачів переміщення;
- 3) провести дослідження компенсаційних методів вимірювання переміщення;
- 4) визначити похибки вимірювань, побудувати графічні залежності.

#### 2. Короткі теоретичні відомості

Принцип дії індуктивних перетворювачів базується на перетворюванні входної величини у відповідну зміну індуктивності, за рахунок зміни параметрів магнітного кола. Вимірювальні кола з індуктивними перетворювачами повинні мати джерело живлення. Конструкції найбільш розповсюджених індуктивних перетворювачів наведено на **Рис. 7.1**.

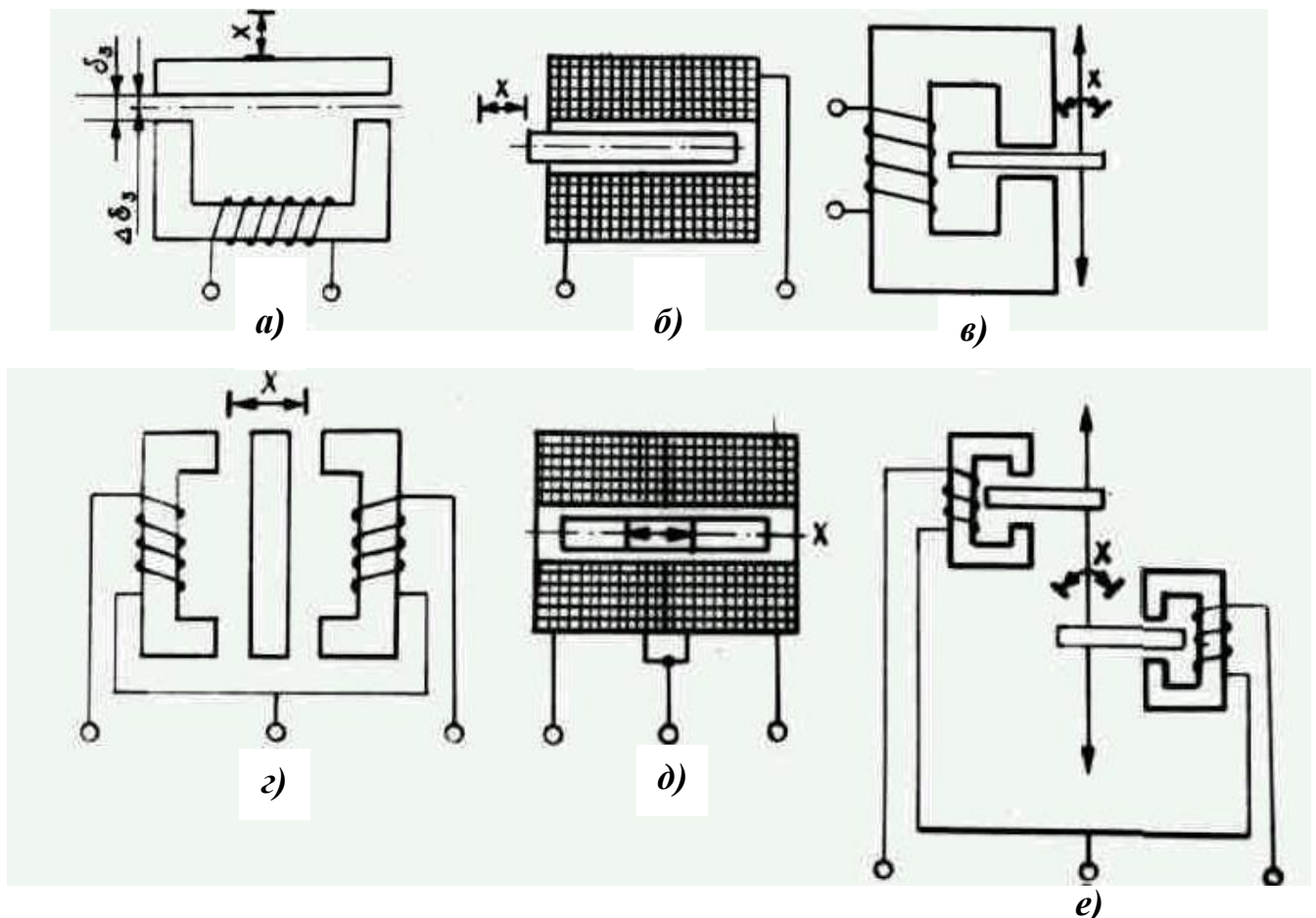


Рисунок 7.1 – Конструкції індуктивних перетворювачів

В перетворювачі, показаному на **Рис. 7.1, а)**, малий повітряний зазор  $\delta_z$  змінюється, внаслідок переміщення частини магнітопроводу під дією вимірюваної величини. В реальних перетворювачах такого типу переміщення рухомої частини зазвичай не перевищує 10 мм. У перетворювачі з розімкнутим магнітопроводом, який являє собою котушку із сталевим осердям (**Рис. 7.1, б)**), робоче переміщення може досягати 100 мм. В перетворювачі, показаному на **Рис. 7.1, в)**, індуктивність залежить від магнітного опору повітряного зазору, що змінюється рухомим немагнітним осердям. Вибором форми осердя можна отримати будь-яку залежність індуктивності від переміщення осердя. Такі перетворювачі застосовують для вимірювання кутів до  $180^\circ$ .

Процеси, що проходять в індуктивному перетворювачі при дії вимірюваної величини  $X$ , можуть бути представлені у вигляді зв'язку:

$$X \downarrow \rightarrow \delta_z \downarrow \rightarrow R_m \downarrow \rightarrow \mu \uparrow \rightarrow L \uparrow \rightarrow Z \uparrow .$$

Зміна зазору (або положення осердя) магнітного кола  $\delta_z$  впливає на магнітний опір  $R_m$ , який зв'язує значення повітряного зазору (що входить у довжину магнітопроводу  $l$ ) і магнітну проникність  $\mu$ , залежністю:

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu \cdot S} , \quad (7.1)$$

де  $\mu_0$  – магнітна проникність повітря;  $S$  – площа поперечного перерізу магнітопроводу.

*Індуктивність перетворювача* визначається відношенням повного потокозчеплення до сили струму в котушці:

$$L = \frac{W \cdot \Phi}{I} .$$

Але

$$\Phi = \frac{I \cdot W}{R_m} .$$

Тоді

$$L = \frac{W^2}{R_m} \quad \text{і} \quad L = \frac{\mu \cdot S \cdot W^2}{l} , \quad (7.2)$$

де  $W$  – кількість витків котушки в перетворювачі.

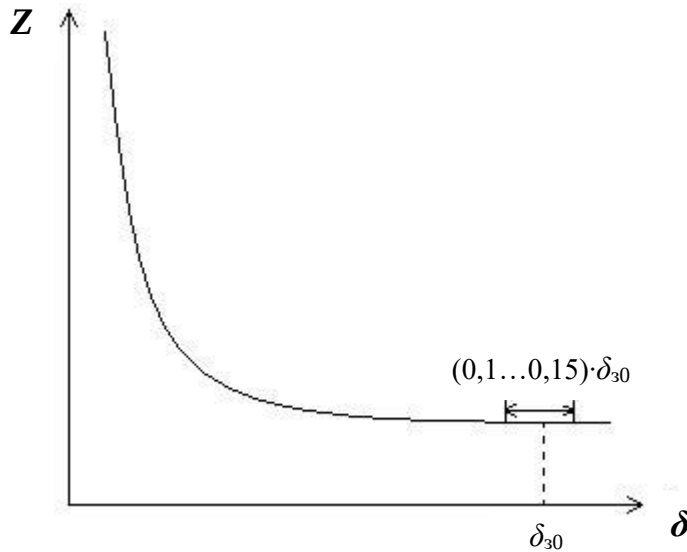
Повністю *опір перетворювача*, при нескінченно малому повітряному зазорі, визначається за формулою:

$$Z = R + J \cdot \frac{\omega \cdot W^2}{R_m + J \cdot X_m} , \quad (7.3)$$

де  $R$  – активна складова опору котушки;

$j \cdot X_m$  – реактивна складова магнітного опору.

Залежність повного опору перетворювача від повітряного зазору приведена на **Рис. 7.2**. Це – характеристика індуктивного перетворювача.



**Рисунок 7.2 – Залежність повного опору індуктивного перетворювача від повітряного зазору**

Одна з особливостей цієї залежності – *велика нелінійність*. Практично при використанні таких перетворювачів лінійна ділянка характеристики обмежується діапазоном

$$\delta_3 = (0,1 \dots 0,15) \cdot \delta_{30},$$

де  $\delta_{30}$  – значення початкового зазору.

*Нелінійність характеристики і температурний вплив* на параметри перетворювача – його *основні недоліки*.

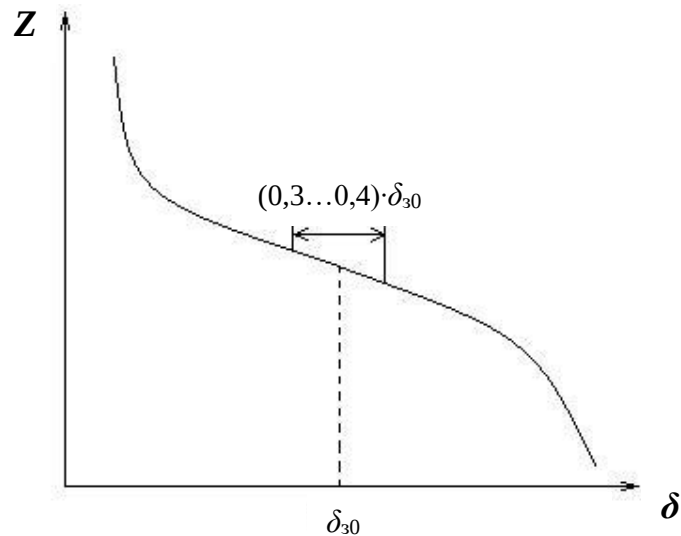
Значно кращі властивості мають перетворювачі, конструкції яких наведені на **Рис. 7.1, г), Рис. 7.1, д), Рис. 7.1, е)**. Вони отримали назву *диференціальних*. Характеристика перетворювача є лінійною у більшому, ніж звичайно, діапазоні зміни і досягає 0,3...0,4 початкової величини (**Рис. 7.3**). На їх параметри *менше впливає зміна температури*.

Широкого розповсюдження для вимірювання неелектричних параметрів, які можуть бути перетворені в переміщення, набули *диференціально-трансформаторні датчики (ДТД)*.

До *позитивних якостей* цих датчиків відносяться:

- висока чутливість, яка забезпечується за рахунок можливості виконання вторинної обмотки датчика з більшою кількістю витків;
- можливість вимірювання досить малих переміщень, за рахунок високого вихідного опору датчика, який добре узгоджується із вхідним опором

- електричного підсилювача;
- значна лінійна ділянка характеристики.

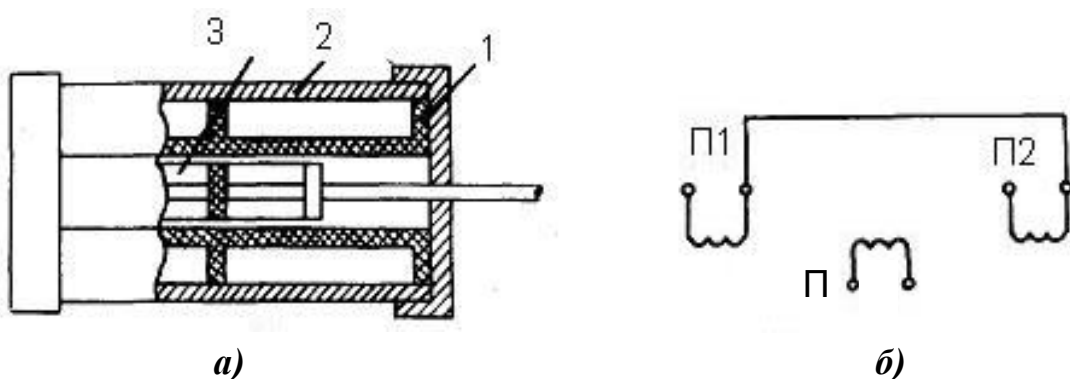


**Рисунок 7.3 – Характеристика диференціального індуктивного перетворювача**

Виділяють декілька різновидів ДТД, що відрізняються один від одного конструкцією магнітної системи:

- плоскі ДТД (з магнітопроводом плоскої форми);
- циліндричні ДТД (з магнітопроводом із круглим перерізом).

На **Рис. 7.4, а)** зображено конструкцію циліндричного ДТД.



**Рисунок 7.4 – Диференціально-трансформаторний датчик:**

**а) конструкція; б) схема електрична принципова;**

**1 – каркас; 2 – плунжер з магнітного матеріалу; 3 – сталевий плунжер;  
П – первинна котушка; П1, П2 – вторинні котушки**

Датчик складається з каркасу 1, на який намотуються обмотки, плунжера 2, виконаного з магнітного матеріалу, та сталевго плунжера 3. Каркас котушки виготовляється з прес-порошку або нержавіючої сталі.

Магнітний екран котушки значно зменшує вплив зовнішніх електромагнітних полів, ліквідує викривлення форми магнітного потоку, що виникає під дією мас

матеріалу, розміщених поблизу. Щоб уникнути утворення короткозамкненого витка, екран котушки виконується розрізним.

Розмір і матеріал плунжера обумовлюється отриманням максимального вихідного сигналу, володіючого потрібною лінійністю та мінімальним зсувом фази. Плунжер може бути виконаний у вигляді порожнистого чи суцільного циліндра з м'якої сталі або нікелевого сплаву з високою магнітною проникністю. Плунжер з'єднується із переміщуваним об'єктом за допомогою стержня, виготовленого з немагнітного матеріалу.

На каркас котушки (див. *Рис. 7.4, б*)) намотується одна первинна котушка П та дві вторинні – П1 і П2.

Первинна обмотка живиться змінним синусоїдальним струмом. Напряга на вторинних обмотках датчика змінюється, завдяки зміні коефіцієнта зв'язку, при дії вимірюваного переміщення, й виражається залежностями:

$$E_1 = E_0 \cdot \left(1 - \frac{K}{a} \cdot \Delta X\right); \quad (7.4)$$

$$E_2 = E_0 \cdot \left(1 - \frac{K}{a} \cdot \Delta X\right), \quad (7.5)$$

де  $E_0$  – е. р. с. на затискачах однієї з вторинних обмоток при розташуванні осердя в електричній нейтралі;  $K$  – коефіцієнт пропорційності, що визначає зміну е. р. с. вторинної обмотки на одиницю переміщення осердя;  $a$  – параметр, рівний відношенню  $E_0$  до е. р. с. джерела живлення первинної обмотки;  $\Delta X$  – переміщення осердя відносно електричної нейтралі.

Згідно виразів (7.4) і (7.5), переміщення плунжера можна виміряти за напругою на одній з обмоток датчика.

З виразів (7.4) і (7.5) випливає, що фаза вхідного сигналу ДТД визначається вибраною вторинною обмоткою і залежить від напрямку переміщення плунжера.

Недолік схеми: *порівняно низка чутливість*. Більш широко використовується датчик із двома вторинними обмотками, які вмикаються по диференційній схемі. Вхідний сигнал датчика при цьому:

$$U_{\text{вих}} = 2 \cdot K \cdot \Delta X \cdot E_0 = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot f \cdot I \cdot W_1 \cdot W_2 \cdot K \cdot \Delta X, \quad (7.6)$$

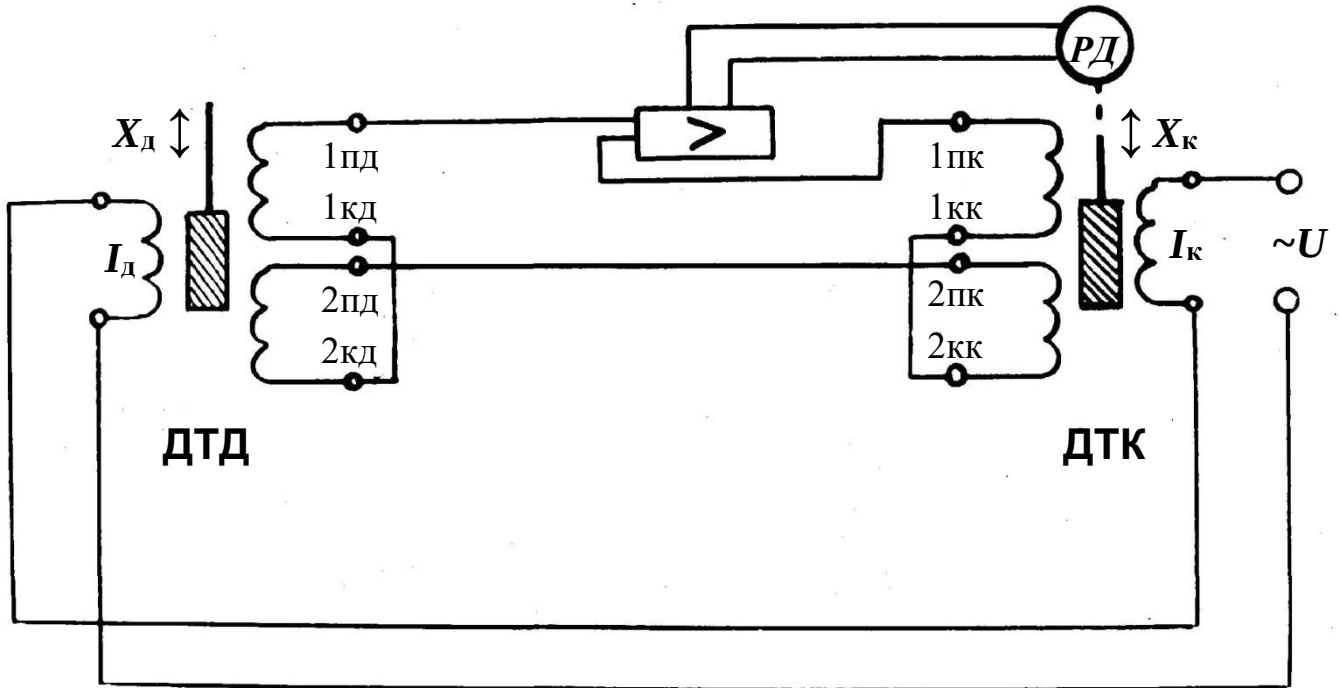
де  $f$  – частота напруги збудження;  $I$  – струм, що протікає у первинній обмотці;  $W_1$  – кількість витків первинної обмотки;  $W_2$  – кількість витків однієї з вторинних обмоток.

Як видно, чутливість датчика при зустрічному вмиканні вторинних обмоток збільшується удвічі, а фаза вихідного сигналу залежить від напрямку переміщення плунжера.

Для забезпечення найбільшої точності вимірювання неелектричних параметрів електричними методами, в автоматичному контролі широко



використовуються *компенсаційні схеми*. Компенсаційні схеми принципово можуть мати потенціометричні, феродинамічні, ємнісні та інші датчики. Компенсаційна схема вимірювання з диференціально-трансформаторними датчиками наведена на **Рис. 7.5**. Схема має диференціально-трансформаторний датчик (ДТД) неелектричної величини, яка може бути перетворена в переміщення, та ідентичний йому за всіма параметрам диференціально-трансформаторний компенсатор (ДТК).



**Рисунок 7.5 – Компенсаційна схема вмикання диференціально-трансформаторного датчика (ДТД) та диференціально-трансформаторного компенсатора (ДТК)**

Первинні обмотки ДТК та ДТД вмикаються послідовно, а їх вторинні обмотки – зустрічно. Сигнал різниці вторинних обмоток ДТД і ДТК подається на вхід електронного підсилювача. З виходу електронного підсилювача сигнал надходить до обмотки керування реверсивного двигуна (РД), ротор якого зв'язаний механічно із плунжером ДТК, а також із стрілкою вторинного приладу. Якщо різниця  $\Delta U_{\text{вих}}$  між вихідною напругою датчика  $E_{\text{д}}$  і компенсатора  $E_{\text{к}}$  дорівнює нулю

$$\Delta U_{\text{вих}} = E_{\text{д}} - E_{\text{к}} = 0 ,$$

то напруга на виході підсилювача  $U_{\text{вих}} = 0$ , струм в обмотці керування двигуна відсутній і двигун знаходиться в нерухомому стані.

При зміні вихідної напруги датчика:

$$\Delta U_{\text{вих}} = E_{\text{д}} - E_{\text{к}} \neq 0 \quad \text{і} \quad U_{\text{вих}} = K_{\text{п}} \cdot \Delta U_{\text{вих}} \neq 0 ,$$

де  $K_{\text{п}}$  – коефіцієнт підсилення електронного підсилювача.

Двигун починає переміщувати плунжер ДТК до тих пір, поки не компенсує

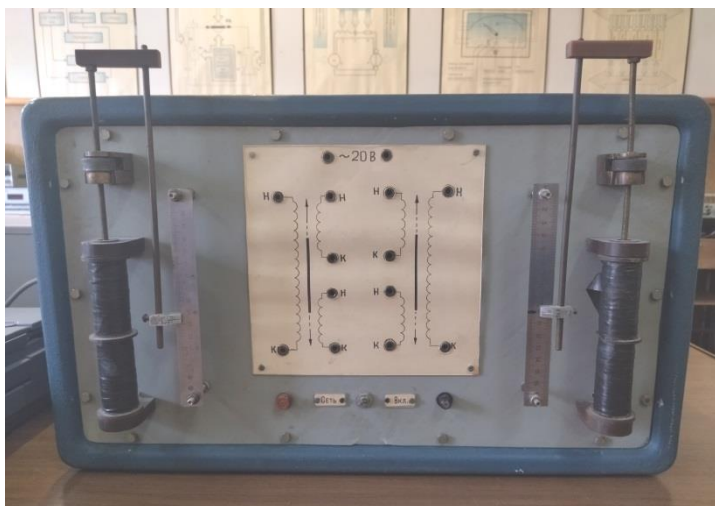
величину  $\Delta U_{\text{вих}}$ , тобто не приведе її до значення, рівного нулю:

$$\Delta U_{\text{вих}} = E_{\text{д}} - E_{\text{к}} = \sqrt{2} \cdot \omega \cdot I \cdot W_{1\text{д}} \cdot W_{2\text{д}} \cdot K_{\text{д}} \cdot \Delta X_{\text{д}} - \sqrt{2} \cdot \omega \cdot I \cdot W_{1\text{к}} \cdot W_{2\text{к}} \cdot K_{\text{к}} \cdot \Delta X_{\text{к}}. \quad (7.7)$$

З формули (7.7) випливає, що при цілком ідентичних параметрах ДТД і ДТК  $\Delta U_{\text{вих}} = 0$  при  $\Delta X_{\text{д}} = \Delta X_{\text{к}}$ , тобто про переміщення плунжера датчика можна судити за переміщенням плунжера компенсатора, або за положенням валу реверсивного двигуна РД.

### 3. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка (**Рис. 7.6**) складається з компонувального пульта, на якому розміщені диференціально-трансформаторний датчик (ДТД) і диференціально-трансформаторний компенсатор (ДТК) типу ДПЭС-Т, і мілівольтметра змінного струму ВЗ-38.



а)



б)

**Рисунок 7.6 – Лабораторна установка:**  
**а) компонувальний пульт; б) мілівольтметр ВЗ-38**

Дані датчика ДПЭС-Т:

- кількість витків первинної обмотки – 3100;
- кількість витків вторинних обмоток – 2550;
- напруга живлення первинної обмотки – 10 В;
- струм первинної обмотки – 0,12 А;
- хід плунжера – 30 мм.

## **4. Порядок виконання роботи**

### **4.1. Вмикання лабораторної установки.**

4.1.1. Ввімкнути тумблер “Сеть” мілівольтметра змінного струму ВЗ-38.

4.1.2. Тумблер “Сеть” компонувального пульта вмикати тільки (!!!) після збирання схеми і її перевірки викладачем!

### **4.2. Зняття статичної характеристики диференціально-трансформаторного датчика.**

4.2.1. Зібрати схему, зображену на *Рис. 7.7, а*).

4.2.2. Обертаючи плунжер ДТД, перевести його в положення, при якому показання вольтметра дорівнюють нулю.

4.2.3. Переміщуючи плунжер вгору (в прямому напрямку) і вниз (в зворотному напрямку) із кроком  $\Delta X = 5$  мм (за мірною лінійкою), зняти залежність  $E_{\text{вих}} = f(\Delta X)$ .

4.2.4. Результати занести до *Табл. 7.1*.

4.2.5. Зняття характеристик проводити для 6-8 точок в прямому та зворотному напрямках (повторюючи п. 4.2.3 та п. 4.2.4), до тих пір, поки покази вольтметра, при переміщенні плунжера, не перестануть змінюватись.

### **4.3. Зняття характеристик трансформаторного індуктивного датчика.**

4.3.1. Зібрати схему, зображену на *Рис. 7.7, б*).

4.3.2. Під'єднувати вольтметр по чергові до першої і другої вторинних обмоток датчика і, переміщуючи плунжер із кроком  $\Delta X_d = 5$  мм в прямому та зворотному напрямках, зняти залежності  $E_1 = f(\Delta X_d)$  і  $E_2 = f(\Delta X_d)$ .

4.3.3. Результати занести до *Табл. 7.2*.

### **4.4. Вивчення компенсаційного методу вимірювання переміщення.**

4.4.1. Зібрати схему, зображену на *Рис. 7.7, в*).

4.4.2. Встановити плунжери ДТД і ДТК в положення, коли показання вольтметра дорівнюють нулю

4.4.3. Переміщуючи плунжер датчика вгору із кроком  $\Delta X_d = 5$  мм, досягнути компенсації показань вольтметра за допомогою плунжера компенсатора.

4.4.4. Аналогічні вимірювання провести при переміщенні плунжера датчика вниз.

4.4.5. Результати занести до *Табл. 7.3*.

4.4.6. Зняття характеристик проводити для 6-8 точок (повторюючи п. 4.4.3 – п. 4.2.4).

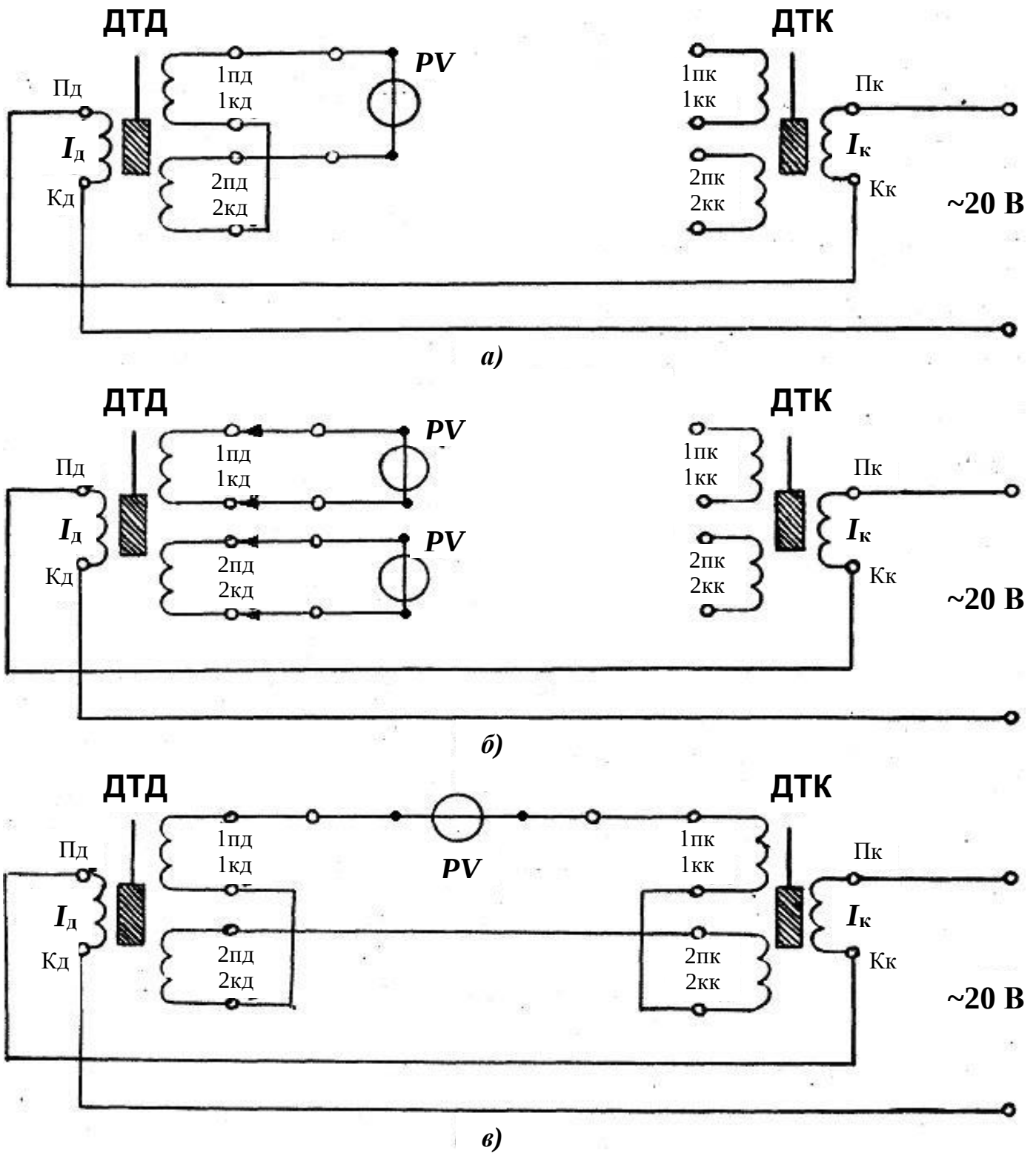


Рисунок 7.7 – Схеми вмикання ДТ-датчика і ДТ-компенсатора у лабораторній установці

### Таблица 7.1

### *Результати зняття статичної характеристики диференціально-трансформаторного датчика*

[illegible]

**Таблица 7.2**

### Результати зняття статичної характеристики індуктивного датчика

[illegible]

**Таблиця 7.3**

**Результати зняття статичної характеристики  
компенсаційного методу вимірювання**

|                                                     |            |   |   |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------------------------|------------|---|---|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Переміщення плунжера датчика $\Delta X_d$ , мм      |            | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | -5 | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 |
| Переміщення плунжера компенсатора $\Delta X_k$ , мм | прямому    |   |   |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
|                                                     | зворотному |   |   |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
| Середнє значення $\Delta X_{k \text{ сер.}}$ , мм   |            |   |   |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
| Абсолютна похибка $\Delta X_k$ , мм                 |            |   |   |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |

**4.5. Обробка результатів і побудова графіків.**

4.5.1. За даними таблиць **Табл. 7.1 – Табл. 7.3** визначити:

– абсолютну похибку в кожній точці:

$$\Delta E = \frac{E_{\text{пр.}} - E_{\text{звор.}}}{2} ; \quad \Delta \bar{X}_k = \frac{X_{\text{к.пр.}} - X_{\text{к.звор.}}}{2} ;$$

– середнє значення (математичне сподівання) абсолютної похибки:

$$\Delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta i ,$$

де  $n$  – кількість вимірюваних точок;  $\Delta i$  – абсолютна похибка у  $i$ -й точці;

– середню квадратичну похибку:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta i^2}{n-1}} .$$

4.5.2. За даними таблиць **Табл. 7.1 – Табл. 7.3** побудувати графіки отриманих залежностей.

4.5.3. Для схем, зображених на **Рис. 7.7, а)** та **Рис. 7.7, б)**, визначити чутливість датчика на лінійній ділянці характеристики:

$$S = \frac{dE}{dX_d} \approx \frac{\Delta E}{\Delta X_d}$$

і зробити висновок про переваги тієї чи іншої схеми.

## 5. Зміст звіту.

За результатами виконання лабораторної роботи складається письмовий звіт, який містить:

1. Назву роботи та її мету.
2. Схеми вмикання ДТД і ДТК (**Рис. 7.7**).
3. Формули для обчислень.
4. Таблиці з результатами вимірювань та обчислень.
5. Графічні залежності:  $E_d = f(\Delta X_d)$ ;  $E_{d1} = f(\Delta X_d)$ ,  $E_{d2} = f(\Delta X_d)$ ,  $X_k = f(\Delta X_d)$ .
6. Висновок про переваги тієї чи іншої схеми, зображеної на **Рис. 7.7**.
7. Короткі загальні висновки по роботі.

## 6. Контрольні питання.

1. Принцип дії індуктивних перетворювачів (датчиків).
2. Принцип дії ДТД переміщення.
3. Які існують конструкції індуктивних перетворювачів?
4. В чому суть процесів, які відбуваються в індуктивному датчику при дії вимірюваної величини?
5. Як залежить повний опір індуктивного перетворювача від повітряного зазору?
6. Основні недоліки індуктивних перетворювачів.
7. Основні переваги ДТД.
8. Конструкція циліндричного ДТД.
9. Як змінюється чутливість ДТД при зустрічному вмиканні вторинних обмоток?
10. Поясніть статичну характеристику ДТД.
11. В чому суть компенсаційного методу вимірювання переміщення?

## 7. Список літератури.

1. Поліщук Є. С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин : підруч. Львів : Вид-во Держ. ун-ту «Львівська політехніка», 2000. 360 с.

2. Поліщук Є. С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин : підруч. Львів : Бескид Біт, 2008. 618 с.
3. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Долгополов В. П., Грумінська Л. В. Метрологія та вимірювальна техніка : навч. посіб. Вінниця : УНИВЕРСУМ, 2004. 252 с.
4. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В. Основи метрології та електричних вимірювань : підруч.. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. 538 с.
5. Обозовський С. С. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальної техніки (Загальні питання і теорія похибок) : навч. посіб. Київ : НМК ВО, 1991. 223 с.
6. Нестерчук Д. М., Квітка С. О., Галько С. В. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин : навч. посіб. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. 206 с.
7. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А. Основи метрології та вимірювальної техніки : підруч. У 2 т. / за ред.: Б. Стадника. Т. 1: Основи метрології. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2005. 532 с.
8. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А. Основи метрології та вимірювальної техніки : підруч. У 2 т. / за ред.: Б. Стадника. Т. 2: Вимірювальна техніка. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2005. 656 с.
9. Дорожовець М. М. Опрацювання результатів вимірювань : навч. посіб. Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2007. 624 с.
10. Квартин М. И. Электромеханические и магнитные устройства автоматики : учеб. 2-е изд., перераб. Москва : Высшая школа, 1979. 352 с.
11. Кованько В. В., Древецький В. В., Христюк А. О. Загальнотехнічні вимірювання і прилади : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2013. 189 с.
12. Сусліков Л. М., Студеняк І. П. Первинні вимірювальні перетворювачі фізичних величин : навч. посіб. Ужгород : Вид-во УжНУ, 2018. 311 с.



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

### Дослідження перетворювачів температури.

#### 1. Мета роботи:

- 1) вивчити різновиди та галузі використання перетворювачів температури;
- 2) вивчити принцип дії та конструкції електричних термометрів;
- 3) дослідити напівпровідникові терморезистори.

#### 2. Короткі теоретичні відомості

Температуру нагрітого тіла, рідини, газу визначають, вимірюючи фізичні параметри або самого контрольованого середовища, або спеціального елемента, який сприймає зміну температури і знаходиться у тепловому контакті з цим середовищем.

На практиці в якості термосприймаючих елементів (перетворювачів температури) застосовуються термочутливі перетворювачі (терморезистори) та термоелектричні перетворювачі (термопари).

##### 2.1. Термочутливі перетворювачі.

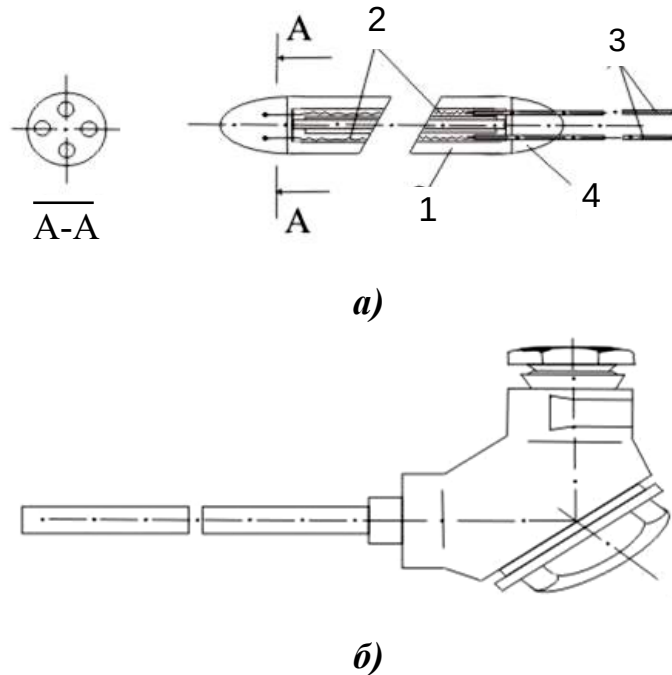
Принцип дії *термочутливих перетворювачів (терморезисторів)* оснований на залежності електричного опору провідників чи напівпровідників від їх температури, тобто від температури середовища, в яке поміщено терморезистор.

Для вимірювання температури найбільшого розповсюдження набули терморезистори, виконані з платинового або мідного дроту. Стандартні платинові терморезистори застосовуються для вимірювання температури в діапазоні від  $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а мідні – в діапазоні від  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ГОСТ 6651-78). Крім платини та міді іноді застосовують нікель.

На **Рис. 8.1, а)** показано конструкцію платинового терморезистора.

В каналах керамічної трубки 1 розміщені дві (або чотири) секції спіралі 2 з платинового дроту, з'єднані між собою послідовно. До кінців спіралі припаяні виводи 3, які використовуються для під'єднання терморезистора до вимірювального кола. Кріплення виводів та герметизацію керамічної трубки виконують за допомогою глазурі 4. Канали трубки засипають порошком безводного оксиду алюмінію, що виконує роль ізолятора та фіксатора спіралі. Порошок безводного оксиду алюмінію, який має високу теплопровідність та малу теплоємність, забезпечує добру передачу теплоти й малу інертність терморезистора. Для захисту

терморезистора від механічного і хімічного впливу зовнішнього середовища його поміщають до захисної арматури з нержавіючої сталі (**Рис. 8.1, б**)).



**Рисунок 8.1 – Платиновий терморезистор:**  
**а) конструкція; б) зовнішній вигляд арматури;**

**1 – керамічна трубка; 2 – спіралі; 3 – виводи; 4 – герметизуюча глазур**

Опір провідника  $R_t$  електричному струмові залежить від температури провідника  $t$  і визначається за співвідношенням:

$$R_t = R_0 \cdot [1 + \alpha_0 \cdot (t - t_0)] , \quad (8.1)$$

де  $R_0$  – опір провідника при температурі  $t_0$ ;  $\alpha_0$  – температурний коефіцієнт електричного опору (ТКО), який показує відносну зміну опору провідника, при зміні його температури на 1 °С (або на 1 °K).

Чутливість металевого (дротяного) терморезистора визначається з виразу:

$$K = \frac{\Delta R}{\Delta t} = R_0 \cdot \alpha_0 . \quad (8.2)$$

Чутливість може бути збільшена шляхом вибору матеріалу із більшим ТКО й опором (із меншим діаметром та більшою довжиною дроту). Датчики з металевими терморезисторами використовуються для вимірювання температур газового середовища та рідини.

Основні похибки дротяних температурних датчиків обумовлюються нестійкістю електричних властивостей матеріалу резистора та умовами використання. Точність цього типу датчиків (разом з індикаторним приладом) складає 1-1,5 %. Важливим недоліком таких датчиків є їх інерційність. Стала часу  $\tau$ ,

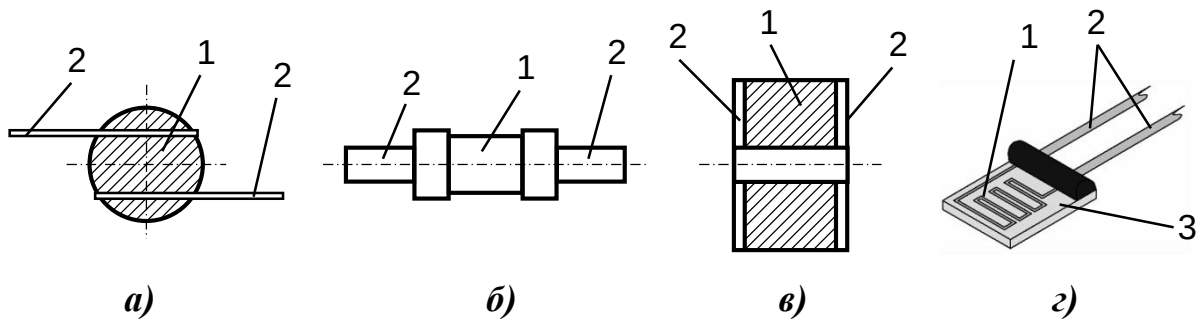
в залежності від діаметру дроту та конструкції датчика, може бути від 0,05 с до 5 с і більше.

Напівпровідникові (НП) терморезистори володіють значно більшою чутливістю, ніж металеві. Серійно випускаються дві групи НП-терморезисторів:

- з негативним ТКО – *термістори*;
- з позитивним ТКО – *позистори*;

У термісторів сприймаючий орган виготовлено з мідномарганцевих чи кобальтомарганцевих напівпровідникових дротів із спеціальними добавками. В залежності від матеріалу, термістори діляться на *мідномарганцеві ММТ* та *кобальтомарганцеві КМТ*, які можуть працювати в колах як змінного, так і постійного струму.

На **Рис. 8.2** показано конструктивне виконання термісторів.



**Рисунок 8.2 – Конструктивні форми виконання напівпровідникових терморезисторів (термісторів):**

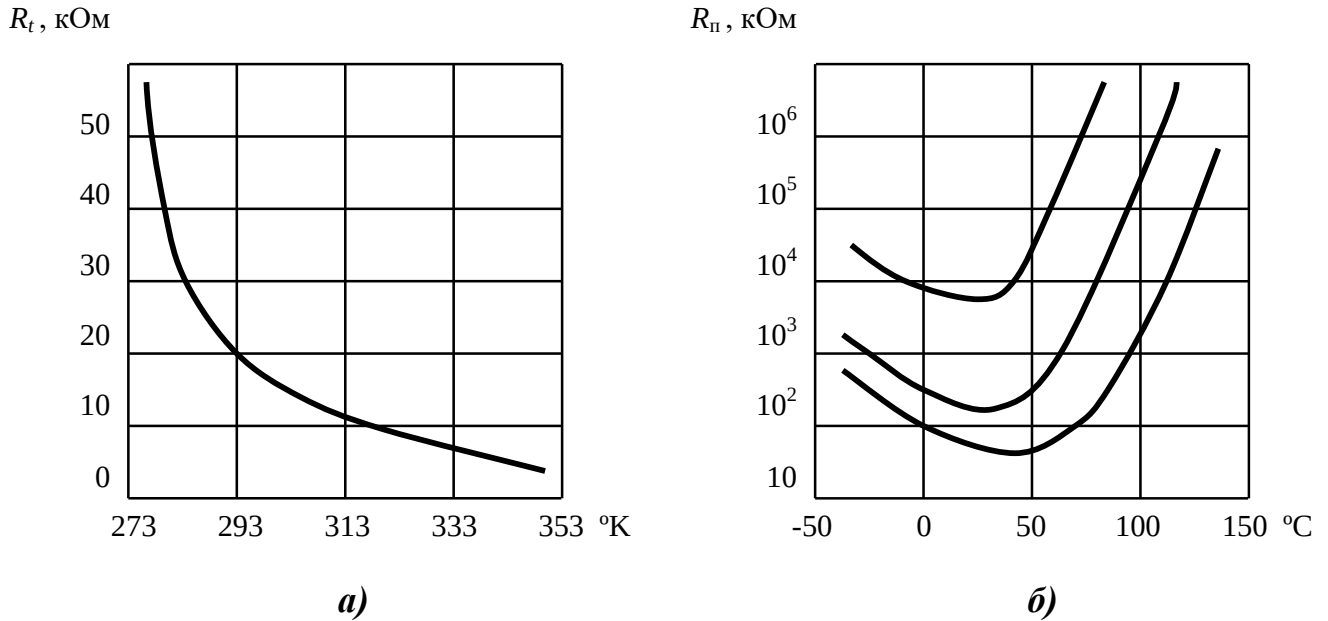
**а) намістинкові; б) трубчасті; в) дискові; г) плівкові;**  
**1 – напівпровідниковий матеріал; 2 – виводи; 3 – підкладка**

Найбільш розповсюджені конструкції термісторів являють собою кульку (намістинку) (**Рис. 8.2, а**)), трубку (**Рис. 8.2, б**)) чи диск (**Рис. 8.2, в**)) з напівпровідникового матеріалу 1 із металевими виводами 2. Останнім часом, із розвитком мікроелектронних технологій, набувають поширення плівкові термістори (**Рис. 8.2, г**)), в яких напівпровідниковий матеріал вирощується тонким шаром (плівкою) на підкладці 3. Для захисту від дії вологи термістори покривають лаком чи склом, а інколи навіть розміщують в закритих скляних балонах.

Залежність опору термістора від температури ілюструє графік (**Рис. 8.3, а**)). Ця залежність описується рівнянням:

$$R_t = A \cdot e^{\frac{B}{T}}, \quad (8.3)$$

де  $R_t$  – величина опору терморезистора при температурі  $T$  °К;  $A$  – стала, що залежить від фізичних властивостей матеріалу і габаритів терморезистора;  $B$  – стала, що залежить від фізичних властивостей матеріалу і характеризує *термочутливість* терморезистора.



**Рисунок 8.3 – Температурні характеристики НП-терморезисторів:  
а) термістора; б) позистора**

Чутливість термістора визначається за співвідношенням:

$$K_d = \frac{dR_t}{dt} = \alpha \cdot R_t, \quad (8.4)$$

де  $\alpha$  – ТКО термістора ( $\alpha = -\frac{B}{T^2}$ ).

ТКО термістора в 6-10 разів більший, ніж у дрітного терморезистора.

Позистор – терморезистор з більшим позитивним ТКО. Позистори виготовляють з титаніту барію із спеціально підібраними домішками, які надають йому властивості напівпровідника з різкою залежністю опору від температури. Позитивний ТКО позисторів у 3-4 рази більше, ніж у термісторів, а їх стала часу в 5-6 разів менша.

Температурна характеристика позисторів наведена на **Рис. 8.3, б**).

Температурна характеристика розподіляється на дві ділянки:

- перша ділянка від 0 °C до температури точки Кюрі ( $T_K$ ), при якій спостерігається різке зростання опору позистора;
- друга – від температури  $T_K$  до 120 °C.

Перша ділянка описується рівнянням:

$$R_\pi = A \cdot e^{B \cdot (T - T_{\text{поч}})} + R_{\text{поч}}, \quad (8.5)$$

а друга ділянка описується рівнянням:

$$R_\pi = \alpha \cdot (T - T_K)^\beta + R_K, \quad (8.6)$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  – сталі коефіцієнти, що визначаються за експериментальними точками;  $R_{\text{поч}}$  і  $R_K$  – опір позистора, відповідно, при початковій температурі  $T_{\text{поч}}$  та температурі точки Кюрі  $T_K$ .

Основними параметрами НП-терморезисторів є:

- $\alpha$  – величина ТКО,  $1/^\circ\text{C}$ ;
- $\tau$  – стала часу, що характеризує теплову інертність терморезистора, с (вона дорівнює часу, протягом якого температура терморезистора змінюється на 63 % від різниці температур зразка та оточуючого середовища; частіше різницю температур беруть рівною  $100^\circ\text{C}$ );
- $P_{\text{max}}$  – максимально допустима потужність розсіювання, Вт (мВт);
- $H$  – коефіцієнт розсіювання,  $\text{Вт}/^\circ\text{C}$ ;
- $C$  – теплоємність,  $\text{Дж}/^\circ\text{C}$ .

Параметри  $\tau$ ,  $H$  і  $C$  пов'язані між собою співвідношенням:

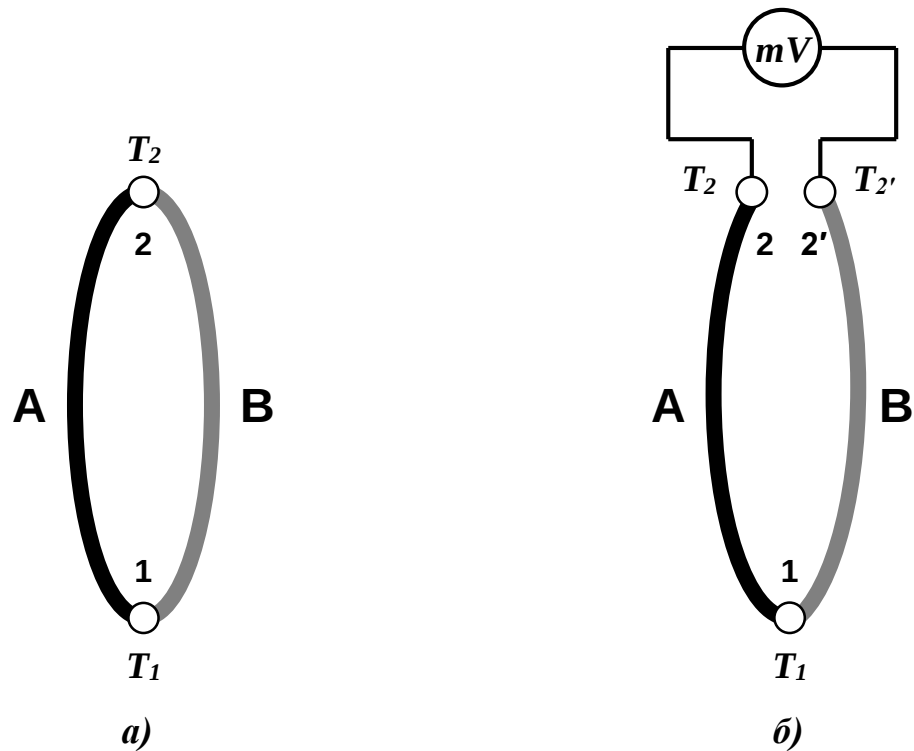
$$\tau = \frac{C}{H} . \quad (8.7)$$

## 2.2. Термоелектричні перетворювачі.

Робота *термоелектричних перетворювачів (термопар)* базується на залежності термо-ЕРС в колі, що складається з двох різних провідників або напівпровідників  $A$  та  $B$  від різниці температур в спаях **1** та **2** (*Рис. 8.4, а*). Якщо підтримувати температуру холодного спаю  $T_2$  постійною, то ЕРС термопари буде функцією температури робочого (гарячого) спаю **1**, тобто температури об'єкту вимірювання.

Отже, вимірювання температури зводиться до вимірювань ЕРС термопари. В якості вимірювачів служать мілівольтметри постійного струму, котрі включаються в розрив холодного спаю **2** (кінці **2** та **2'**), як показано на *Рис. 8.4, б*). Величина ЕРС залежить від матеріалу обох провідників. Точку з'єднання провідників (електродів) **1** називають робочим спаєм термопари, точки **2** і **2'** – вільними кінцями. Значення термо-ЕРС різних матеріалів визначається в парі з яким-небудь еталонним матеріалом (зазвичай таким матеріалом є платина). Нижче наводиться *Табл. 8.1* із переліком деяких матеріалів, що застосовується в термопарах, і значеннями їх термо-ЕРС в парі з платиною при  $T_1 = 100^\circ\text{C}$  і  $T_2 = 0^\circ\text{C}$ . Термо-ЕРС термопари, виготовленої з двох матеріалів, підраховується, як різниця термо-ЕРС цих матеріалів, визначених у парі з платиною. Наприклад, термо-ЕРС пари хромель-алюмель на  $100^\circ\text{C}$  при  $t = 0^\circ\text{C}$  буде дорівнювати:

$$E = E_{\text{хромель}} - E_{\text{алюмель}} = 2,95 - (-1,15) = 4,1 \text{ мВ}.$$



**Рисунок 8.4 – Термоелектричний перетворювач (термопара):**  
**а) будова; б) під'єднання вимірювального приладу;**  
**А та В – різні провідники або напівпровідники; 1 – робочий (гарячий)**  
**спай із температурою  $T_1$ ; 2 – холодний спай (або кінець) із**  
**температурою  $T_2$ ; 2' – холодний кінець із температурою  $T_2'$**

**Таблиця 8.1**

**Деякі матеріали, використовувані в термопарах, і значення їх термо-ЕРС в парі з платиною при  $T_1 = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $T_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$**

| Матеріал                                                    | Термо-ЕРС, мВ |
|-------------------------------------------------------------|---------------|
| Платина                                                     | 0,0           |
| Телур                                                       | 40,0          |
| Сурма                                                       | 4,8           |
| Хромель (90 % Ni + 10 % Cr)                                 | 2,95          |
| Ніхром                                                      | 2,2           |
| Залізо                                                      | 1,8           |
| Мідь-золото                                                 | 0,75          |
| Платинородій                                                | 0,84          |
| Іридій                                                      | 0,65          |
| Алюмель (94,83 % Ni + 2 % Al + 2 % Mn + 1 % Si + 0,17 % Fe) | -1,15         |
| Константан                                                  | -3,5          |
| Копель (156 % Cu + 7,44 % Ni)                               | -4,0          |

При практичному використанні термоелектричних термометрів температура вільних кінців термопар звичайно не дорівнює 0 °С, і тому необхідно вводити поправку. Це здійснюється за допомогою спеціальних схем температурної компенсації.

Для вимірювання температури зараз використовують термопар, виготовлені зі спеціальних сплавів. У **Табл. 8.2** приведені характеристики сучасних термопар.

**Таблиця 8.2**

**Характеристики сучасних термопар**

| Тип термопар | Матеріал електродів термопар                           | Термо-ЕРС при<br>$T_1 = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$<br>$T_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | Верхня межа вимірюваної температури, °С |              |
|--------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------|
|              |                                                        |                                                                                           | довгочасно                              | короткочасно |
| ТПП          | Платинородій (10 % родію) - платина                    | 0,64                                                                                      | 1300                                    | 1600         |
| ТПР          | Платинородій (30 % родію) - платинородій (6 % родію)   | 13,18<br>(при $T = 1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ )                                        | 1600                                    | 1800         |
| ТХА          | Хромель-алюмель                                        | 4,1                                                                                       | 1000                                    | 1300         |
| ТХК          | Хромель-копель                                         | 6,9                                                                                       | 600                                     | 800          |
| ТВР          | Вольфрамрений (5 % ренію) - вольфрамрений (20 % ренію) | 1,33                                                                                      | 2200                                    | 2500         |

В теперішній час у промисловості використовується досить велика кількість різноманітних термопар, побудованих з різних пар матеріалів. При виборі термопар, для використання у тих чи інших умовах вимірювань, до термоелектронних матеріалів ставиться ряд вимог:

- механічна міцність та жаростійкість;
- хімічна стійкість;
- стабільність та лінійність характеристики;
- висока чутливість.

Наприклад, із зростанням температури зменшується механічна міцність термоелектронів і збільшується хімічна активність електродів, що контактують із матеріалами та середовищем.

Термопары платинової групи добре працюють у нейтральних та окислювальних середовищах, але швидко руйнуються у відновних середовищах (за присутності водню) при температурах понад 500 °С. Термопары ж на основі молибдену, вольфраму, ренію та їх сплавів, навпаки, добре працюють у відновних середовищах і швидко виходять з ладу у окислювальних середовищах.

Для вимірювання високих температур використовують термопары з

неблагородних матеріалів – типів ТХА, ТХК і ТВР. Термопары з благородних матеріалів (ТПП і ТПР) використовують при вимірюваннях із підвищеною точністю.

Для захисту від зовнішніх впливів (тиску, агресивних газів тощо) електроди термопар поміщають в захисну арматуру, конструктивно подібну до арматури терморезистора (*Рис. 8.5*).



**Рисунок 8.5 – Приклади арматур сучасних термопар**

Термопары володіють високою інерційністю. Термопары в звичайній арматурі мають показник теплової інерції порядку кількох хвилин. Все більшого поширення набувають *малоінерційні термопары*, у яких показник теплової інерції менше 40 с.

### **2.3. Прилади для вимірювання температури.**

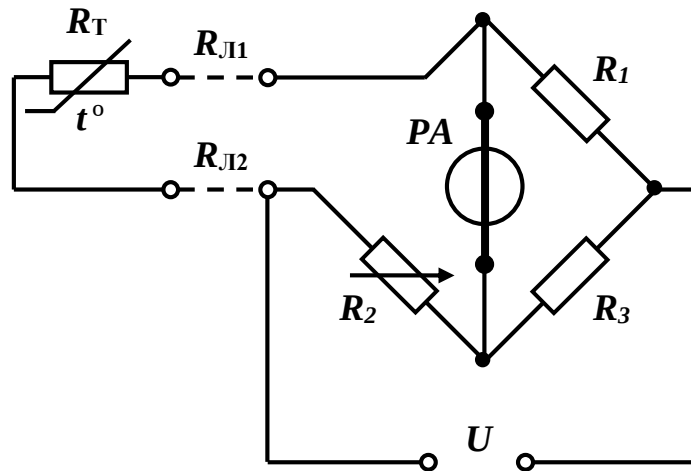
Електричні прилади, що призначені для вимірювання температури, називають *електричними термометрами*.

*Електричний термометр* являє собою сполучення (комплект) перетворювачів температури (терморезистора, термопары тощо) із електричним вимірювальним приладом. В залежності від типу використовуваного перетворювача, прилади називають *термометрами опору* або *термоелектричними термометрами*.

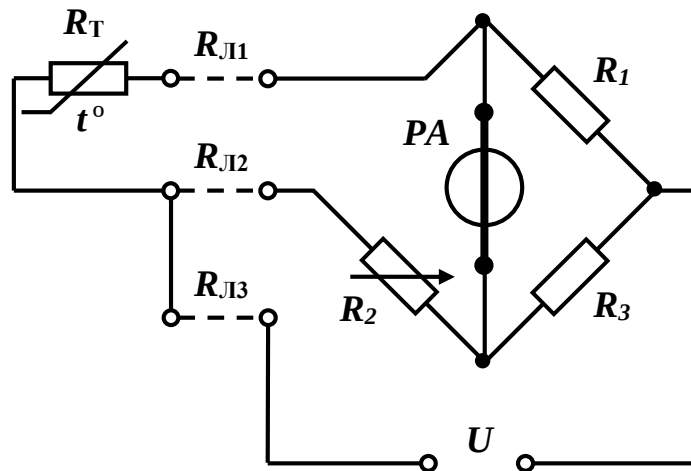
*Електричні термометри опору* складаються з перетворювача, вимірювальної схеми та вимірювача. Перетворювачами служать провідникові терморезистори (мідь, платина) або напівпровідникові терморезистори (термістори). Вимірювальна схема – мостове коло у врівноваженому або у неуврівноваженому режимі. В якості вимірювача використовують магнітоелектричний однорамковий прилад або логометр. У сучасних приладах часто використовують також автоматичні самоврівноважувальні мости. Деякі вимірювальні схеми термометрів опору показані на *Рис. 8.6*.



Терморезистор може бути під'єднаний до вимірювального мосту за двопровідною або трипровідною схемою.



а)



б)

**Рисунок 8.6 – Мостові вимірювальні схеми вмикання термометру опору:**  
**а) двопровідна; б) трипровідна**

Якщо терморезистор ввімкнений в одне з плечей мосту за допомогою двох проводів (Рис. 8.6, а)), то, за рахунок зміни опору проводів, при коливанні оточуючої температури виникає похибка:

$$\Delta T = \frac{\Delta R_{\text{л}}}{R_{\text{пер}} \cdot \alpha_{\text{пер}}}, \quad (8.8)$$

де  $\Delta R_{\text{л}} = \Delta R_{\text{л1}} + \Delta R_{\text{л2}}$  – зміна опору з'єднувальних проводів (ліній);  $R_{\text{пер}}$  – початковий (при  $T = 20^\circ\text{C}$ ) опір перетворювача (терморезистора);  $\alpha_{\text{пер}}$  – ТКО перетворювача (терморезистора).

Щоб зменшити похибку  $\Delta T$ , застосовують не два, а три з'єднувальних проводи (**Рис. 8.6, б**). В такій схемі два проводи ввімкнені у сусідні плечі мосту, а третій – у діагональ живлення. При роботі схеми у зрівноваженому режимі та виконанні умов:

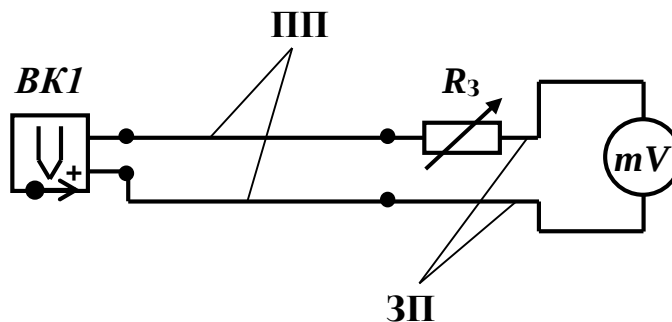
$$R_1 = R_3 \text{ та } R_{Л1} = R_{Л2},$$

похибка від зміни опору проводів *відсутня*.

Термоелектричні термометри призначені вимірювати температури в діапазоні 650-1800 °С і складаються з термоелектричного перетворювача, у вигляді мілівольтметра або потенціометра (компенсатора). Мілівольтметри термоелектричних термометрів майже завжди градуюються в градусах температурної шкали під обумовлену термопару для зовнішнього опору.

Тому вимірювач потрібно приєднати до термопару спеціальними з'єднувальними і подовжувальними проводами.

На **Рис. 8.7** наведена схема термоелектричного термометра із мілівольтметром.



**Рисунок 8.7 – Термоелектричний термометр на основі термопару.**

**Схема електрична принципова:**

**BK1 – датчик-вимірювач температури (термопара);**

**R<sub>3</sub> – зрівноважувальний резистор; ПП – подовжувальні проводи;**

**ЗП – з'єднувальні проводи**

Покази мілівольтметра:

$$U = \frac{E_{ТП} \cdot R_{mV}}{R_{ЗОВН} + R_{mV}}, \quad (8.9)$$

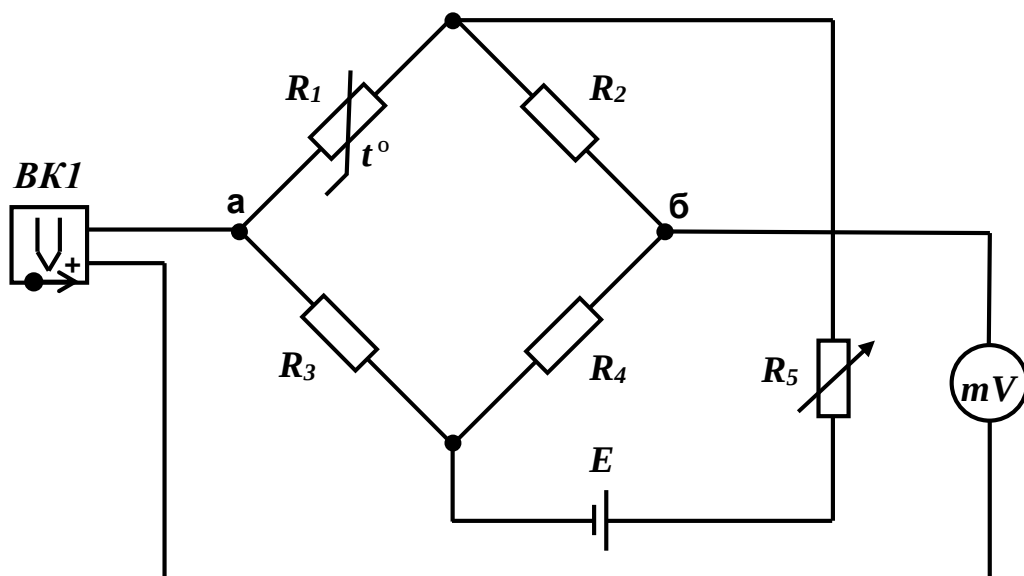
де  $E_{ТП}$  – ЕРС термопару;  $R_{ЗОВН}$  – зовнішній опір ( $R_{ЗОВН} = R_{ТП} + R_{ПР} + R_3$ ;  $R_{ТП}$  – опір термопару;  $R_{ПР}$  – опір проводів;  $R_3$  – опір зрівноважувального резистору);  $R_{mV}$  – опір мілівольтметра.

Як видно з (8.9), покази мілівольтметра при постійних  $R_{ЗОВН}$  та  $R_{mV}$  визначаються значенням ЕРС термопару, отже, і вимірюваною температурою. В цьому випадку шкала приладу може бути градуйована у градусах із зазначенням

типу термопар і обраного значення зовнішнього опору. Для підгонки зовнішнього опору до значення, при якому проводилося градуювання (0,6 Ом; 5 Ом; 15 Ом та 25 Ом), використовують зрівнювальний резистор.

Щоб зменшити можливі похибки вимірювання від впливу зміни опору термопар і проводів, доцільно застосовувати мілівольтметри із великим опором, тобто з малим споживанням. При роботі з термопарами необхідно вводити поправки на зміну температури вільних кінців.

На **Рис. 8.8** наведена схема термометра з автоматичним введенням поправки. Для цього послідовно в коло термопар і мілівольтметра вмикають неврівноважений міст, у якому резистор  $R_1$  виконано з міді і який знаходиться в зоні, що має температуру вільних кінців термопар  $BK1$ ; резистори  $R_2$ ,  $R_3$  та  $R_4$  виконані з манганіну – термостабільного сплаву на основі міді (близько 85 %) з додаванням марганцю (11,5-13,5 %) та нікелю (2,5-3,5 %). При градуюванні термометру міст знаходиться у врівноваженому стані. В процесі, при відхиленні температури вільних кінців термопар від значення температури, при якій здійснювалось градуювання, на діагоналі мосту **аб** з'являється різниця потенціалів, яка додається до термо-ЕРС термопар. Параметри мосту підібрані так, що зміна термо-ЕРС від коливання температури вільних кінців практично повністю компенсується напругою, яка знімається з мосту. Чутливість мосту регулюється за допомогою резистора  $R_5$ .

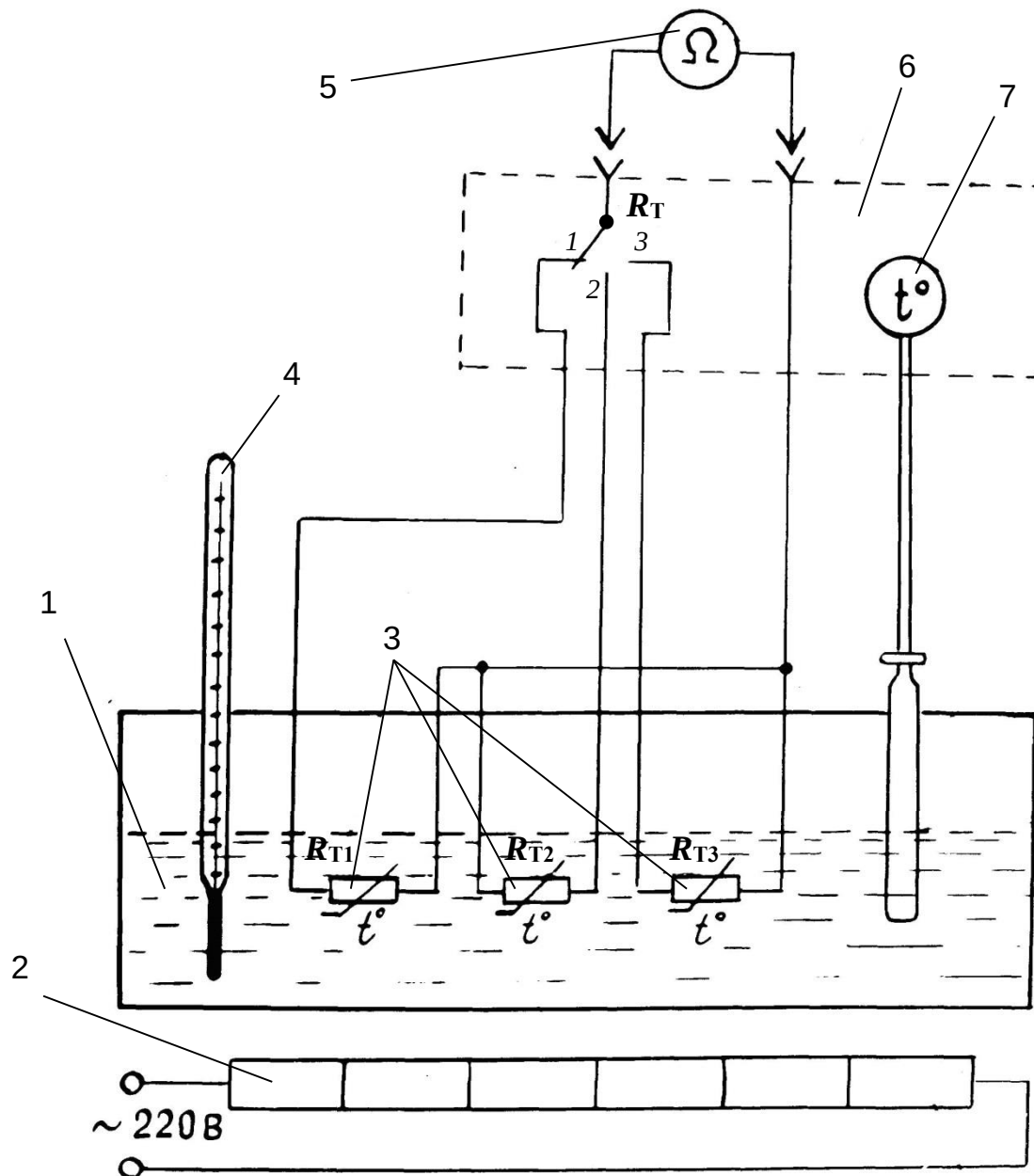


**Рисунок 8.8 – Термоелектричний термометр з автоматичним введенням поправки на зміну температури вільних кінців термопар.**

**Схема електрична принципова**

### 3. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка для дослідження параметрів терморезистора (**Рис. 8.9**) складається з посудини 1, яка заповнена водою, електронагрівального елементу 2, терморезисторів 3, ртутного термометра 4, цифрового приладу (типу В 7-20) 5 та компонувального пульта 6, манометричного термометра 7.



**Рисунок 8.9 – Схема лабораторної установки:**

- 1 – посудина з водою; 2 – електронагрівальний елемент;  
3 – терморезистори; 4 – ртутний термометр; 5 – цифровий прилад;  
6 – компонувальний пульт; 7 – манометричний термометр

Ртутний термометр використовується для вимірювання дійсної температури середовища, в яке поміщено терморезистори (тобто для вимірювання температури термісторів). Компонувальний пульт служить для монтажу на ньому манометричного термометра 7, а. також з'єднувальної та комутуючої електроарматури.

В установці використовують термістори типу ММТ-8 ( $R_{T1}$ ), ММТ-4 ( $R_{T2}$ ), КМТ-14 ( $R_{T3}$ ), основні параметри яких приведено у **Табл. 8.3**. ММТ-4 та КМТ-14 використовують для вимірювання і регулювання температури, а ММТ-8 – для температурної компенсації.

**Таблиця 8.3**

**Основні характеристики терморезисторів,  
використаних у лабораторній установці**

| Терморезистори |        | $R_{ном}$ , кОм<br>(при 20 °C)                                           | Стала $B$ , °K | $\alpha_T$ , %/°C<br>(при 20 °C) | Діапазон<br>робочих<br>температур, °C | $P_{max}$ , мВт<br>(не більше) |                  | $H_{мВт/°C}$ | $\tau$ , с<br>(не більше)            |
|----------------|--------|--------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|------------------|--------------|--------------------------------------|
| Познач.        | Тип    |                                                                          |                |                                  |                                       | при<br>$T_{ном}$               | при<br>$T_{max}$ |              |                                      |
| $R_{T1}$       | ММТ-8  | 0,001 - 1                                                                | 2060 - 3430    | 2,4 - 4                          | -60...70                              | 600                            | 2                | 13           | 900                                  |
| $R_{T2}$       | ММТ-4  | 1 - 220                                                                  | 2060 - 4300    | 2,4 - 5                          | -60...125                             | 550                            | 0,5              | 6            | 115                                  |
| $R_{T3}$       | КМТ-14 | 0,51;<br>0,91;<br>160;<br>200;<br>330;<br>4300;<br>7500<br>при<br>150 °C | 4100 - 7000    | 2,3 - 3,9<br>при<br>150 °C       | -10...300                             | 100                            | 0,03             | 0,8          | 10<br>у<br>режимі<br>нагрі-<br>вання |

#### 4. Порядок виконання роботи

##### 4.1. Підготовка до роботи.

4.1.1. Заповнити водою посудину 1 (див. **Рис. 8.9**).

4.1.2. На приладі В7-20:

- приєднати кабель живлення до мережі;
- встановити перемикач “род роботи” в положення “кΩ”;
- під'єднати до клем “0” та “R” вимірювальні проводи;
- ввімкнути вмикач “Сеть”.

4.1.3. На компонентувальному пульті:

- встановити перемикач “ $R_T$ ” в положення “1”;
- під’єднати вимірювальні проводи до гнізд “Выход  $R_T$ ”.

## 4.2. Вимірювання опорів термісторів.

4.2.1. Приєднати кабель живлення нагрівального елемента до мережі та ввімкнути елемент.

4.2.2. Підвищуючи температуру в посудині (за показам ртутного термометра), починаючи від 20 °С, через 10 °С проводити вимірювання величин опору термісторів. Почергове під’єднання термісторів до вимірювального приладу виконувати за допомогою перемикача “ $R_T$ ”.

4.2.3. Результати вимірювань занести до **Табл. 8.4**.

4.2.4. Користуючись виразом (8.4) і значеннями  $\alpha_T$  з **Табл. 8.3**:

- визначити чутливість терморезисторів  $K_d = f(T)$ ;
- результати обчислень занести до **Табл. 8.4**.

4.2.5. За даними **Табл. 8.4** побудувати графічні залежності для термісторів  $R_{Ti} = f(T)$  та  $K_{di} = f(T)$ .

**Таблиця 8.4**

### *Результати вимірювань та обчислень*

| Параметри<br>терморезисторів        | $T, ^\circ\text{K}$ |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                     | 293                 | 303 | 313 | 323 | 333 | 343 | 353 | 363 | 373 |
| $R_{T1}, \text{кОм}$                |                     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $R_{T2}, \text{кОм}$                |                     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $R_{T3}, \text{кОм}$                |                     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $K_{d1}, \text{кОм}/^\circ\text{C}$ |                     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $K_{d2}, \text{кОм}/^\circ\text{C}$ |                     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $K_{d3}, \text{кОм}/^\circ\text{C}$ |                     |     |     |     |     |     |     |     |     |

## 5. Зміст звіту

За результатами виконання лабораторної роботи складається письмовий звіт, який містить:

1. Назву роботи та її мету.
2. Схему лабораторної установки для дослідження термісторів (див. **Рис. 8.9**) та короткий опис принципу її роботи.
3. Таблицю результатів вимірювань та обчислень (**Табл. 8.4**).

4. Графічні залежності для термісторів  $R_{Ti} = f(T)$  та  $K_{ді} = f(T)$ .
5. Короткі висновки по роботі.

## **6. Контрольні питання.**

1. Будова, принцип дії та сфера використання металевих терморезисторів.
2. ТКО і чутливість металевих терморезисторів; їх переваги та недоліки.
3. Будова, принцип дії та сфера використання термісторів.
4. Основні параметри термісторів.
5. ТКО і чутливість термісторів.
6. Залежність опору термісторів від температури; вплив якостей термісторів на значення сталих  $A$  та  $B$ .
7. Позистори; залежність опору позистора від температури.
8. Будова, принцип дії та сфера використання
9. Термоелектричні перетворювачі; будова і принцип дії.
10. Типи термопар, що застосовуються для вимірювання температури; сфера їх використання.
11. Схема електрична принципова електричних термометрів опору; похибки вимірювання і способи їх зменшення.

## **7. Список літератури.**

1. Поліщук Є. С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин : підруч. Львів : Вид-во Держ. ун-ту «Львівська політехніка», 2000. 360 с.
2. Поліщук Є. С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин : підруч. Львів : Бескид Біт, 2008. 618 с.
3. Кравцов А. В., Рыбинский Ю. В. Электрические измерения : учеб. Москва : Колос, 1979. 351 с.
4. Кравцов А. В., Пузарин А. В. Электрические измерения : учеб. пособ. Москва : РИОР, 2018. 148 с.
5. Черепнев А. С., Ляшенко Г. А., Романченко Н. А., Полянова Н. В. Метрология и основы измерений : Учеб. / под ред.: А. С. Черепнева. Харьков : ХНТУСХ им. П. Василенко, 2008. 181 с.
6. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Долгополов В. П., Грумінська Л. В. Метрологія та вимірювальна техніка : навч. посіб. Вінниця : УНИВЕРСУМ, 2004. 252 с.

7. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В. Основи метрології та електричних вимірювань : підруч. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. 538 с.
8. Нестерчук Д. М., Квітка С. О., Галько С. В. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин : навч. посіб. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. 206 с.
9. Обозовський С. С. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальної техніки (Загальні питання і теорія похибок) : навч. посіб. Київ : НМК ВО, 1991. 223 с.
10. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А. Основи метрології та вимірювальної техніки : підруч. У 2 т. / за ред.: Б. Стадника. Т. 1: Основи метрології. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2005. 532 с.
11. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б., Василюк В., Борек Р., Ковальчик А. Основи метрології та вимірювальної техніки : підруч. У 2 т. / за ред.: Б. Стадника. Т. 2: Вимірювальна техніка. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2005. 656 с.
12. Дорожовець М. М. Опрацювання результатів вимірювань : навч. посіб. Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2007. 624 с.
13. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань [Електронне видання] : навч. посіб. К.: НТУУ «КПІ», 2016. 123 с.
14. Шефтель И. Т. Терморезисторы. Москва : Наука, 1973. 416 с.
15. Нубарян С. М. Контрольно-измерительные приборы в теплотехнических измерениях : курс лекций. Харьков : ХНАГХ, 2006. 283 с.
16. Попов Н. А. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции. : учеб. пособие. Часть I. Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2012. 192 с.



Навчально-методичне видання

## **МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання лабораторних робіт**

**з контрольно-вимірювальних приладів та електричних вимірювань**

### **Частина III. Вимірювання неелектричних величин**

Для студентів спеціальності

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

денної та заочної форм навчання.

Укладачі:   Каліч В. М.;  
                  Жесан Р. В.;  
                  Мірошніченко М. С.