

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та  
водного господарства  
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-  
інтегрованих технологій

**04-03-455M**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни  
«Технологічні вимірювання» (частина 2) для здобувачів вищої  
освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною  
програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології  
та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою з якості  
ННІЕАВГ  
Протокол № 7 від 25.02.2025р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Технологічні вимірювання» (частина 2) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Матус С. К., Сенчуров О. А. – Рівне : НУВГП, 2025. – 33 с.

Укладачі: Матус С. К., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій;  
Сенчуров О. А., старший викладач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Керівник освітньої програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»: Христюк А. О., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

© С. К. Матус,  
О. А. Сенчуров, 2025  
© НУВГП, 2025

## **Зміст**

Лабораторна робота № 4. ....	4
Лабораторна робота № 5. ....	12
Лабораторна робота № 6. ....	18
Література .....	33

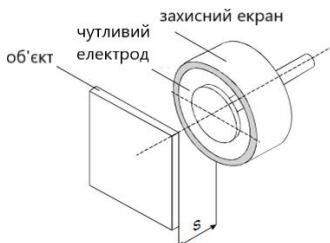
## Лабораторна робота № 4. Дослідження ємнісного давача наближення

### 4.1 Мета роботи

Вивчити принцип дії ємнісного давача, ознайомитися із схемою підключення, налаштуванням, сферою застосування та дослідити його роботу.

### 4.2 Теоретичні відомості

Ємнісні давачі наближення знаходять широке застосування в системах промислової автоматизації: від позиціонування до аналізу складу об'єктів неінвазійним способом.



Принцип роботи ємнісних давачів наближення полягає у використанні ємнісних зв'язків, де сам давач виконує роль обкладки конденсатора, а діелектриком зазвичай є повітря. Друга обкладка – земля.

Давачі мають у своєму складі чутливий електрод та захисний екран між якими створюється електричне поле. Таку конструкцію в першому наближенні можна розглядати як циліндричний конденсатор, який володіє ємністю. При цьому в давачі формується певна робоча зона чутливості. Якщо до цієї зони потрапляє об'єкт (з більшою діелектричною проникністю ніж у повітря), то ємність збільшується. При перевищенні заданого в налаштуваннях рівня, давач фіксує наявність об'єкта та перемикає вихідне реле.

Принцип дії ємнісного давача наближення – чутлива поверхня давача утворюється двома концентрично розташованими металевими електродами А та В, які увімкнені у коло зворотного зв'язку генератора коливачів (рис. 4.1). При

наближенні об'єкта до чутливої поверхні, при входженні у чутливу зону давача, збільшується проникливість середовища і відповідно ємність конденсатора; це призводить до зростання амплітуди коливань генератора практично від нуля до амплітуди, яка після перетворень здатна перемкнути вихідний ключ.

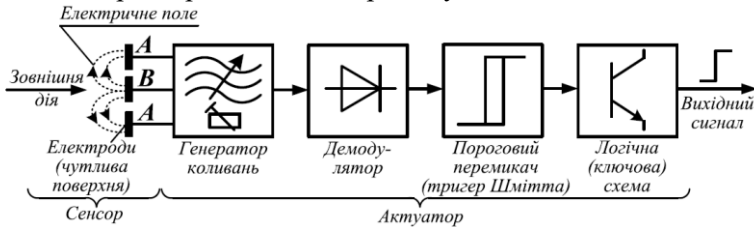


Рис. 4.1 Структурна схема ємнісного давача наближення

Ємнісні давачі наближення (ємнісні вимикачі) перемикаються як від електропровідних, так і від діелектричних об'єктів. У разі дії предметів з електропровідних матеріалів відстань перемикання  $S_r$  є максимальною, природа електропровідного матеріалу практично не має значення. При дії об'єктів із діелектричних матеріалів віддаль  $S_r$  порівняно з металами зменшується залежно від діелектричної проникливості матеріалів  $\epsilon_r$ . Графік залежності  $S_r$  від  $\epsilon_r$  наведено на рис. 4.2, а значення діелектричної проникливості матеріалів – у таблиці 4.1.

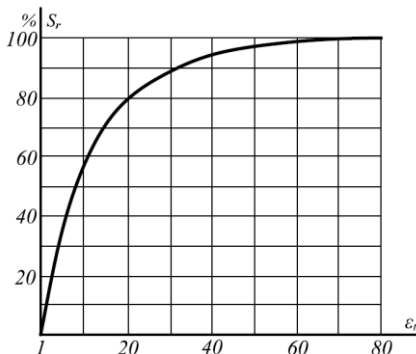


Рис. 4.2 Залежність відстані перемикання  $S_r$  від діелектричної проникливості матеріалів  $\epsilon_r$

Таблиця 4.1

<i>Матеріал</i>	$\epsilon_r$	<i>Матеріал</i>	$\epsilon_r$	<i>Матеріал</i>	$\epsilon_r$
Аміак	16,0	Гума силіконова	2,8	Слюда	6,0
Аралдит	3,6	Парафін	2,2	Спирт етиловий	25,8
Бакеліт	3,6	Мармур	8,0	Скло	5,0
Бензол	2,3	Нафта	2,2	Склотекстоліт	5,5
Папір	2,3	Оргскло	3,2	Тальк	1,6
Папір промаслений	4,0	Олива трансформаторна	2,2	Фторопласт (тефлон)	2,0
Вініпласт	4,0	Поліамід	5,0	Голуол	2,4
Вода	80,0	Полівінілхлорид	2,9	Фанера	4,0
Повітря	1,0	Поліпропілен	2,3	Порцеляна	4,4
Гетинакс	4,5	Полістирол	3,0	Текстоліт	7,5
Деревина	2...7	Поліетилен	2,3	Целулоїд	3,0
Ебоніт	4,0	Гума м'яка	2,5	Цемент	2,0
Кварцовий пісок	3,7	Компаунд кабельний	2,5	Кварцове скло	4,5
Гас	2,2	Скипидар	2,2	Електрокартон	4,0

*Відстань перемикання* (спрацювання)  $S$  – відстань, за якої об'єкт, що наближається до чутливої поверхні давача, викликає зміну вихідного логічного сигналу.

*Номінальна відстань* перемикання (спрацювання)  $S_n$  – теоретична величина, що не враховує розкид виробничих параметрів давача, зміни температури і напруги живлення.

*Робочий проміжок*  $S_a$  – відстань, що забезпечує надійну роботу безконтактного давача в допустимих межах температури і напруги ( $0 < S_a < 0,8S_n$ ).

*Ефективний проміжок*  $S_r$  – визначається при номінальній робочій напругі і температурі навколишнього середовища  $0,9S_n < S_r < 1,1S_n$ .

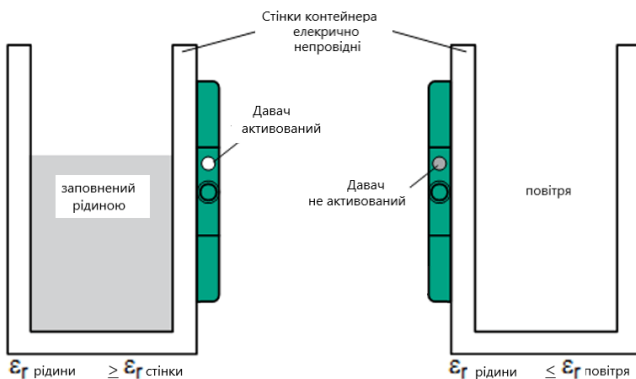
Діелектрична проникливість деяких органічних матеріалів (дерево, зерно тощо) може збільшитися за рахунок води, оскільки  $\epsilon_r = 80$ . Номінальна відстань перемикання  $S_n$ , робочий проміжок

$S_a$ , які вказують у технічних характеристиках, а також ефективний проміжок  $S_r$  зв'язані між собою наступним чином:

$$0,9S_n < S_r < 1,1S_n$$

$$0 < S_a < 0,8S_n$$

На рисунку показаний приклад із рідиною. Наявність рідини спричиняє перемикання виходу давача.



Ємнісні давачі чудово справляються із завданням безконтактного виявлення об'єктів із різних матеріалів. Вбудований потенціометр полегшує налаштування давача для роботи в різних умовах.

Використовуються у харчовій та хімічній промисловості, при цьому сенсор давача не повинен бути в контакті з харчовими продуктами чи агресивним хімічним середовищем, і тому давач розміщують за оболонкою, в якій перебуває контрольований об'єкт. Зазвичай такою оболонкою є метал, тому для роботи давача у металі роблять вікно, яке закрите діелектричною перегородкою з малою діелектричною проникливістю (оргскло тощо), перед якою його розміщують. При цьому товщина перегородки повинна бути меншою, ніж відстань дії ємнісного давача.

Ємнісні давачі мають відмінні експлуатаційні характеристики, а саме: широкий температурний діапазон, а також ступінь захисту IP. При цьому давач здатний працювати з

багатьма матеріалами. Все це дозволяє застосовувати їх в таких галузях: хімічна, харчова, деревообробна, нафтогазова, фармакологічна тощо.

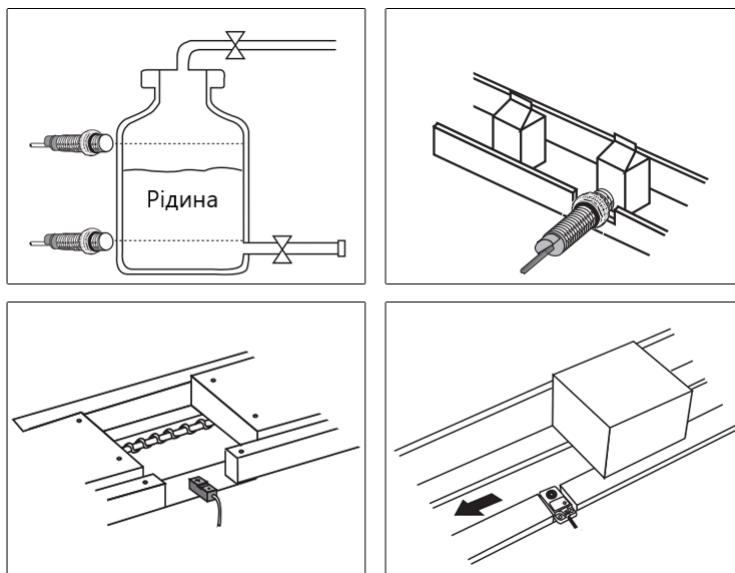


Рис. 4.3 Приклади застосування ємнісних датчиків

#### Призначення ємнісних датчиків:

- виявлення та розпізнавання предметів, об'єктів на виробництві: металеві (провідні), неметалічних (пластмаси, папір, дерево, рідини, картон тощо);
- реєстрація об'єктів, розпізнавання та контроль листових матеріалів та проводів на обрив, регулювання натягу (плівки, фольга тощо);
- сортування об'єктів за фізичними властивостями;
- контроль: рівень наповнення тари/упаковки (сигналізація), позиційного відхилення, переміщення об'єкта, поперечного та поздовжнього зміщення, статичного/динамічного усунення, положення у просторі, точності посадки;
- вимірювання вібрації.



Переваги ємнісних давачів наближення:

- здатність виявлення об'єктів крізь «непрозорі перешкоди» (наприклад, рідин через скло чи пластик);
- виявлення всіх матеріалів, у тому числі агресивних хімічних;
- простий, надійний конструктив;
- безконтактний принцип роботи
- порівняно невисока ціна.

Недоліками можуть бути:

- можливі вимоги до екранування. Зокрема, потрібно дотримуватись правил розміщення давачів у безпосередній близькості один від одного;
- вплив довкілля на функціонування давачів;
- вплив матеріалу та габаритів об'єкта реєстрації на параметри приладів.

#### **4.3 Програма роботи**

1. Вивчити принцип дії ємнісного давача, ознайомитися із особливостями його роботи.
2. Ознайомитися з технічними характеристиками ємнісного давача і робочою схемою для дослідження його роботи.

#### **4.4 Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися із лабораторним стендом та технічними характеристиками ємнісного давача.



*Рис. 4.4 Ємнісний давач CR30-15DN Autonic*

Таблиця 4.2

## Технічні характеристики CR30-15DN Autonics

Тип виходу давача	NPN NO
Напруга живлення	12-24 VDC
Діаметр	M30
Монтаж давача	виступаючий
Довжина давача, мм	71
Відстань спрацювання, мм	15
Частота спрацювання, Гц	50
Тип підключення	кабель 2 м
Тип давача	ємнісний давач
Ступінь захисту по IP	IP65
Схема підключення давача	3-х пров

2. Ознайомитися з робочою схемою (рис. 4.5), перевірити правильність підключення ємнісного давача до пристроїв світлової індикації та блока живлення. З дозволу викладача увімкнути живлення стенда.

3. Визначити відстань перемикання (спрацювання) давача залежно від матеріалу предмету, що наближається до сенсора давача: сталь, нержавіюча сталь, мідь, склотекстоліт, пластиковий пустотілий об'єкт.

4. Обчислити поправочні коефіцієнти для визначення відстані перемикання для різних матеріалів, що наближаються до давача, прийнявши коефіцієнт матеріалу метал за 100%.

5. Визначити робочий діапазон дії давача  $S_a$ .

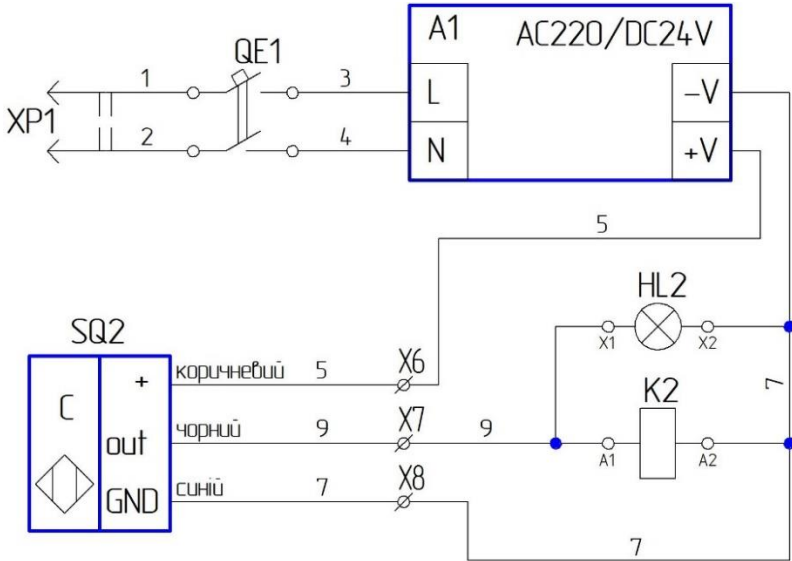


Рис. 4.5 Робоча схема для дослідження ємнісного давача  
 QE1 - автоматичний вимикач; A1 - блок живлення;  
 SQ2 - безконтактний ємнісний давач положення;  
 HL2 - світловий індикатор; K2 - реле проміжне;  
 X6-X8 - прохідна клемма; XP1 - вилка

## 4.5 Контрольні запитання

1. Що таке давач?
2. Яка різниця між контактними і безконтактними давачами?
3. Який принцип дії ємнісного давача наближення?
4. Які знаєте сфери застосування ємнісних давачів?
5. Наведіть структурну схему ємнісного давача наближення?

## Лабораторна робота № 5. Дослідження індуктивного давача наближення

### 5.1 Мета роботи

Вивчити принцип дії індуктивного давача, ознайомитися із схемою підключення, налаштуванням, сферою застосування та дослідити його роботу.

### 5.2 Теоретичні відомості

Індуктивний безконтактний давач називається давачем наближення і спрацьовує з наближенням металевого предмета до сенсора давача.

Безконтактні індуктивні вимикачі призначені для роботи із металевими об'єктами. Завдяки цьому пристрої можуть активно застосовуватись у різних видах машин, верстатів та механізмів для контролю положення окремих елементів.

Структурна схема індуктивного давача наближення наведена на рис. 5.1.

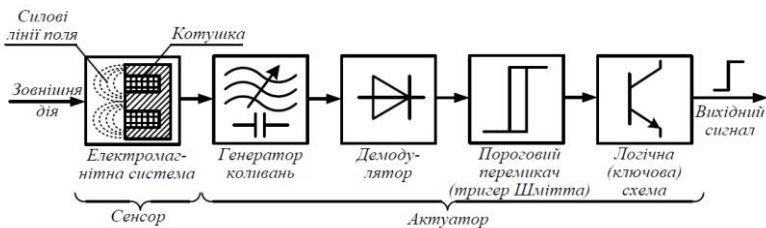


Рис. 5.1 Структурна схема індуктивного давача наближення

Принцип дії індуктивного давача полягає у зміні індуктивності котушки при наближенні об'єкта, що спричиняє зміну амплітуди коливаний генератора. Котушка сукупно з ємністю утворюють коливальний контур, який збуджується генератором з частотою у декілька кілогерц. Високочастотний струм у котушці формує змінне магнітне поле. При входженні у зону поля металевого предмета, який можна розглядати як вторинну у відношенні до котушки сенсора обмотку трансформатора, демодульований сигнал генератора надходить

на вхід порогового елемента з заданим рівнем спрацювання і за допомогою логічної схеми перетворюється у дискретний сигнал.

*Чутлива поверхня давача*, це площадка обмежена зовнішнім діаметром феритового осердя, на якому зібрана електромагнітна система вимикача.

*Відстань перемикання* (спрацювання)  $S$  - відстань, за якої об'єкт, що наближається до чутливої поверхні давача, викликає зміну вихідного логічного сигналу.

*Номінальна відстань перемикання* (спрацювання)  $S_n$  - теоретична величина, що не враховує розкид виробничих параметрів давача, зміни температури і напруги живлення.

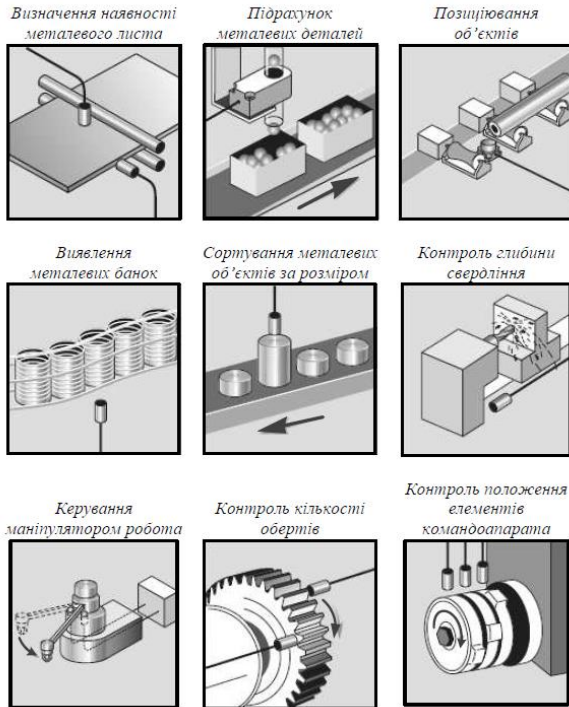
*Робочий проміжок*  $S_a$  - відстань, що забезпечує надійну роботу безконтактного давача в допустимих межах температури і напруги ( $0 < S_a < 0,8S_n$ ).

*Поправочний коефіцієнт* робочого проміжку дає можливість визначити робочий проміжок, що залежить від металу, з якого виготовлений об'єкт

Матеріал	Коефіцієнт	Матеріал	Коефіцієнт
сталь 40	1,0	алюміній	0,30...0,45
чавун	0,93...1,05	латунь	0,35...0,50
нікель	0,65...0,75	мідь	0,25...0,45
нерж. сталь	0,60...1,0		

Давачі індуктивного типу застосовуються для вирішення різних завдань у промисловості:

- безконтактний контроль за положенням об'єктів у просторі;
- контроль положення елементів та частин машин та механізмів;
- контроль переміщення об'єктів;
- контроль швидкості руху об'єкта;
- сортування металевих об'єктів;
- контроль цілісності об'єктів;
- контроль заповнення;
- контроль кута повороту та багато інших.



*Рис. 5.2 Приклади застосування індуктивних давачів*

Порівняно з іншими пристроями індуктивні давачі мають низку відмінних переваг:

- висока міцність та простота конструкції;
- простота монтажу та експлуатації;
- сумісність із промисловими мережами живлення;
- висока чутливість;
- швидкість спрацювання;
- тривалий термін служби;

Головним обмеженням застосування індуктивних давачів наближення є сумісність тільки з металевими і магніточутливими матеріалами. Це значно звужує сферу застосування приладів.

Недоліком є необхідність стабільної напруги у мережі живлення. Точність спрацювання вимикача може бути

знижена при нестабільному живленні. Також не рекомендується застосовувати давачі поблизу промислового обладнання, що генерує потужні магнітні поля чи електричні перешкоди. Відповідно при роботі з індуктивними приладами необхідно ретельно підходити до організації робочого простору та робочої мережі живлення.

### 5.3 Програма роботи

1. Вивчити принцип дії індуктивного давача, ознайомитися із особливостями його роботи.

2. Ознайомитися з технічними характеристиками індуктивного давача наближення і робочою схемою для дослідження його роботи.

### 5.4 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися із лабораторним стендом та технічними характеристиками індуктивного давача.



Рис. 5.3 Індуктивний давач PR18-8DN Autonics

Таблиця 5.1

Технічні характеристики PR18-8DN Autonics

Тип виходу давача	NPN NO
Напруга живлення	12-24 VDC
Діаметр	M18
Монтаж давача	виступаючий
Довжина давача, мм	47
Відстань спрацювання, мм	8
Частота спрацювання, Гц	350
Тип підключення	кабель 2 м
Тип давача	індуктивний давач
Ступінь захисту по IP	IP65
Схема підключення давача	3-х пров

2. Ознайомитися з робочою схемою (рис. 5.4), перевірити правильність підключення індуктивного давача до пристроїв світлової індикації та блока живлення.

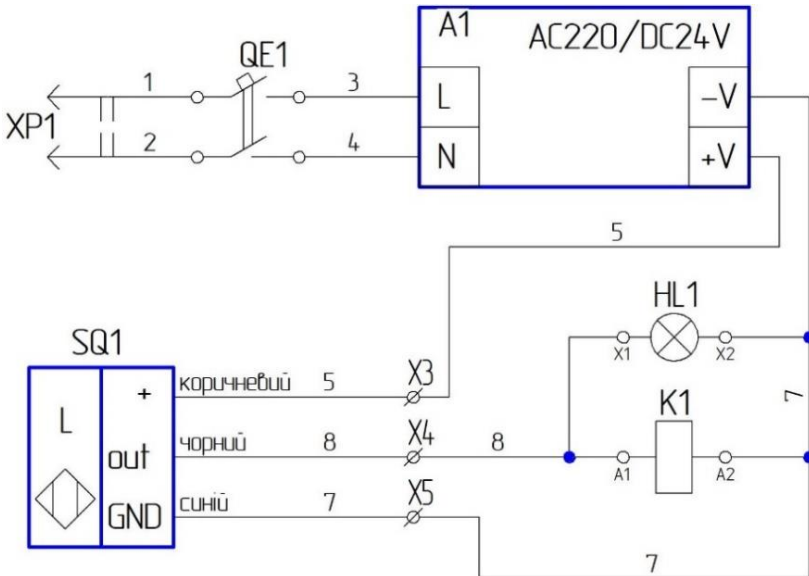


Рис. 5.4. Схема для дослідження індуктивного давача  
*QE1* - автоматичний вимикач; *A1* - блок живлення;  
*SQ1* - безконтактний індуктивний давач положення;  
*HL1* - світловий індикатор; *K1* - реле проміжне;  
*X3-X5* - прохідна клемма; *XP1* - вилка.

3 дозволу викладача увімкнути живлення стенда.

3. Визначити відстань перемикання (спрацювання) давача залежно від матеріалу предмету, що наближається до сенсора давача: сталь; нержавіюча сталь; мідь.

4. Обчислити поправочні коефіцієнти для визначення відстані перемикання для різних матеріалів, що наближаються до давача, прийнявши коефіцієнт матеріалу метал за 100%.

5. Визначити робочий діапазон дії давача  $S_a$ .



## 5.5 Контрольні запитання

1. Що таке давач?
2. Яка різниця між контактними і безконтактними давачами?
3. Який принцип дії індуктивного давача наближення?
4. Які знаєте сфери застосування індуктивних давачів?
5. Наведіть структурну схему індуктивного давача наближення?
6. Які є переваги індуктивних давачів?
7. Які існують обмеження застосування індуктивних давачів наближення?

## Лабораторна робота № 6. Дослідження давачів температури

### 6.1 Мета роботи

Ознайомитися з конструкцією та принципом дії термометрів опору та термоелектричних перетворювачів.

### 6.2 Теоретичні відомості

**Термометри опору.** Вимірювання температури термометрами опору відноситься до контактних методів і ґрунтується на властивості провідників (металів) та напівпровідників змінювати свій електричний опір  $R$  в залежності від зміни їхньої температури  $t$ . В загальному вигляді:  $R = f(t)$ .

Для провідників (металів) опір зростає з зростанням температури, а перетворювачі, які виготовлені із металевого дроту називають терморезисторами. У напівпровідників опір навпаки падає із ростом температури, а перетворювачі, що виготовлені із напівпровідникових матеріалів, називають термісторами.

В якості засобів вимірювання температури з нормованими метрологічними характеристиками використовують термометри опору. Залежність опору термометра опору від температури називається його градуовальною характеристикою.

Для виготовлення чутливих елементів серійних термометрів опору використовуються чисті метали. До металів пред'являються наступні основні вимоги:

- метал не повинен окислюватися і вступати в хімічну взаємодію з вимірювальним середовищем;
- температурний коефіцієнт електричного опору металу повинен бути достатньо великим і незмінним. Цей коефіцієнт визначається відношенням

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0},$$

де  $R_0$  і  $R_{100}$  – опори термометра відповідно при 0 і 100°C; для більшої кількості металів  $\alpha \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$ ;

- опір повинен змінюватися з зміною температури по прямій чи плавній кривій без різких відхилень і явищ гістерезису;
- питомий електричний опір метала повинен бути достатньо великим: чим більший питомий опір, тим менше потрібно металу для отримання необхідної першопочаткової величини опору термометра.

Вказаним вимогам в певних температурних межах найбільш повно відповідають платина, мідь, нікель, залізо.

Найбільш розповсюдженими термометрами опору є платинові (ТОП) та мідні (тип ТОМ). Чутливі елементи таких термометрів опору виготовляють відповідно із платинового або емальованого мідного дроту діаметром від 0,04 до 0,1 мм, який намотують біфілярно на пластину або каркас із ізоляційного матеріалу (сльоди, пластмаси), а значення опору  $R_0$  при температурі  $0\text{ }^\circ\text{C}$  підганяють за рахунок довжини дроту до тисячних Ом. Таким чином отримують (найбільш поширений) ряд термометрів опору з градуванням (тобто, із значеннями  $R_0$  в Ом):

а) мідних (ТОМ), в яких  $R_0$  дорівнює 10, 50 та 100 Ом і які умовно позначаються 10М, 50М та 100М (символ М – відповідає міді);

б) платинових (ТОП): в яких  $R_0$  дорівнює 10, 50, 100 та 1000 Ом і які умовно позначаються: 10П, 50П, 100П, 500П та 1000П (символ П – відповідає платині), міжнародне позначення Pt100;

в) нікелевих, в яких  $R_0$  дорівнює 100 та 1000 Ом і які умовно позначаються NI100, NI1000.

Кожен з видів термометрів має своє градування, якому відповідають відповідні значення опорів при  $0^\circ\text{C}$  ( $R_0$ ):

Таблиця 6.1

Градування та опір терморезисторних перетворювачів

<i>Вид термометра опору</i>	<i>Градування</i>	<i><math>R_0</math>, Ом</i>
ТОП	20	10
ТОП	21	46
ТОП	22	100
ТОМ	23	53
ТОМ	24	100

Залежність опору ТОП і ТОМ від температури близька до лінійної.



*Рис. 6.1. Зовнішній вигляд термоопорів різної конструкції*

За конструкцією і використанням термоперетворювачі опору поділяють:

за призначенням – занурювальні, поверхневі;

за умовами експлуатації – стаціонарні і переносні;

за ступенем захисту від впливу зовнішнього середовища зі сторони виводів – зі звичайною і вибухобезпечною голівками, а також без голівки;

за захистом від впливу вимірювального середовища – на захищені і незахищені від впливу агресивних і неагресивних середовищ;

за герметичністю по відношенню до вимірювального середовища – звичайні і герметичні, розраховані на умовний тиск і температуру;

за стійкістю до механічних впливів – звичайні, вібростійкі, ударостійкі;

за інерційністю – великої інерційності (ВІ), середньої інерційності (СІ), малоінерційні (МІ);

за числом зон, в яких вимірюється температура – однозонні і багатозонні;

по кількості вивідних провідників – з двома, трьома, чотирма провідниками;

за умовами використання – призначені для роботи у різних умовах;

за точністю – термометри опору класів I, II, III.

Зовнішня арматура термометра опору, загальний вигляд якого приведений на рис. 6.2, складається із захисної трубки, яка

захищає дріт термометра від впливу агресивного середовища об'єкта вимірювання температури, штуцера для його закріплення на об'єкті та головки, в якій розміщується контактна колодка з затискачами для під'єднання дротів, що з'єднують термометр опору з вторинним вимірювальним приладом.

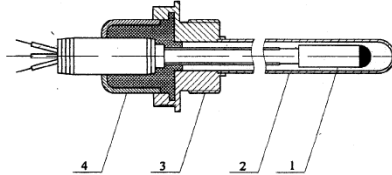


Рис.6.2. Конструкція термометра опору:  
1 – чутливий елемент; 2 – захисна арматура;  
3 – штуцер; 4 – ковпачок

Визначальними властивостями ТО є інерційність і клас точності. Інерційність характеризується показниками теплової інерції. Показник теплової інерції ТО – час, необхідний для того, щоб при внесенні ТО в середовище з постійною температурою різниця температури середовища і будь-якої точки ТО склала 0,37 значення температури, яку мало середовище в момент настання регулярного теплового режиму.

Показник теплової інерції ТО, визначений при коефіцієнті тепловіддачі, який рівний нескінченності, не повинен перевищувати наступні значення:

- для ТО з великою інерційністю – 4 хв;
- для ТО з середньою інерційністю – 1 хв 20 с;
- для ТО малоінерційних – 9 с.

Клас точності ТО визначається межами допустимих основних і додаткових похибок, а також іншими властивостями, які впливають на точність вимірювання, значення яких встановлюється стандартом.

В ТОП класу I допустимі відхилення значень опору при  $0^{\circ}\text{C}$   $R_0$  від номінального становлять  $\pm 0.05\%$ , а в ТОП класу II  $\pm 0.1\%$ . В ТОМ класів II і III допустимі відхилення значень  $R_0$  від номінальних становлять  $\pm 0.1\%$ . Аналогічно відношення опору чутливого елемента ТО при  $100^{\circ}\text{C}$  до опору при  $0^{\circ}\text{C}$  ( $R_{100}/R_0$ ) повинно бути: для ТОП класу I –  $1.391 \pm 0.0007$ ; для ТОП класу II

–  $1.391 \pm 0.001$ ; для ТОМ класу II –  $1.426 \pm 0.001$ ; для ТОМ класу III –  $1.426 \pm 0.002$ .

Термоперетворювачі опору платинові виготовляють двох модифікацій: одинарні і подвійні. В одинарний ТОП вмонтований один чутливий елемент. В подвійному ТОП в загальну арматуру вмонтовані два чутливих елемента, електрично розв'язані між собою. Кожен чутливий елемент має свою пару контактів. Подвійний ТОП призначений для роботи з двома вторинними пристроями, одинарний – з одним.

Для вимірювання температури використовують напівпровідникові термоперетворювачі опору. Робочий діапазон напівпровідникових термоперетворювачів визначають наступним чином: нижня межа повинна відповідати температурі, при якій напівпровідник стає ізолятором, а верхня – так званій допустимій температурі, вище якої в напівпровіднику відбуваються незворотні зміни.

Істотний недолік напівпровідникових матеріалів – відсутність необхідного відтворення градууювальної характеристики, тому напівпровідникові ТО навіть одного і того ж типу не взаємозамінні та мають індивідуальні градууювальні таблиці.

В якості вимірювальних приладів, які використовуються у комплекті з термометром опору, використовуються зрівноважені і незрівноважені мости, логометри та сучасні вимірювальні перетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом.

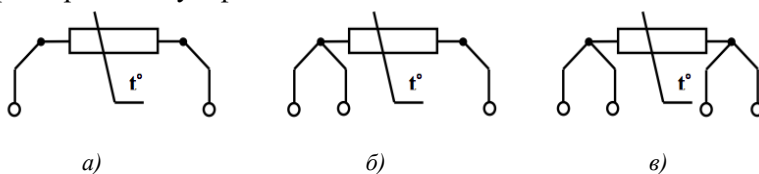


Рис. 6.3. Схеми підключення термометрів опору:  
а – 2-провідна; б – 3-провідна; в – 4-провідна

**Термоелектричні перетворювачі.** Принцип дії термоелектричних перетворювачів (термопар, рис. 6.4) ґрунтується на ефекті виникнення електричного струму в замкнутому колі, який складається із різнорідних провідників А і

*B* (які називають термоелектродами, рис. 6.4 а), при умові, що місця їхніх з'єднань (спаїв) мають різну температуру. Ефект пояснюється тим, що виникнення струму пов'язане з вільними електронами в металах, які переміщуються з металу, де їх концентрація більша, в метал, у якого концентрація електронів менша, і з виникненням ЕРС Пельтьє (контактної різниці потенціалів) у місці спаю. Відповідно до закону Кірхгофа, в ізотермічному замкненому колі, складеному із різних провідників, сума ЕРС Пельтьє дорівнює нулю. Якщо ж з'являється різниця температур між спаями, то в такому колі протікає термоелектричний струм (ефект Зеебека). А якщо навпаки до такого кола ззовні підвести постійний струм, то один зі спаїв буде нагріватися, а другий – охолоджуватись, залежно від напрямку проходження струму (ефект Пельтьє, який використовується в холодильній техніці).

У разі розмикання кола (рис. 6.4, а) на його кінцях виникає термоелектрорушійна сила  $E$  (ТЕРС), яка визначається температурою спаїв. Величина та напрям ТЕРС  $E(t_x, t_0)$  залежить: 1) від матеріалу термоелектродів, що з'єднані; 2) від різниці температур місць з'єднань термоелектродів:  $t_x$  – температура робочого (гарячого) спаю, який розміщується в об'єкті, температуру якого вимірюють, та  $t_0$  – температури холодного спаю (вільних кінців), що виведені ззовні з об'єкту і знаходиться в місці з відносно постійною температурою.

Термоелектроди 8 (рис. 6.4, в) виготовляють зі сплавів та металів і по всій довжині термопари їх ізолюють один від одного (при температурах до 300°C – азбестом, до 1000°C – кварцовими трубками, а вище 1000°C – бусами із фарфору), а гарячий спай створюють зварюванням, спаюванням або при вимірюванні високих температур – скручуванням. Конструктивно термопари розміщують в захисних газонепроникних арматурах (гільзах). Останні на температуру вимірювання до 600°C виготовляють зі сталейних безшовних труб, до 1100°C – із нержавіючої сталі, а >1100°C – із фарфору. Перевагою термопари є незалежність ТЕРС від введення в її коло інших провідників (рис. 6.4, г поз. 12 та 10) при умові, що кінці цих дротів мають однакову

температуру в точках поз.11 та поз.13. Практично це означає, що за цієї умови в коло термопари можна вмикати з'єднувальні (термоелектродні подовжувальні) дроти і вимірювальні прилад.

Значення ТЕРС можна виміряти, наприклад, мілівольтметром постійного струму з достатньою чутливістю, який ввімкнений або в розрив проводу *B* (рис. 6.4, а), або в розрив ланцюга обох дротів холодного спаю (рис. 6.4, в поз. 8 та до верхніх кінців дротів поз.10 рис. 6.4, г).

Висока точність вимірювання температури за допомогою ПВП у вигляді термопари буде забезпечена, тільки при достатньо точній фіксації температури  $t_0$  холодного спаю (його розміщують в посудині Дьюара з льодом, де  $t_0=0^{\circ}\text{C}$  при градуюванні термопари), або розміщують в термостат з автоматично стабілізованою температурою. Характеристикою градуювання термопари називається статична характеристика перетворення, яка відтворює залежність ТЕРС термопари від температури робочого спаю при температурі холодного спаю, що дорівнює  $0^{\circ}\text{C}$ .

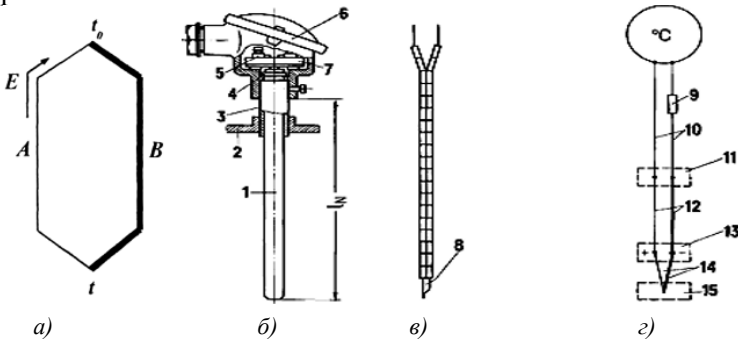


Рис.6.4: а – загальна схема термоелектричного перетворювача; б, в – загальний вигляд термопари в розрізі; г – схема комунікації термопари і її під'єднання до вторинного приладу

Якщо температура вільних кінців термопари  $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$ , то вимірювана температура  $t_x$  визначається безпосередньо з характеристики градуювання, яка може задаватись графічно, загальний вигляд  $E(t_x, 0)$ ; або у вигляді таблиці; або записують у



пам'ять сучасних мікропроцесорних вимірювальних перетворювачів.

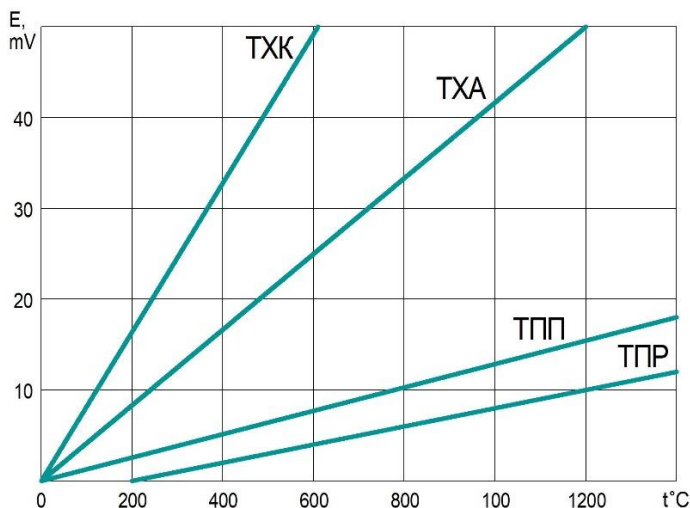


Рис. 6.5. Статичні характеристики стандартних термопар

Характеристики градування є індивідуальними для кожного типу термопар і їхній загальний вигляд для основних типів термопар приведений на рис. 6.5. Для виготовлення термопар використовують матеріали, які забезпечують найбільш можливе значення ТЕРС. Найбільше розповсюджені наступні типи стандартних термопар (першим в запису вказується термоелектрод з надлишком електронів і який, після їхнього переміщення до другого електроду термопар, має позитивний заряд):

- хромель-копелеві. Хромель - сплав хрому та нікелю (8÷10% Cr, а залишок - Ni). Копель – сплав міді (Cu є основа – 56%) та Ni (43%) + Mn (0,5% - марганцю). Позначення: термопар - ТХК, а характеристики градування - ХК або E (міжнародне). Діапазон вимірювання: від -200°C до +600°C. ТХК розвивають найбільшу ТЕРС – 7мВ на кожні 100°C.

- хромель-алюмелеві. Алюмель – сплав нікелю (основа  $\approx$  94%) та алюмінію  $\approx$  6% (з незначними домішками марганцю та

кремнію). Відповідно позначення: ТХА, ХА(К). Діапазон вимірювання: від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+1000^{\circ}\text{C}$ . Розвивають ТЕРС від  $-1,86\text{ мВ}$  до  $41,32\text{ мВ}$ .

- вольфрамений (5% - Re) – вольфрамений (26% - Re). Позначення термопари та характеристики градування: ТВР (С), ВР  $-5/20$ . Діапазон вимірювання: від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+2300^{\circ}\text{C}$ .

- платиновий (склад: 10% родію та 90% платини) – платиновий. Позначення термопари ТПП, а її характеристики градування ПП (S – міжнародне). Діапазон вимірювання: від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+1600^{\circ}\text{C}$ . Розділяються на еталонні, зразкові робочі. Надійно працюють в нейтральному та окислюваному середовищі. На платину шкідливо діють пари металів та вуглецю. Є кращими за комплексною оцінкою до  $1600^{\circ}\text{C}$ . Виготовляються із проводу діаметром  $0,5...1\text{ мм}$ . Розвивають ТЕРС від  $-0,1\text{ мВ}$  до  $13,13\text{ мВ}$ .

- платиновий (30% родію) – платиновий (6% родію). Позначення: ТПР, а характеристики градування ПР(В). Діапазон вимірювання в межах:  $600^{\circ}\text{C}$  –  $1800^{\circ}\text{C}$ . Не потребують введення поправки на температуру холодних спаїв, оскільки при  $t=20^{\circ}\text{C}$  мають мале значення ТЕРС  $0,002\text{ мВ}$ .

- залізо-константовий. Константан - сплав  $\text{Cu}$  та  $\text{Ni}$ . Позначення термопари та градувальної характеристики J. Діапазон вимірювання:  $-210^{\circ}\text{C}$  ÷  $+1200^{\circ}\text{C}$ . Абсолютна похибка вимірювання складає не більше  $\pm 2,2^{\circ}\text{C}$ .

- мідь-константовий. Позначення термопари та характеристики градування Т. Діапазон вимірювання:  $-270^{\circ}\text{C}$  ÷  $+400^{\circ}\text{C}$ . Абсолютна похибка вимірювання складає не більше  $\Delta t = \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Величина ТЕРС хромель-алюмелевої термопари зі стандартним градуванням для температур від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $600^{\circ}\text{C}$  при температурі вільних кінців  $0^{\circ}$  наводиться в табл.6.2.

При відхиленні температури холодного спаю від  $0^{\circ}\text{C}$  в сторону збільшення, наприклад, до певного значення  $t_0$ , ТЕРС, що видає термопара, зменшується із-за збільшення температури холодного спаю (вільних кінців) до  $t_0$  на значення  $E(t_0, 0)$ .

Таблиця 6.2

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
<i>E, мВ</i>										
0	0	0,4	0,8	1,2	1,61	2,02	2,43	2,85	3,26	3,68
100	4,1	4,51	4,92	5,33	5,73	6,13	6,53	6,93	7,33	7,75
200	8,1	8,53	8,93	9,34	9,74	10,15	10,56	10,97	11,38	11,8
300	12,21	12,62	13,04	13,45	13,87	14,29	14,72	15,14	15,56	15,98
400	16,4	16,83	17,25	17,67	18,69	18,51	18,94	19,37	19,79	20,22
500	20,65	21,08	21,5	21,97	22,32	22,78	23,21	23,63	24,06	24,49
600	24,91	25,34	25,76	26,19	26,01	27,04	27,46	27,88	28,3	28,73

Таким чином, якщо температура вільних кінців  $t_0 \neq 0$ , то для отримання значення ТЕРС  $E(t_x, 0)$ , що відповідає характеристиці градування, необхідно до  $E(t_x, t_0)$ , тобто, ТЕРС, що розвиває термопара при температурі холодного спаю  $t_0$ , додати значення ТЕРС  $E(t_0, 0)$ , яке видає термопара при значенні температури гарячого спаю  $t_0$  та значенні температури холодного спаю  $0^\circ\text{C}$

$$E(t_x, 0) = E(t_x, t_0) + E(t_0, 0)$$

У простих випадках використовується, так зване, пряме ввімкнення термопари, коли в комплекті з термопарою (в якості вторинного приладу, що вимірює ТЕРС) використовується вимірювальний прилад, шкала якого градується при температурі холодного спаю, як правило, що дорівнює  $0^\circ\text{C}$ . Якщо в умовах використання ця температура інша, то в покази приладу необхідно вводити поправки (проводити інтерполяцію), тому що в іншому випадку такі вимірювання будуть супроводжуватися великими похибками. Різні термопари розвивають різні ТЕРС при однакових температурах як гарячого спаю, так і холодного.

Існують декілька способів компенсації зміни температури холодного спаю термопари і усунення похибок, що пов'язані з цим. Один із способів є розрахунковий і його формула в загальному має вигляд:

$$t_{icm} = t_{np} + k_{mp} (t_{0x} - t_{0z})$$

де  $t_{icm}$  - істинна температура;  $t_{np}$  - температура, яку показує прилад;  $k_{mp}$  - коефіцієнт інтерполяції, який залежить від типу

термопарі та інтервалу вимірювальної температури;  $t_{0x}$  та  $t_{0z}$  - відповідно температура холодного спаю термопарі в реальних умовах вимірювання та при її градуванні.

Ефективним методом усунення похибки від впливу зміни температури холодного спаю є використання компенсаційних термоелектродних подовжувальних (рис. 6.4, г поз. 10 та 12) провідників, які входять в комплект термопарі і слугують для відведення холодного спаю на певну відстань, де можливе його розташування в зоні відносно постійної температури. Такі з'єднувальні дроти повинні бути термоелектрично подібні термоелектродам термопарі і виробляються в більшості із тих же металів, що і електроди.

Для платинородій-платинових (ТПП) термопар в якості продовжуваних провідників використовується більш дешева, наприклад, пара мідь та сплав міді і нікелю (99,4% Cu + 0,6% Ni), яка при температурі 100°C розвиває ТЕРС, яка дорівнює ТЕРС ТПП. Для термопар типу ТВР використовують пару мідь і сплав із міді (98,2%) та нікелю (1,8%). Для правильного вимірювання обов'язково повинна виконуватись умова рівності температур в точках з'єднання поз.11 та 13 (рис. 6.4, б), що забезпечується їх розташуванням одна біля одної.

Одним із найбільш ефективних, є метод використання мостових схем для введення поправок на нестабільність температури холодного спаю при зміні температури навколишнього середовища (рис. 6.6). Термопару і вимірювальний (вторинний) прилад ВП вмикають послідовно з вимірювальною діагоналлю мостової схеми з опорами  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  та  $R_{4t}$ , яка підключена до джерела живлення з напругою  $U_0$ . В якості вторинного приладу використовується мілівольтметр. Опори  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_3$  виготовляють із матеріалу з малим значенням температурного коефіцієнту опору (манганіту); а  $R_{4t}$  із міді або нікелю. Схема мосту розташовується в безпосередній близькості від холодного спаю термопарі.

При початковій температурі холодного спаю  $t_0$  міст балансується за допомогою одного із стабільних опорів, наприклад,  $R_3$ . В процесі роботи, якщо температура холодного

спаю підвищується, то зменшиться ТЕРС термопарі із-за зменшення різниці температури між спаями, але в той же час збільшується опір  $R_{4t}$  (мідного опору), що приводить до розбалансування мосту і збільшенні напруги у вимірювальній діагоналі  $U_{cd}$ , яке компенсує зменшення ТЕРС термопарі. Точність компенсації за допомогою такої схеми оцінюється значенням порядку 0,04 мВ на  $10^\circ\text{C}$  зміни температури  $t_0$  холодного спаю. За такою схемою випускаються мілівольтметри з класами точності від 0,5 до 2,5, які призначені для вимірювання відносно високих температур в об'єкті у комплекті з термоелектричними перетворювачами відповідного градуювання: ХК; ХА; ПП; ТВР тощо. Градування обов'язково вказуються на шкалах мілівольтметрів і головках термопар, оскільки ТЕРС термопар різні.

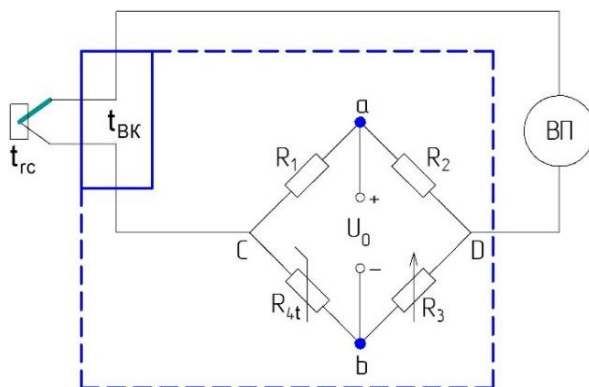


Рис. 6.6.

### 6.3. Програма роботи

1. Ознайомитися із типами, будовою, призначенням термометрів опору та термоелектричних перетворювачів і особливостями їх підключення до вторинних пристроїв.
2. Провести вимірювання температури рідини за допомогою термометра опору та вторинного перетворювача. Оцінити похибки вимірювань.

3. Провести вимірювання температури рідини за допомогою термопари та вторинного перетворювача. Оцінити похибки вимірювань.

#### 6.4. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з будовою лабораторної установки та призначенням всіх її елементів, рис. 6.7.

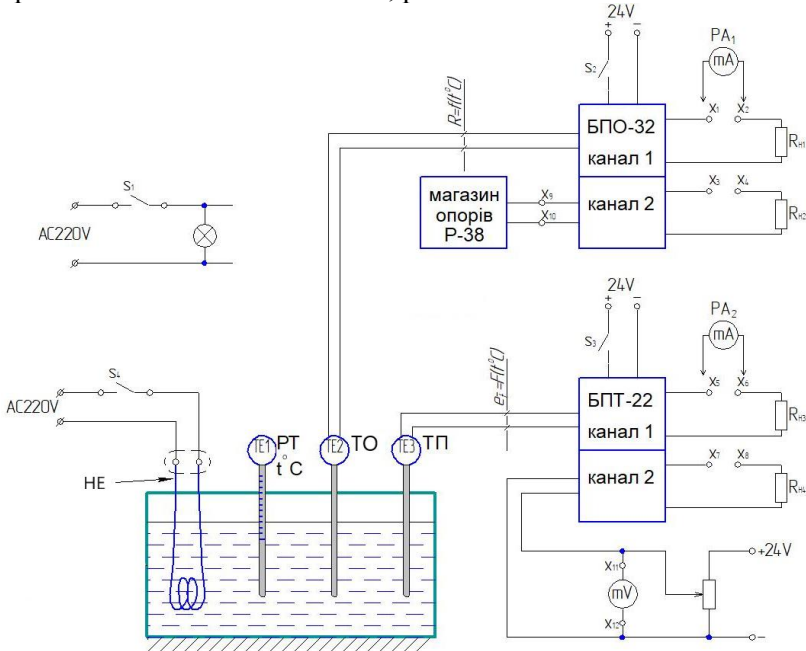


Рис. 6.7 Схема лабораторної установки

$S_1, S_2, S_3$  та  $S_4$  – тумблери (перемикачі);  $PA_1, PA_2$  – міліамперметри;  
 $PV$  – вольтметр; БПО-32 – блок перетворення сигналів термоопорів;  
 БПТ-22 – блок перетворення сигналів термоелектричних перетворювачів;  
 ТО – термометр опору; ТП – термопара; РТ – зразковий термометр,  
 HE – нагрівальний елемент

2. Ввімкнути мультиметри  $PA_1$  і  $PA_2$ , налаштувати на вимірювання постійного струму (DC), межа вимірювання 200 mA

3. Подати напругу на стенд, шляхом переведення ручки тумблера  $S_1$  з положення «0» в положення «1».

4. Подати на блоки БПО-32 і БПТ-22 напругу живлення 24 В шляхом вмикання тумблерів  $S_2$  і  $S_3$ .

5. Подати напругу живлення на нагрівальний елемент НЕ шляхом вмикання тумблера  $S_4$ .

6. За результатами одночасного вимірювання термометром опору і термоелектричним перетворювачем визначити значення температури, що фіксуються за показами термометра РТ, і значення струмового уніфікованого сигналу  $I_y$ . Результати записати в табл. 6.3 і табл. 6.4.

Таблиця 6.3

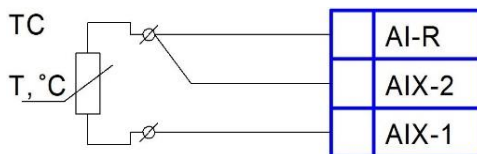
$t, ^\circ C$									
$I_y, mA$									

Таблиця 6.4

$t, ^\circ C$									
$I_y, mA$									

7. За даними табл. 6.3 і табл. 6.4 побудувати графіки  $I_y = f(t)$ .

8. Підключити термометр опору до модуля аналогових входів МВ110-224-8А за 3-провідною схемою.



9. Підключити модуль аналогових входів МВ110-224-8А до ПК через перетворювач інтерфейсів RS-485/USB.

10. Провести конфігурацію модуля, вибравши тип термометра опору для відповідного аналогового входу.

11. Увімкнути нагрівальний елемент. Провести вимірювання при різних значеннях температури води.

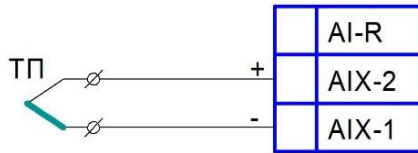
12. Порівняти покази зразкового термометра зі значенням температури, виміряним за допомогою термоопору. Визначити абсолютну, відносну та приведену похибки.

Результати записати в табл. 6.5.

Таблиця 6.5

№ з/п	$t_{PT}, ^\circ C$	$t_{вим}, ^\circ C$	Похибки		
			абсолютна, $^\circ C$	відносна, %	приведена, %
1					
2					
...					
n					

13. Записати номінальні характеристики терморпарі. Підключити терморпару до модуля аналогових входів MB110-224-8A за наступною схемою.



14. Підключити модуль аналогових входів MB110-224-8A до ПК через перетворювач інтерфейсів RS-485/USB.

15. Провести конфігурацію модуля, вибравши тип терморпарі.

16. Провести вимірювання при різних значеннях температури води.

17. Порівняти покази зразкового термометра та терморпарі. Визначити абсолютну, відносну та приведену похибки. Результати записати в табл. 6.6.

18. Зробити висновки.

Таблиця 6.6

№ з/п	$t_{PT}, ^\circ C$	$t_{вим}, ^\circ C$	Похибки		
			абсолютна, $^\circ C$	відносна, %	приведена, %
1					
2					
...					
n					



## **6.5 Контрольні запитання**

1. Який принцип роботи термометра опору?
2. Класифікація термометрів опору.
3. Що таке інерційність термоперетворювача опору, від чого вона залежить?
4. Що таке термопара? Який принцип роботи термоелектричного перетворювача?
5. Які існують типи термопар, чим вони відрізняються?

## **Література**

1. Бурштинський М. В., Хай М. В., Харчишин Б.М. Давачі : навчальний посібник. 2-ге вид. доповн. Львів : ТЗОВ «Простір М», 2014. 202 с.
2. Ельперін І. В., Пупена О. М., Сідлецький В. М., Швед С. М. Автоматизація виробничих процесів : підручник. Вид. 2-ге, виправлене. Київ : Вид. Ліра-К, 2023. 378 с.
3. Контрольно-вимірювальні прилади систем керування / М. В. Лукінюк та ін. Київ : «Видавництво “Науковий світ”», 2016. 649 с.
4. Вимірювальні перетворювачі (сенсори) : підручник / В. М. Ванько та ін.; за ред. проф. Є. С. Поліщука та В. М. Ванька. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. 584 с.
5. Клименко О. П., Каюн І. Г., Шейкус А. Р. Контроль і управління технологічними процесами : навчальний посібник. Дніпро : ДВНЗ УДХТУ, 2019. 179 с.