

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Вінницький національний технічний університет

**ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ**  
**Лабораторний практикум**

**Вінниця**  
**ВНТУ**  
**2013**

УДК 621.317.39 (075.8)

ББК 31.221

В-47

Автори:

**В. Ю. Кучерук, В. М. Севастьянов, О.Г. Ігнатенко,  
В.С. Маньковська**

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 9 від 25.04.2013 р.)

Рецензенти:

**В.П. Квасніков**, доктор технічних наук, професор

**С.Г. Кривогубченко**, кандидат технічних наук, доцент

**М. М. Биков**, кандидат технічних наук, доцент

Вимірювальні перетворювачі : лабораторний практикум/  
В-47 [Кучерук В. Ю., В.М. Севастьянов, О.Г. Ігнатенко, В.С. Маньковська]  
– Вінниця: ВНТУ, 2013. – 183 с.

У лабораторному практикумі розглянуто фундаментальні основи вимірювальних перетворювачів, наведено теоретичні відомості та хід виконання лабораторних робіт. Посібник розроблений відповідно до плану кафедри і відповідає навчальній програмі дисципліни “Вимірювальні перетворювачі”.

**УДК 621.317.39 (075.8)**

**ББК 31.221**

© В. Кучерук, В. Севастьянов, О. Ігнатенко, В. Маньковська 2013

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
<b>Лабораторна робота №1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЄМНІСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА РІВНЯ РІДИНИ.....</b>	<b>6</b>
<b>Лабораторна робота № 2 ВИМІРЮВАННЯ УДОЮ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ МОЛОКО ВИДІЛЕННЯ.....</b>	<b>17</b>
<b>Лабораторна робота № 3 ВИМІРЮВАННЯ PH РОЗЧИНІВ.....</b>	<b>22</b>
<b>Лабораторна робота № 4 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ СПІЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ.....</b>	<b>48</b>
<b>Лабораторна робота № 5 ПЕРЕВІРКА ПРИСТРОЇВ З ДИФЕРЕНЦІЙНО-ТРАНСФОРМАТОРНОЮ ІНДУКТИВНОЮ СХЕМОЮ.....</b>	<b>63</b>
<b>Лабораторна робота № 6 ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ .....</b>	<b>68</b>
<b>Лабораторна робота № 7 ПОВІРКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ЗУСИЛЛЯ.....</b>	<b>80</b>
<b>Лабораторна робота №8 ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ДІЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИМ ВОЛОГОМІРОМ.....</b>	<b>86</b>
<b>Лабораторна робота № 9 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ТЕМПЕРАТУРИ НА БАЗІ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ВИМІРЮВАЧА-РЕГУЛЯТОРА ТРМ1.....</b>	<b>105</b>
<b>Лабораторна робота № 10 ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ТА МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ВАЛУ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....</b>	<b>131</b>
<b>Лабораторна робота № 11 РЕЗИСТИВНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ КУТОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ.....</b>	<b>157</b>
<b>Лабораторна робота № 12 ПОВІРКА ЛІЧИЛЬНИКА ВОДИ.....</b>	<b>162</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>181</b>

## ВСТУП

Розвиток науки і техніки завжди був пов'язаний з прогресом в області вимірювань. У фізиці, механіці і інших науках вимірювання дозволили точно встановити залежності, що виражають об'єктивні закони природи, тому ці науки називаються точними. Лорд Кельвін писав: «Кожна річ відома лише у тій ступені, в якій її можна виміряти».

Кожному новому відкриттю в області технічних і природничих наук передувала велика кількість різних вимірювань. Німецький фізик Г. Ом встановив основний закон електричного кола (закон Ома) в 1826 році шляхом низки точних експериментів, а в 1827 році дав йому теоретичне обґрунтування.

Перший в світі електровимірювальний прилад – «вказівник електричної сили» був створений у 1745 році академіком Г. В. Ріхманом, соратником М. В. Ломоносова. Це був електрометр – прилад для вимірювання різниці потенціалів, призначений для вимірювання атмосферної електрики. Однак тільки з другої половини 19 століття у зв'язку зі створенням і практичним застосуванням генераторів електричної енергії гостро постало питання про розробку різних електровимірювальних приладів, відсутність яких стримувала розвиток електротехніки.

Багато зробив для електровимірювальної техніки в другій половині 19 та на початку 20 століття видатний російський електротехнік М. О. Доливо-Добровольський. Ним були розроблені амперметр і вольтметр електромагнітної системи, виготовлений індукційний вимірювальний механізм з рухомою частиною у вигляді диска, що обертається, розроблені рекомендації щодо конструювання феродинамічних приладів.

Важливу роль у розвитку електровимірювальної техніки відіграли праці академіка Б. С. Якобі. Ним були розроблено ряд приладів для вимірювання опору електричного кола, зроблені перші кроки в області забезпечення єдності в вимірюваннях електричних величин. Річ в тому, що до 1880 року на практиці використовувалось 15 різних одиниць електричного опору, 8 одиниць ЕРС, 5 одиниць електричного струму. Таке положення сильно ускладнювало співставлення результатів розрахунків і вимірювань, що виконувались різними дослідниками. Гостро відчувалась необхідність введення єдиної системи електричних одиниць. Ця система була прийнята Першим конгресом з електрики, що відбувся у 1881 році. Прогрес у розвитку засобів електровимірювальної техніки був забезпечений подальшим розвитком теорії вимірювань і розробкою на її основі нових методів вимірювань, крім того широким використанням у конструкціях засобів вимірювань останніх досягнень мікроелектроніки, автоматичної, обчислювальної техніки, а також успішним вирішенням ряду технологічних задач.

Новим кроком у розвитку електровимірювальної техніки стала розробка і освоєння серійного випуску цифрових вимірювальних приладів (ЦВП). Висока точність, швидкодія, перешкодостійкість, малий відбір потужності від об'єкта вимірювання, зручність візуального відліку, можливість подачі результату вимірювання у вигляді коду в зовнішні пристрої та ряд інших цінних ознак характерні для ЦВП поряд із повною автоматизацією процесу вимірювання. При розробці ЦВП поєднуються останні досягнення теорії електричних вимірювань із сучасною мікроелектронною елементною базою, автоматикою та обчислювальною технікою. На сьогодні намітилася певна тенденція до застосування в електровимірювальних приладах мікропроцесорів. Останні дозволяють проводити обробку результатів вимірювання шляхом множення або ділення вимірюваної величини на постійний коефіцієнт, віднімання постійного коефіцієнта зі значення вимірюваної величини, контролю значення вимірюваної величини щодо заданих меж зони допуску, обчислення статистичних характеристик контрольованого процесу, лінеаризацію характеристик вимірювальних перетворювачів тощо. Застосування мікропроцесорів також впливає на сам процес вимірювання та калібрування приладу.

Сучасна інформаційно-вимірювальна техніка у своєму розпорядженні засобами вимірювання містить близько двохсот різних фізичних величин – електричні, магнітні, теплові, акустичні, механічні тощо. Більша частина цих величин в процесі вимірювання перетворюються в електричні величини, які є більш зручніші для передачі, підсилення, математичної обробки і точного вимірювання. Тому в сучасній вимірювальній техніці знаходять широке застосування перетворювачі різного роду фізичних величин в електричні.

Термін “вимірювальний перетворювач” (ВП) використовується досить часто і в різних смислах.

В даному посібнику під вимірювальним перетворювачем розуміється елементарний вимірювальний перетворювач, виконаний на основі деякого визначеного принципу.

## Лабораторна робота №1

### 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЄМНІСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА РІВНЯ РІДИНИ

**Мета роботи:** ознайомитися з принципом дії та конструктивними особливостями цифрового вимірювача L, C, R E7-8, вивчити принцип дії ємнісного перетворювача, який використовується для вимірювання рівня рідини, визначити його рівняння перетворення та отримати практичні навички по вимірюванню рівню рідини.

#### Теоретичні відомості

##### 1.1 Основні поняття

Засоби вимірювання, сигналізація і регулювання рівня знаходять широке використання в різних галузях народного господарства. Частка вимірювання рівня від 5 до 10% усіх вимірів.

Практично всі технологічні процеси в різних галузях промисловості дуже часто потребують постійного автоматичного контролю кількості накопиченого матеріалу, сировини, рідини і газу. Контроль рівня часто має також важливе значення і для безаварійної роботи обладнання.

Рівнем називають висоту заповнення технологічного апарата робочим середовищем - рідиною або сипучим тілом. Рівень робочого середовища є технологічним параметром, інформація про нього необхідна для контролю режиму роботи технологічного апарата, а в ряді випадків для керування виробничим процесом і для проведення заходів щодо енергоаудиту. Шляхом вимірювання рівня можна одержувати інформацію про масу рідини в резервуарах. Подібна інформація широко використовується для керування виробничим процесом. Рівень вимірюють в одиницях довжини.

Прилади для вимірювання рівня поділяються: за видом вимірювальної речовини, по принципу дії, по призначенню: для контролю та сигналізації граничних значень рівня; для безперервного вимірювання значень рівня; для визначення границі розділу двох незмішуваних середовищ; які мають різну густину та акустичний опір (наприклад вода та керосин).

В даний час вимірювання рівня в багатьох галузях промисловості здійснюють різними за принципом дії рівнемірами. За принципом вимірювання рівнеміри діляться на такі основні групи: механічні, гідростатичні, електричні, акустичні, ультразвукові і радіоізотопні.

У останній час відомо більше десяти методів, на основі яких можуть бути побудовані рівнеміри. Але найширше застосування отримали ємнісні перетворювачі із-за своєї універсальності, високої чутливості та надійності.

По своїй конструкції рівнеміри можуть мати шкальні і безшкальні датчики, що працюють із самописними і регулюючими вторинними

приладами. За допомогою таких приладів здійснюється автоматичний контроль і регулювання рівня рідин і сипучих матеріалів, а також звукова і світлова сигналізація підвищення або зниження рівня контрольованого середовища.

Прилади для вимірювання рівня в залежності від категорії вибухозахищеності можуть бути використані тільки відповідно до їх паспортних даних та інструкцій заводів-виробників. Вибухозахищені прилади всіх типів (рівня, тиску, витрат, температури, газового аналізу і т.д.) мають індекс ВЗГ (вибухозахищені герметичні). На корпусі датчика приладу вказується вибухозахищене виконання датчика і робоче середовище, у якому допускається експлуатація приладу: ВЗГ/метан, ВЗГ/сірчаний ефір, ВЗГ/водень.

Сучасний рівень наукових досліджень, створення та оновлення нових високоточних технологій підвищують вимоги до методів та засобів вимірювання рівня рідини та сипучих матеріалів, їх наукової обґрунтованості, універсальності, точності та надійності. Частка вимірювання рівня від 5 до 10% усіх вимірів.

## **1.2 Основні характеристики та принцип дії ємнісного первинного вимірювального перетворювача**

У останній час відомо більше десяти методів, на основі яких можуть бути побудовані рівнеміри. Але найширше застосування отримали ємнісні перетворювачі із-за своєї універсальності, високої чутливості та надійності. Вони зберігають працездатність при високому тиску та температурі, можуть працювати у агресивних середовищах. Практичні обмеження на умови експлуатації таких перетворювачів накладаються лише властивостями матеріалів з яких вони виготовлені. На їх роботу впливають зовнішні електричні поля, вологість та температура оточуючого середовища.

У роботі ємнісного перетворювача використаний електроємнісний метод контролю і (ЕМК). ЕМК передбачає введення об'єкту контролю (ОК) або його досліджуваної частини у електростатичне поле та визначення шуканих характеристик об'єкту контролю з викликаної ним зворотної реакції на джерело цього поля. В якості джерела поля застосовують електричний конденсатор, який одночасно є і первинним електроємнісним перетворювачем, так як здійснює перетворення фізичних та геометричних характеристик ОК у електричний параметр (ємність та тангенс кута діелектричних втрат). Електрична ємність та діелектричні втрати є первинними інформаційними параметрами ЕМК. Інформативність ЕМК визначається залежністю первинних інформаційних параметрів ЄП від характеристик об'єкту контролю – безпосередньо від електричних характеристик (наприклад діелектричної проникності) та геометричних розмірів ОК.

Принцип дії ємнісного рівнеміра полягає у вимірюванні ємності ємнісного перетворювача, наприклад циліндричного конденсатору, вміщеного у резервуар, у якому треба виміряти рівень рідини.

Конденсатор може бути утворений стінками резервуара та щупом, які і будуть його електродами. Очевидно, що довжина електродів повинна бути не менше максимального рівню рідини.

Ємнісний рівнемір, у загальному випадку, може використовуватись для вимірювання рівню  $h$  - площини розділу двох речовин, що відрізняються за своїми електричними характеристиками. Оскільки діелектрична проникність  $E_p$  рідини, рівень якої вимірюється, відрізняється від діелектричної проникності повітря  $E_{\Pi}$  (або суміші парів рідини та повітря), то ємнісний перетворювач можна уявити як два паралельно з'єднаних конденсатори. Конденсатор  $C_1$  створений частиною електродів та діелектриком-рідиною, рівень якої вимірюється, а конденсатор  $C_2$  - частиною електродів, що залишилися та діелектриком-повітрям. Ємність перетворювача:

$$C = C_1 + C_2. \quad (1.1)$$

Необхідною умовою роботи ємнісного перетворювача рівня є відмінність діелектричних проникностей рідини та повітря, тобто  $E_p \neq E_{\Pi}$ . На цій особливості базується принцип дії ємнісного рівнеміра.

В реальних конструкціях ємнісних рівнемірів для забезпечення механічної надійності та зменшення відносного зміщення електродів, останній фіксується з допомогою прокладок, шайб і т.п. Уся ця конструкція буде мати особисту ємність, тобто перетворювач буде мати додаткову конструктивну складову ємності  $C_0$ , яка не зміниться в залежності від рівню заповнення перетворювача рідиною. Тоді загальна ємність перетворювача буде складатися із ємності трьох паралельно з'єднаних конденсаторів, тобто:

$$C = C_0 + C_1 + C_2, \quad (1.2)$$

де  $C_0$  - ємність конструктивних елементів перетворювача.

Якщо перетворювач використовувати для вимірювання не електропровідних рідин, то розрахункові формули перетворювача будуть мати вигляд:

$$C_1 = \frac{2\pi \cdot E_0 \cdot E_p \cdot h}{\ln \frac{D}{d}}, \quad (1.3)$$

$$C_2 = \frac{2\pi \cdot E_0 \cdot E_{\Pi} \cdot (1-h)}{\ln \frac{D}{d}}. \quad (1.4)$$



Ці складові обчислюються як ємності циліндричних конденсаторів. Загальна ємність перетворювача буде:

$$C = C_0 + \frac{2\pi \cdot E_0 \cdot E_p \cdot h}{\ln \frac{D}{d}} + \frac{2\pi \cdot E_0 \cdot E_{II} \cdot (1-h)}{\ln \frac{D}{d}}. \quad (1.5)$$

Якщо позначити член  $C_n = \frac{2\pi \cdot E_0}{\ln \frac{D}{d}}$  як погонну геометричну ємність,

то отримаємо вираз для рівняння перетворення у вигляді:

$$C = C_0 + C_{n1} E_n + C_{nh} (E_p - E_{II}). \quad (1.6)$$

Як видно із останнього виразу, функція перетворення ємнісного перетворювача є лінійною відносно рівня який вимірюється, але має початкове зміщення. Якщо рідина, рівень якої вимірюється, не випаровується при робочій температурі експлуатації, то у повітрі над поверхнею відсутні пари рідини, і, враховуючи те, що діелектрична проникність повітря  $E_{II} = 1$ , функція перетворення набуде вигляду

$$C = a + bh, \quad (1.7)$$

де  $a = C_0 + C_{n1}$ ;  $b = C_n (E_p - 1)$ .

Завдяки лінійності функції перетворення, чутливість ємнісного перетворювача є сталою величиною та визначається за формулою:

$$S = \frac{\Delta l}{\Delta h} = C_n (E_p - E_{II}). \quad (1.8)$$

В разі вимірювання рівнів електропровідних, а також хімічно-активних рідин (лугів, кислот, солоної води і т.п.) для захисту електродів від корозії, їх покривають шаром ізоляційного покриття із діелектричною проникністю  $E_{I3}$ , причому  $E_{I3}$  відмінне від значень  $E_p$  та  $E_{II}$ .

Якщо товщина ізоляції  $f$ , то формули (1.3) та (1.4) набудуть наступного вигляду

$$C_1 = \frac{2\pi \cdot E_0 \cdot E_p \cdot E_{I3} \cdot h}{E_p \ln \frac{d+2f}{d} + E_{I3} \cdot \ln \frac{D}{d+2f}}, \quad (1.9)$$

$$C_2 = \frac{2\pi \cdot E_0 \cdot E_{II} \cdot E_{i3} \cdot (1-h)}{E_{II} \ln \frac{d+2f}{d} + E_{i3} \cdot \ln \frac{D}{d+2f}} \quad (1.10)$$

У всіх наведених формулах  $E_0 = 8,854$  (пФ/м) - абсолютна діелектрична проникність вакууму.

### 1.3 Опис лабораторного стенду

Пристрій, що використовується у даній роботі, складається із резервуара 1, у якому вміщений циліндричний ємнісний перетворювач 2. Резервуар із перетворювачем з'єднаний гнучким шлангом 3 з додатковим резервуаром 4 з рідиною. Останній може зміщуватись з допомогою гвинта 5. Біля резервуара розміщена лінійка 6 із поділками через 1 мм. Перетворювач під'єднаний до цифрового мосту 7. Зміщуючи, за допомогою гвинта додатковий резервуар, можна вимірювати рівень рідини у резервуарі 1, який вимірюється лінійкою, а ємність перетворювача - цифровим мостом.

У лабораторній роботі досліджується ємнісний перетворювач, який використовується для вимірювання рівня води у резервуарі. Загальна довжина перетворювача  $l=38,5$  см. Діаметр зовнішнього електрода - 13 мм, внутрішнього - 6 мм, товщина ізоляції - 1 мм. Рівень, що вимірюється, близько - 10 см, ємність незаповненого рідиною перетворювача - 38 пФ. Діелектрична проникність рідини, повітря та ізоляції рівні відповідно  $E_p=2.1$ ;  $E_{II}=1$ ;  $E_{i3}=4$ . Абсолютна похибка вимірювання по лінійці не перевищує 0,5 мм. 0,2% загального рівня рідини. Похибка вимірювання ємності мостом не перевищує 0,1%.

### 1.4 Прилад для вимірювання L, C, R E7-8

Цифровий вимірювач L, C, R E7-8 (рис.1.2) призначений для автоматичного вимірювання параметрів конденсаторів, котушок індуктивності, резисторів з цифровим відліком вимірюваних величин і виведенням інформації про результати вимірювання в кодї 8-4-2-1. В основі роботи приладу лежить мостовий метод з фазочутливими детекторами зрівноваження. Забезпечує вимірювання наступних величин: позитивної і негативної ємності з втратами по паралельній схемі заміщення, вираженими у формі тангенса кута втрат або активної провідності; позитивної та негативної індуктивності з втратами по послідовній схемі заміщення, вираженими у формі тангенса кута втрат або активного опору; активного опору з послідовною реактивною складовою, вираженою у формі позитивної або негативної індуктивності; активної провідності з паралельною реактивною складовою, вираженою у формі позитивної або негативної ємності.

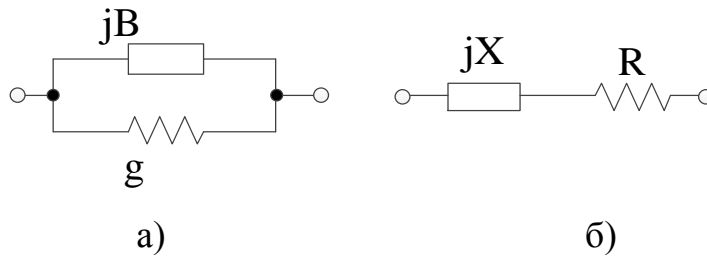


Рисунок 1.1 - Схеми заміщення вимірюваних об'єктів



Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд цифрового вимірювача L, C, R E7-8

Структура і робота приладу E7-8 полягає в наступному: конденсатори, котушки індуктивності та резистори мають комплексні опори і можуть бути представленні у вигляді однієї із схем заміщення (рис.1.1 а і б).

При паралельній схемі заміщення вимірюваний імпеданс представляється у вигляді повної провідності  $\bar{y}$ , складові якої (активна провідність  $g$  і реактивна  $-jB$ ) з'єднанні паралельно

$$\bar{y} = g + jB. \tag{1.11}$$

Якщо характер реактивної провідності ємнісний, то

$$\bar{y} = g + j\omega C, \tag{1.12}$$

$$B = \omega C, \tag{1.13}$$

$\omega = 2\pi f$ , де  $f$  – частота.

При індуктивному характері реактивної провідності

$$\bar{y} = g + \frac{1}{j\omega L} = g - j\omega \frac{1}{\omega^2 L}, \quad (1.14)$$

$$B = -\omega \frac{1}{\omega^2 L} = \omega(-C) \quad (1.15)$$

і, відповідно, індуктивність при паралельній схемі заміщення проявляється у вигляді негативної ємності.

$$-C = -\frac{1}{\omega^2 L}. \quad (1.16)$$

Таким чином, паралельну схему заміщення можна характеризувати активною провідністю  $g$  і позитивною або негативною ємністю  $\pm C$ .

При послідовній схемі заміщення імпеданс  $\bar{z}$  представляється у вигляді послідовного з'єднання активного опору  $R$  і реактивного опору  $jX$ .

$$\bar{z} = R + jX. \quad (1.17)$$

Послідовну схему заміщення можна характеризувати активним опором  $R$  і позитивною або негативною індуктивністю  $\pm L$

$$\bar{z} = R \pm j\omega L, \quad (1.18)$$

при чому негативна індуктивність визначає ємнісний характер реактивного опору

$$-L = -\frac{1}{\omega^2 C}. \quad (1.19)$$

Схеми заміщення не завжди відповідають фізичній структурі вимірюваного об'єкту, але в основному на частоті 1 кГц фізична структура конденсаторів відповідає паралельній схемі заміщення, а котушок індуктивності – послідовній. Тому прилад Е7-8 вимірює характеристики конденсаторів у вигляді компонентів паралельної схеми заміщення, а котушок індуктивності – у вигляді компонентів послідовної схеми.

Дуже часто активна складова (втрати) конденсаторів і котушок індуктивності характеризуються відносним фактором втрат. Таким фактором для конденсаторів є тангенс кута втрат ( $\text{tg}\delta$ ), а для котушок індуктивності – добротність ( $Q$ ). При введенні цих характеристик повна провідність і повний опір визначаються за виразами

$$\bar{y} = \pm j\omega C \left(1 - j \frac{g}{\omega C}\right) = \pm j\omega C (1 - j \text{tg}\delta), \quad (1.20)$$

$$\text{де } \text{tg}\delta = \frac{g}{\omega C} = \frac{g}{B}.$$

$$\bar{z} = \pm j\omega L(1 - j\frac{R}{\omega L}) = \pm j\omega L(1 - j\text{tg}\delta), \quad (1.21)$$

$$\text{де } \text{tg}\delta = \frac{R}{\omega L} = \frac{1}{Q}.$$

Прилад Е7-8 забезпечує можливість вимірювання втрат конденсаторів і котушок індуктивності як в формі тангенса кута втрат ( $\text{tg}\delta$ ), так і у формі активної провідності (для конденсаторів) або опору (для котушок індуктивності).

Елементи одної схеми заміщення можуть бути вираховані при відомих елементах іншої схеми, при цьому тангенс кута втрат для кожної із схем однаковий. Формули перерахунку елементів паралельної схеми в послідовну

$$\pm X = \pm \frac{B}{g^2 + B^2} = \pm \frac{1}{B(1 + \text{tg}^2\delta)}, \quad (1.21)$$

$$R = \frac{g}{g^2 + B^2}. \quad (1.23)$$

Формули перерахунку елементів послідовної схеми в паралельну

$$\pm B = \pm \frac{X}{g^2 + X^2} = \pm \frac{1}{X(1 + \text{tg}^2\delta)}, \quad (1.24)$$

$$g = \frac{R}{R^2 + X^2}. \quad (1.25)$$

Визначення знаку вимірюваної реактивності відбувається як вручну, так і автоматично в режимі С, G і L, R і тільки вручну в режимі С,  $\text{tg}\delta$  або L,  $\text{tg}\delta$ . Структурна схема вимірювача Е7-8 наведена нижче на рисунку 1.3.

Живлення мосту здійснюється від генератора 1000 Гц. Напруга розбалансу мостової схеми через підсилювач сигналу поступає на входи фазових детекторів активної (АС) та реактивної (РС) складових.

Опорні напруги фазових детекторів знімаються з мостової схеми і вибираються такими, щоб зв'язок контурів зрівноваження був мінімальним. Вихідні напруги розбалансу з фазових детекторів подаються на реверсивні лічильники, які управляють станом органів зрівноваження мостової схеми, і на генератори імпульсів, що задають швидкість рахунку реверсивних лічильників. Напрямок рахунку реверсивних лічильників визначаються знаком напруги розбалансу фазового детектору, швидкість рахунку – величиною цієї напруги. Чим далі міст від стану рівноваги, тобто більша напруга розбалансу,

тим більша частота послідовності імпульсів від генераторів АС і РС, тим більша швидкість рахунку реверсивного лічильника і швидший процес зрівноваження мосту. По мірі приближення до балансу напруга розбалансу зменшується, внаслідок чого уповільнюється швидкість зрівноваження мосту.

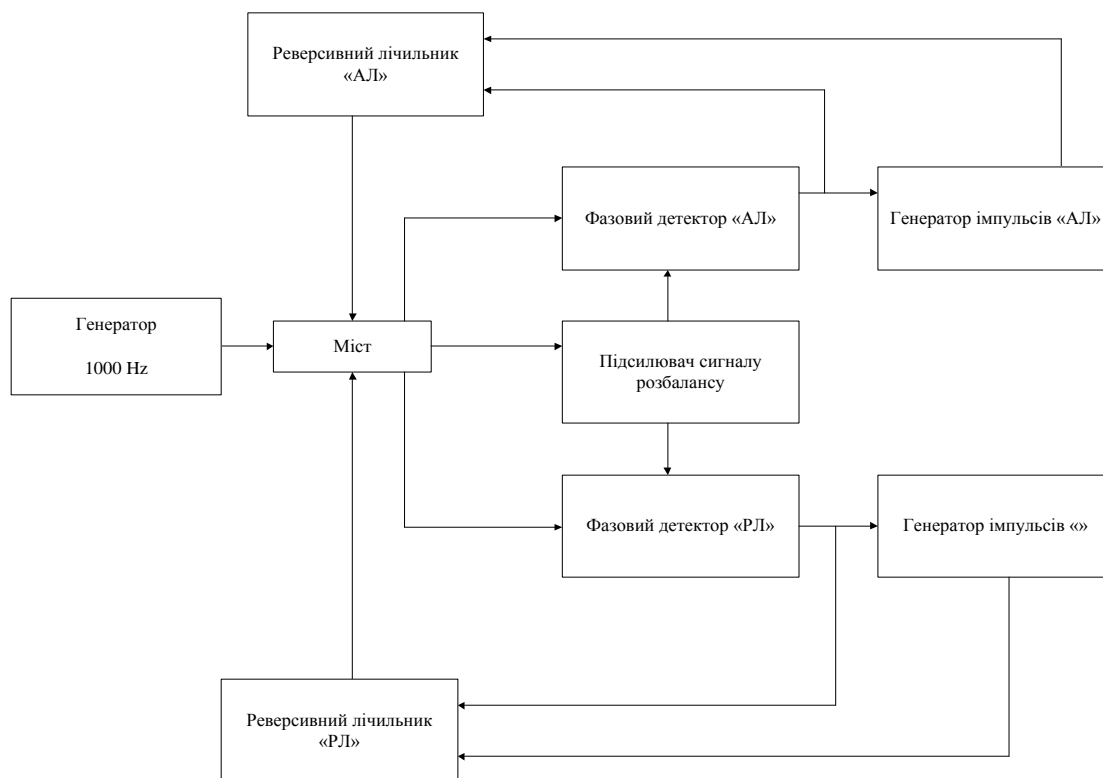


Рисунок 1.3 – Структурна схема Е7 – 8

Для пуску і зупинки системи дискретного зрівноваження застосовується допоміжна система аналогового зрівноваження (САЗ), плавно зрівноважуючи міст в межах  $\pm 0,6$  одиниці дискретності (на рис.1.4 вона для спрощення опущена). При наявності розбалансу більшого 0,6 одиниці дискретності САЗ знаходиться в стані обмеження і відбувається дискретне зрівноваження мосту. В разі досягнення розбалансу, що не перевищує  $\pm 0,6$  одиниці дискретності, САЗ виходить зі стану обмеження і зупиняє роботу схеми дискретного зрівноваження мосту.

Конструкція Е7-8 наступна: прилад виконаний в настільному переносному варіанті в безфутлятному оформленні. Передбачена можливість встановлення пристрою в шафу системи.

Органи управління і відлік пристрою, розміщені на передній панелі:

1. Цифрове табло, на якому показані результати вимірів;
2. Органи запуску пристрою: тумблер ЗАПУСК, кнопка одиночного запуску РУЧНИЙ і гніздо зовнішнього запуску ЗОВНІШНІЙ;
3. Два перемикачі ВИД ВИМІРЮВАНЬ, кожний на два положення;

4. Перемикач МЕЖІ ВИМІРЮВАНЬ на 8 положень;
5. Чотири гнізда I, U, I', U' для включення відповідних роз'ємів з'єднувальних кабелів;
6. Перемикач знаку реактивності ЗНАК C, L на 3 положення;
7. Органи задання вимірювальному об'єкту режимів по постійному струму: стрілковий пристрій, перемикач U ПОЛЯР., I ПІДМАГН. на 3 положення і змінний резистор для регулювання напруги поляризації і струму підмагнічення;
8. Тумблер МЕРЕЖА;
9. Пускова клема.

### **1.5 Підготовка до роботи**

Перед вмиканням приладу в мережу необхідно ознайомитись з технічним описом, інструкцією по експлуатації, положенням органів управління і вихідних пристроїв.

Щоб підготувати прилад до роботи, виконайте наступні операції:

- підключіть до приладу кабель живлення;
- заземліть прилад за допомогою клеми захисного заземлення;
- перевірте правильність установки та номінали запобіжників;
- встановіть тумблер МЕРЕЖА в нижнє положення і включіть в мережу кабель живлення приладу;
- до гнізд Zx (I, U, I', U') під'єднайте кабель з'єднувальний №2;
- встановіть перемикач U ПОЛЯР., I ПІДМАГН. в положення ВИКЛ.,

### **1.6 Хід роботи**

Для підвищення стійкості показників приладу необхідно вимірювальний об'єкт і прилад розміщувати подалі від джерел електромагнітних полів. За допомогою затискачів, ємнісний первинний вимірювальний перетворювач під'єднати до цифрового вимірювача R, L, C E7 – 8 (поляриність немає значення).

1. На лицевій панелі E7 - 8 ввімкнути тумблер «СЕТЬ» і дайте приладу нагрітись протягом 1 хв.
2. Перемикачі «Вид измерения» поставити в положення «C, G та G, R».
3. Тумблер «Запуск» поставити в положення «СЛЕДЯЩИЙ».
4. Перемикач «Пределы измерений» поставити в положення «АВТ.».
5. Перемикач «Знак C, L» поставити в положення «АВТ.».

### **1.7 Проведення експериментальних досліджень та обробка результатів**

Експериментальне визначення коефіцієнтів функції перетворення

$C=f(h)$  та похибки вимірювання провести у наступному порядку:

1. Виміряти ємність перетворювача без рідини. Для цього нам потрібно виставити по шкалі лінійки рівень нуля і визначити ємність  $C_0$ .

1.1. Визначити значення ємності  $C_i$  у кожній точці  $h_i$ . Тобто, виміряти ємність первинного перетворювача десять разів, виставляючи за допомогою гвинта рівень рідини на ряд міток по лінійці, де кожному значенню рівня ( $h_i = 1$  см; 2 см і т.д.) буде відповідати значення ємності перетворювача. Дані занести до таблиці 1.1.

2. Побудувати графік залежності ємності від рівня рідини  $C=f(h)$ .

3. Визначити коефіцієнт функції перетворення.

4. Апроксимувати отриману функцію і побудувати графік.

5. Визначити абсолютну похибку апроксимації в кожній точці значення рівня рідини.

Таблиця 1.1 – Результати вимірювання

Рівень, см	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ємність, Ф	0.212 $\cdot 10^{-9}$	0.208 $\cdot 10^{-9}$	0.204 $\cdot 10^{-9}$	203 $\cdot 10^{-12}$	208.3 $\cdot 10^{-12}$	218.8 $\cdot 10^{-12}$	237.1 $\cdot 10^{-12}$	253.3 $\cdot 10^{-12}$	261.1 $\cdot 10^{-12}$	271.2 $\cdot 10^{-12}$
$\Delta_A$										

6. Зробити висновки по зробленій роботі.

### Контрольні запитання

1. Класифікація приладів для вимірювання рівня.

2. Загальні властивості ємнісних перетворювачів.

3. Основні види ємнісних перетворювачів.

4. Принцип дії ємнісного перетворювача.

5. Конструктивні різновиди ємнісних рівнемірів.

6. Що покладено в основу вимірювальних кіл ємнісних перетворювачів.



## Лабораторна робота №2

### 1 ВИМІРЮВАННЯ УДОЮ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ МОЛОКОВИДІЛЕННЯ

**Мета роботи:** ознайомитись з приладом для вимірювання удою та контролю інтенсивності молока виділення, розглянути принцип побудови приладу та його основні властивості, отримати практичні навички роботи зі стендом в ході виконання лабораторної роботи.

#### Теоретичні відомості

##### 1.1 Огляд методів та засобів для вимірювання удою та контролю інтенсивності молока виділення

Принцип роботи доїльних апаратів ґрунтується на законах аеро- і гідродинаміки. Різниця між тиском у вим'ї і в доїльних стаканах відкриває сфінктер (кільцевий м'яз). Молоко після цього витікає з дійки. Існують певні фактори навколишнього середовища (час, місце, послідовність операцій на вим'ї, запуск у роботу вакуумнасоса та ін.), які збігаються в часі з актом доїння. В результаті цього, а також багаторазового доїння в сталих умовах на фермі у корів формуються умовні рефлексії молоковіддачі і виробляється стійкий стереотип поведінки під час машинного доїння.

Одним з напрямків в розвитку доїльної техніки пов'язаний з управлінням процесом машинного доїння корів по величині потоку молока, зміні вакуумметричного тиску, частоти пульсацій. Створення давачів потоку та підрахунку кількості молока має велике господарське значення в боротьбі з маститами, дозволяє ефективно вести роботу на фермах великої рогатої худоби. Основним робочим вузлом доїльної установки є доїльний апарат. Через нього відбувається контакт машини з тваринами.

Показовими у галузі доїння корів є розробки фірми "Вестфалія Ландтехнік" (Німеччина). Вона поставляє мікропроцесорний пристрій **Метатрон**, призначений для автоматизованого управління доїнням і знімання комплексу зооветеринарних показань кожної корови.

Пристрій характеризується високою точністю вимірювань, компактністю. Вони прості й надійні в експлуатації, мають низьковольтне живлення (24 В). Після комплексних випробувань у НДІ молочного господарства (м. Кіль, ФРН) ці прилади сертифіковані Міжнародним комітетом з продуктивності тварин (ICAR) і рекомендовані для молочного виробництва як еталонні.

Метатрон складається з електронного керуючого блоку з відеотерміналом та вимірювальної ємності. Термінал розміщений в корпусі з нержавіючої сталі. Зовні він являє собою невеликий операторський пункт,

панель якого обладнана клавішами введення команд, цифровим табло, малими світловими індикаторами й великою сигнальною лампочкою, покажчиками кодів символів (пиктограм контрольованих параметрів). Пульти закріплюють біля стояка доїльного станка на рівні очей дояра-оператора. Герметична компактна ємність (малогобаритна мірна посудина з прозорого пластику), що добре промивається легко монтується на молокопроводі біля верхнього краю траншеї доїльного майданчика. Молоко в ємність надходить плавно, без порушення стабільності вакууму й процесу видоювання. Функціональний принцип вимірювання дає змогу точно фіксувати надій без урахування утворюваної піни (навіть за великої кількості надоеного молока). Можливе автоматичне взяття проб у вигляді окремої дози молока для його оцінки шляхом підключення пробовідбірника (невеликого прозорого циліндра). Управління електронною системою приладу здійснюється від мікропроцесора розміщеного в терміналі. Автоматично фіксується максимальна й середня молоковіддача, тривалість видоювання, абсолютний і відносний надій і багато інших лактаційно-фізіологічних параметрів кожної тварини, що дає змогу швидко розпізнавати, виділяти тугодійних, малопродуктивних або нездорових корів і виключати їх із обслуговуваного стада. Крім того пристрій виконує всі функції автоматичного регулювання роботи доїльної установки включаючи стимуляцію молоковіддачі, додоювання, знімання стаканів, а також управління воротами – розподільниками потоків руху корів у доїльному залі і промивання всіх молочних ліній за спеціальною програмою. Про всі відхилення у “штатному” проходженні доїння корови оператора попереджають світлова або звукова сигналізація. Передбачені ручне введення окремих команд, запит додаткових свідчень (про якість молока, годівлю, стадії лактації, стан здоров’я корови тощо) і діалоговий режим роботи з оператором. Останні моделі Метатрон обладнані сенсорними датчиками Кіскофф, що контролюють положення доїльних стаканів на дійках тварини. Якщо з вимені спаде бодай один стакан (у цьому разі підвісна частина апарата опиняється на підлозі – це справжнє лихо для операторів доїльних машин), чутливі сенсори миттю, за дві секунди, відмикають вакуум і сповіщають про те, що сталося, дояра. Нововведення унікальне, і його використання на великих високопродуктивних установках (скажімо, типу “карусель”) важко переоцінити.

Дане обладнання має високу ціну, тому використання цієї доїльної системи українськими фермерами, нажаль, неможливо.

Вітчизняним пристроєм для вимірювання удою є маніпулятор для доїння МД-Ф-1-02, який призначений для автоматичного доїння та додоювання корів, зняття та відведення від вимені доїльних стаканів, вимірювання удою від корови при кожному доїнні. Вони використовуються на доїльних установках для доїльних залів. Автомат управління маніпулятора забезпечує контроль за доїнням та удоєм, видає команди маніпуляторам. Він складається з восьми пультів, давачів, блока живлення. Пульти призначений

для управління маніпулятором і обліку удою молока. Молоко від доїльного апарата по молочному шлангу поступає в забірник давача і далі по заспокоюючому пристрою попадає в двохкамерний ковш, що качається. Коли ковш перекидається, залитий в його корпусі постійний магніт діє на контакт, що підключений до пульта. В пульті схема блока доїння обробляє інформацію, що поступає від давача молока, підраховує кількість надоєного молока і, в залежності від інтенсивності молоковіддачі, видає відповідні сигнали електромагнітним клапанам. Блок доїння складається з електронної схеми підрахунку та схеми управління виконавчими пристроями. Основним недоліком даного блоку управління є застаріла елементна база. Електронні схеми реалізовані на елементах жорсткої логіки. Це призводить до ряду недоліків: велика маса та габарити приладу, низька надійність і т. д.

## 1.2 Опис лабораторного стенду

Зовнішній вигляд лабораторного стенду приведений на рисунку 1.1. Даний стенд створений на основі сучасної елементної бази з використанням мікропроцесорної техніки. Стенд складається з ковшового датчика (1), в який за допомогою мірної ємкості (2) подається вимірювана рідина. При подачі необхідної маси рідини мірний ковш змінює своє положення. Кожна зміна положення ковша фіксується гекановим датчиком і відображується на світло індикаторі (3). Кнопка «Пуск» (4), що знаходиться на панелі світло індикації відповідає за обнулення лічильника та перезапуск підпрограми контролю інтенсивності молovidілення.

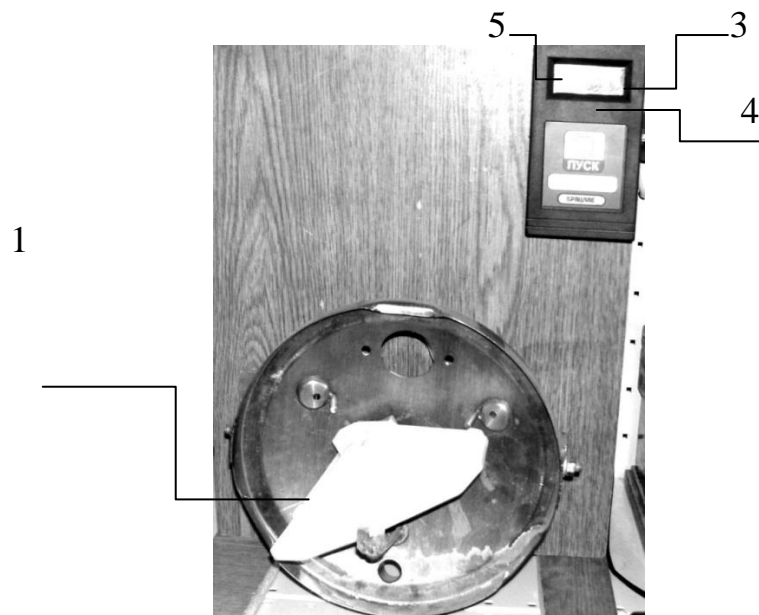


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд лабораторного стенду

У пристрої реалізовано блок передавання інформації про індивідуальний удій тварини до лічильника загального удою типу ЦНС-01.

Передача даних здійснюється за допомогою двохпроводної гальванічно ізольованої лінії зв'язку, яка забезпечує високу завадостійкість. Після подачі напруги пристрій автоматично визначає, у якому стані знаходиться геркон (замкненому йди розімкнутому). Якщо в замкненому, то згодом пристрій реагує на розмикання геркона, якщо в розімкнутому – на замикання. Протягом 2 хвилин після натискання кнопки “ПУСК” пристрій вимірює кількість удою і індикатор холостого доїння (5) не світиться при будь-якій інтенсивності доїння. Після закінчення 2 хвилин після початку доїння пристрій починає крім кількості удою вимірювати інтенсивність доїння. Якщо інтенсивність знижується до 0.2 кг/хв., починає мерехтіти світлодіод індикатора холостого доїння. У випадку збільшення інтенсивності доїння вище 0.2 кг/хв. світлодіод перестане мерехтіти. При повторному зниженні інтенсивності доїння світлодіод почне мерехтіти знову.

Структурна схема пристрою наведена на рисунку 1.2

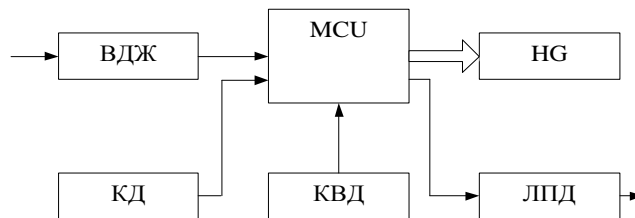


Рисунок 1.2 – Структурна схема приладу для вимірювання удою та інтенсивності молока виділення

На вхід схеми подаємо напругу 27 В, на виході вторинного джерела живлення (ВДЖ) отримуємо напруга номіналом в 5 В, яка живить мікроконтролер (MCU). Ковшовий давач (КД) при зміні свого положення під дією вимірювальної величини створює та посилає електричний імпульс на відповідний вхід мікроконтролера. Мікроконтролер – призначений для обробки вимірювальної інформації, яка переставлена у цифровому вигляді, керування потоками інформації, забезпечення обміну даними між окремими частинами ІВС та зовнішніми пристроями. Після обробки вхідних сигналів мікроконтролер відправляє цифровий код на пристрій світлодіодної індикації (HD) та на лінію передачі даних(ЛПД).

### 1.3 Хід роботи

1. Увімкнути блок живлення в мережевий роз'єм.
2. Дочекатись доки почне світитись індикатор приладу ІД-02.
3. Набрати в мірну ємність рідину (в цілях економії молоко замінюємо водою) та встановити зливний резервуар під мірним ковшем.
4. Наливати воду в мірний ковш до моменту зміни його положення.
5. Після зміни положення ковша кількість рідини визначається по

мірній ємкості.

6. Натискаємо кнопку «Пуск» (1) для обнулення значень лічильника.
7. Залишити стенд увімкненим протягом двох з половиною хвилин.
8. Переконайтесь що почав мерехтіти світлодіод індикатора холостого доїння (2).



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд приладу ІД-02

9. Поступово вилити увесь зміст мірної ємкості у мірний ковш. Обрахувати масу рідини за показами лічильника (з урахуванням пункту 5).
10. Порівняти кількість потрібної рідини для зміни положення ковшового датчика в двох станах та обчислити різницю.
11. Заповнити таблицю 1.1 та зробити висновки по роботі.

Таблиця 1.1 – Результати вимірювання

Кількість рідини для зміни положення мірного ковша	Час від моменту зміни положення ковша до спрацювання індикатора х.х.	Різниця між кількістю рідини для зміни положення датчика в 2 стани	Маса рідини знята за показами лічильника

### Контрольні запитання:

1. В результаті чого у корів формуються умовні рефлексии молоковіддачі і виробляється стійкий стереотип поведінки під час машинного доїння?
2. Хто розробляє і як називається пристрій для автоматизованого управління доїнням і знімання комплексу зооветеринарних показань кожної корови?
3. Опишіть будову та склад пристроя.
4. Що дає змогу швидко розпізнавати, виділяти тугодійних, малопродуктивних або нездорових корів?
5. Який вітчизняний пристрій використовують українські фермери? Його будова? Недоліки?

## Лабораторна робота №3

### 1 ВИМІРЮВАННЯ pH РОЗЧИНІВ

**Мета роботи:** ознайомитись з методами та засобами для вимірювання концентрації водневих іонів, рН-метрією, ознайомитись з будовою і принципом роботи перетворювача промислового П-210, набути навиків вимірювання рН розчинів за допомогою Е.Р.С. електродної системи для одновалентних катіонів.

#### Теоретичні відомості

##### 1.1 Основні поняття про вимірювання рН

Для безлічі хімічних і біохімічних процесів важливим є контроль такого параметру, як водневий показник або рН. Цей показник є величиною, що відображає активність іонів водню, тобто ступінь кислотності (або лужності) вимірюваного розчину. Кислотність середовища має важливе значення для хімічних і біологічних процесів, оскільки можливість перебігу або ж напрям тієї чи іншої реакції часто залежить від рН середовища. Також водневий показник рН широко використовується для характеристики кислотно-основних властивостей різних біологічних середовищ.

У водних розчинах активність іонів водню визначається константою дисоціації води ( $K_w = 1.011 \times 10^{-14}$  при 25 °С) та взаємодією з іншими іонами в розчині. Завдяки такому значенню константи дисоціації нейтральний розчин (де активність іонів водню дорівнює активності гідроксильних груп ОН) має значення рН, що дорівнює 7. Водні розчини із значенням рН, меншим ніж 7, вважаються кислотними, із значенням рН більшим 7 – лужними.

Формула для обчислення величини рН (що не має одиниць розмірності) є наступною:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+].$$

Методи визначення рН:

Для визначення значення рН розчинів широко використовують кілька методик. Водневий показник можна приблизно оцінювати з допомогою індикаторів, точно вимірювати рН-метром або визначати аналітично шляхом проведення кислотно-основного титрування.

1. Для грубої оцінки концентрації водневих іонів широко використовуються кислотно-основні індикатори – органічні речовини-барвники, колір яких залежить від рН середовища. До найбільш відомих індикаторів належать лакмус, фенолфталеїн, метиловий оранжевий

(метилоранж) та інші. Індикатори здатні існувати в двох по-різному пофарбованих формах або в кислотній, або в основній. Зміна кольору кожного індикатора відбувається в своєму інтервалі кислотності, зазвичай становить 1-2 одиниці.

2. Для розширення робочого інтервалу вимірювання рН використовують так звані універсальні індикатори, що представляє собою суміш з кількох індикаторів. Універсальний індикатор послідовно змінює колір з червоного через жовтий, зелений, синій до фіолетового при переході з кислої області в лужну. Визначення рН індикаторним методом ускладнено для каламутних або забарвлених розчинів.

3. Використання спеціального приладу рН-метра дозволяє вимірювати рН в більш широкому діапазоні і більш точно (до 0,01 одиниці рН), ніж за допомогою індикаторів. Іонометричний метод визначення рН ґрунтується на вимірюванні мілівольтметром-іонометром ЕРС гальванічного ланцюга, що включає спеціальний скляний електрод, потенціал якого залежить від концентрації іонів  $H^+$  в навколишньому розчині. Спосіб відрізняється зручністю і високою точністю, особливо після калібрування індикаторного електрода в обраному діапазоні рН, дозволяє вимірювати рН непрозорих і кольорових розчинів і тому широко використовується.

4. Аналітичний об'ємний метод - кислотно-основне титрування - також дає точні результати визначення кислотності розчинів. Розчин відомої концентрації (титрант) по краплях додається до досліджуваного розчину. При їх змішуванні протікає хімічна реакція. Точка еквівалентності - момент, коли титранту точно вистачає, щоб повністю завершити реакцію, - фіксується за допомогою індикатора. Далі, знаючи концентрацію і об'єм доданого розчину титранту, обчислюється кислотність розчину.

## **1.2 Методи та засоби для вимірювання концентрації водневих іонів, рН-метрія**

В практиці аналізу розчинів значне місце займають потенціометричні методи вибіркового вимірювання активної концентрації певних йонів. Потенціометричний метод базується на використанні закону Нернста, що встановлює залежність електродного потенціалу від активної концентрації відповідних йонів у розчині.

Принцип дії гальванічних перетворювачів рН-метрів базується на залежності електродних потенціалів від активності водневих йонів, за якою можна визначити властивості, зокрема концентрацію водних розчинів. Суть цього способу така. Навіть найчистіша вода має деяку діелектричну

провідність, зумовлену наявністю в ній деякої кількості йонів, які виникають у результаті реакції, яка називається автопротолизом  $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$ .

Суть його полягає в переміщенні йонів водню  $\text{H}^+$  від одних молекул води до інших. Отже, у водневих розчинах та й у чистій воді вільних йонів  $\text{H}^+$  немає, а є гідратовані йони гідроксонію  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Однак, для спрощення, дисоціацію подають як



тобто вважають, що молекули води частково дисоціюють на йони водню  $\text{H}^+$  та йони гідроксилу  $\text{OH}^-$ .

Для дистильованої води та нейтральних розчинів активність  $a_{\text{H}^+}$  йонів водню дорівнює активності  $a_{\text{OH}^-}$  йонів гідроксилу, для водних розчинів кислот  $a_{\text{H}^+} > a_{\text{OH}^-}$  і тим більша, чим більша концентрація, а для водних розчинів лугів  $a_{\text{H}^+} < a_{\text{OH}^-}$  і зменшується у міру збільшення концентрації. Водночас для даної температури добуток цих активностей завжди залишається постійним як для води, так і для водних розчинів кислот і лугів, і характеризується так званим йонним добутком води:

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = a_{\text{H}^+} a_{\text{OH}^-}.$$

Встановлено, що при нормальній температурі (20 °C) йонний добуток води

$K_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-14}$  (г-йон/л). У чистій воді або в нейтральному розчині активність йонів  $\text{H}^+$  та  $\text{OH}^-$  однакова, тобто

$$a_{\text{H}^+} = a_{\text{OH}^-} = \sqrt{K_{\text{H}_2\text{O}}} = 10^{-7} \text{ г-йон / л.}$$

Йонний добуток води  $K_{\text{H}_2\text{O}} = a_{\text{H}^+} a_{\text{OH}^-}$  при даній температурі залишається сталим також і для будь-якого водного розчину, зокрема для розчинів кислот із залишком йонів  $\text{H}^+$  або основ із надлишком йонів  $\text{OH}^-$ . В цей же час йонний добуток води є деякою функцією температури, зокрема при  $t=0^\circ\text{C}$   $K_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-15}$  г-йон/л., а при  $t=50^\circ\text{C}$   $K_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-13,2}$  г-йон/л. Відповідно до температури змінюється також концентрація водневих йонів, а отже для однозначного визначення рН необхідно знати температуру розчину.

Отже, при  $K_{\text{H}_2\text{O}} = \text{const}$  для оцінки властивостей водних розчинів достатньо виміряти, наприклад, активність водневих йонів. На практиці для зручності обчислень активність водневих йонів характеризують водневим показником рН, який визначається як від'ємний логарифм активності йонів водню:

$$\text{pH} = -\lg(a_{\text{H}^+}) = -\lg(f_{\text{H}^+} c_{\text{H}^+}).$$

Показник рН для водних розчинів при нормальній температурі



змінюється від 0 для сильно концентрованих водних розчинів кислот до 14 одиниць для концентрованих водних розчинів лугів. У розчинах неводних розчинників показник рН залежно від концентрації буде змінюватися в інших межах, наприклад, в аміаку 0 ... 32,7 од.

Принцип побудови шкали рН пояснює рисунок 1.1.

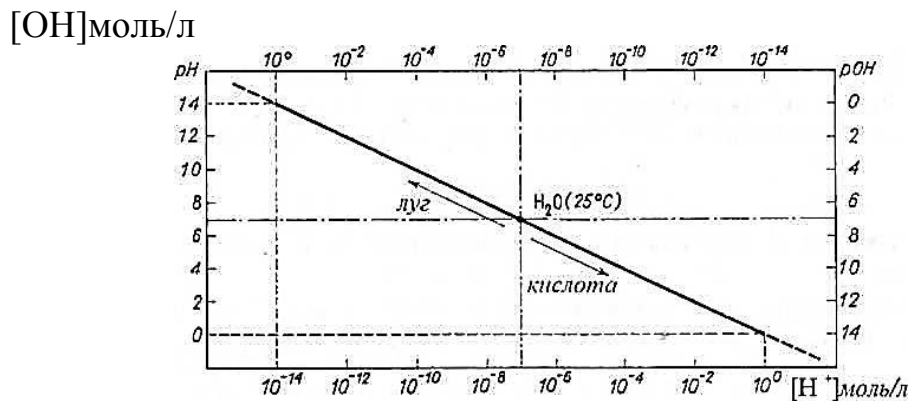


Рисунок 1.1 – Принцип побудови шкали рН

Прилад, призначений для вимірювання рН, називають рН-метром. Найточніший і найуніверсальніший метод вимірювань рН базується на визначенні електродних потенціалів різних електродів, розміщених в досліджуваному розчині. Гальванічні перетворювачі рН-метрів складаються з двох напівелементів: скляного вимірювального, електродний потенціал якого є функцією  $pH_x$  досліджуваного розчину та допоміжного, електродний потенціал якого відомий і не залежить від властивостей досліджуваного розчину.

Скляний вимірювальний напівелемент (рис. 1.2, а) - це тонкостінна (0,05...0,1 мм) колба 2, нижня сферична частина 1 якої виготовлена із спеціального мембранного скла і заповнена так званим буферним розчином, тобто розчином із відомим значенням  $pH_0$ . Всередині колби розміщений хлорсрібний допоміжний електрод 3 (платиновий стержень, покритий шаром хлористого срібла). При зануренні такого скляного напівелемента в досліджуваний розчин на зовнішній стінці колби на межі складосліджуваній розчин виникає електродний потенціал  $e_1$ , значення якого є функцією  $pH_x$ . Це пояснюється процесами йонного обміну. Лужні йони скла (натрій чи літій) переходять у розчин, а їх місця займають рухливіші йони водню із розчину. Внаслідок цього поверхневий шар скла буде насиченим водневими йонами, а скляний електрод набуде властивостей водневого електрода. Водночас на внутрішній стінці колби виникає електродний потенціал  $e_2$ , значення якого зумовлене властивостями буферного розчину, не залежить від  $pH_x$  і є незмінним при незмінній температурі. Ще один електродний потенціал  $e_3$ , незалежний від  $pH_x$ , виникає на хлорсрібному електроді. Результуючий електродний потенціал  $e_x$  вимірювального напівелемента

дорівнюватиме алгебричній сумі трьох вищезгаданих електродних потенціалів і міститиме складову  $e_0=e_2+e_3$ , незалежну від  $pH_x$ , та складову  $e_1$ , що є функцією вимірюваної величини  $pH_x$ :

$$e_x=e_0 + e_1=e_0 + e_{pH} pH_x,$$

де  $e_0$  - електродний потенціал вимірювального напівелемента при  $pH_x=0$ ;

$e_{pH}$  - коефіцієнт, значення якого зумовлене параметрами вимірювального напівелемента (питома ЕРС електрода, мВ/рН).

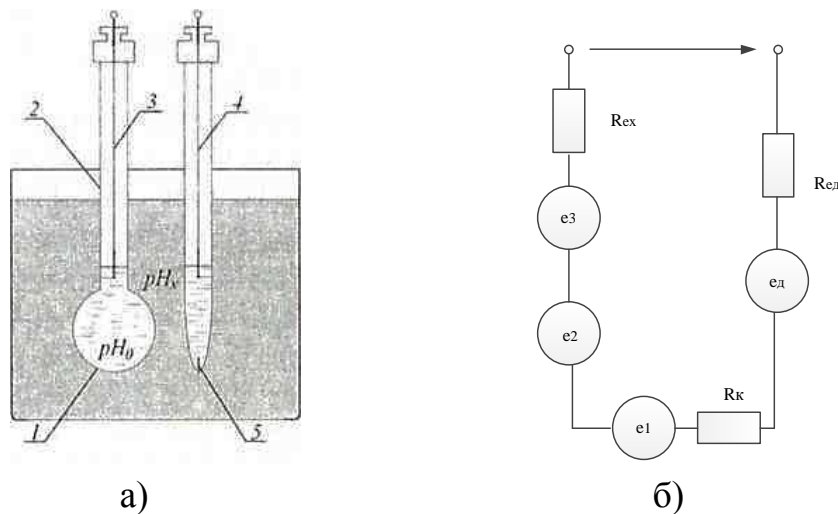


Рисунок 1.2 – Будова гальванічного перетворювача рН-метра та еквівалентна електрична схема

Шар скла між обома поверхнями колби є, по суті, провідником з великим електричним опором ( $R_M= 10^6 \dots 10^9$  Ом) (рисунок 1.2, б), який з'єднує електрично два джерела ЕРС, а саме  $e_1$  та  $e_0$ .

Як допоміжний може бути використаний розглянутий вище водневий напівелемент. Але його практичне застосування обмежене через необхідність безперервного насичення воднем. Тому на практиці використовують звичайно так звані хлор срібні чи інші напівелементи.

Допоміжний хлор срібний напівелемент (електрод) – це товстостінний скляний корпус, всередині якого знаходиться срібний електрод 4, поміщений в 3,5 н. розчин КС1. Дифузійний потенціал на поверхні розділювальної мембрани досягає до 10 мВ. Загальний опір електрода не перевищує 20 кОм.

Допоміжний напівелемент може бути розміщений в досліджуваному розчині чи за його межами, але в обох випадках з'єднаний з досліджуванним розчином за допомогою відповідно розділювальної мембрани чи електролітичного ключа. На рис. 1.2, а допоміжний напівелемент поміщений в досліджуваній розчин і електрично з'єднаний з ним за допомогою електролітичного ключа 5. Еквівалентна електрична схема такого

гальванічного перетворювача наведена на рис. 1.2, б. Тут  $e_x$  і  $e_d$  – відповідно електродні потенціали вимірювального та допоміжного напівелементів,  $R_{ex}$  та  $R_{ed}$  – відповідно повні опори вимірювального та допоміжного електродів;  $R_k$  – опір електролітичного ключа.

Вихідною величиною такого гальванічного перетворювача буде різниця електродних потенціалів

$$E = e_x - e_d = e_0 - e_d + e_{pH}pH = E_0 + e_{pH}pH.$$

Основними складовими похибками рН-метрів є температурна похибка, а також дифузійні потенціали. Для зменшення температурної похибки застосовують електричні кола температурної корекції, а для зменшення дифузійних потенціалів – з'єднання напівелементів через електролітичний ключ.

Вибір системи електродів для первинного перетворювача рН-метра, їх конструктивне оформлення та технічні характеристики визначаються умовами експлуатації, діапазоном вимірювання, необхідною точністю. Для промислових рН-метрів електродна система забезпечується додатковою захисною арматурою для захисту від механічних впливів та для кріплення до досліджуваного об'єкта.

Основними складовими похибки первинних перетворювачів рН-метрів є лужна, дифузійна та температурна похибки. Лужна похибка виникає у лужних середовищах у зв'язку з процесами іонного обміну лужних елементів, тобто переходу лужних іонів (натрію чи літію) із мембранного скла скляного електрода в досліджуваній розчин. Лужна похибка знижує значення вимірюваного рН і функціонально залежить як від значення рН, так і від концентрації лужних іонів натрію (чи літію). Одним з основних способів зменшення лужної похибки є розроблення спеціального мембранного скла. Треба також відзначити, що лужна похибка різко зменшується з підвищенням температури.

При вимірюванні рН проточних розчинів у результаті утворення дифузійного потенціалу, що формується на діафрагмі електрода порівняння, виникає так звана дифузійна похибка. Використання в електроді порівняння концентрованих розчинів електролітів з приблизно однаковою рухливістю аніонів і катіонів при дослідженні досить розведених розчинів (з концентрацією менше ніж 0,1 моль/л) дифузійний потенціал не перевищує  $\pm(0,2...0,3)$  мВ. Для сильноконцентрованих розчинів дифузійний потенціал може досягати до 10 мВ при корисній ЕРС в сотні мілівольт. Для зменшення дифузійних потенціалів допоміжний електрод з'єднують з досліджуваним розчином за допомогою електролітичного ключа, заповненого насиченим розчином КС1, на границях з яким дифузійні потенціали не перевищують 1...2 мВ.

Але найбільшою складовою похибки електродної системи рН-метра є температурна похибка, зумовлена залежністю електродних потенціалів

вимірювального електрода при незмінному значенні рН від температури. Від температури залежить як складова  $e_x = e_{pH} \text{ рН}$ , так і складова  $e_0$  (і в результаті і  $E_0$ ), а результуючу ЕРС  $E_t$  гальванічного перетворювача при температурі  $t$  можна записати у вигляді:

$$E_t = E_0 (1 + \alpha_e \Delta_t) + e_{pH} (1 + \alpha_{pH} \Delta_t) \text{ рН},$$

де  $\alpha_e$  та  $\alpha_{pH}$  - температурні коефіцієнти відповідних електродних потенціалів,  $\Delta_t$  - відхилення температури від номінального значення.

При дослідженнях розчинів з високим рН температурна похибка може досягати до 10 %, тому в засобах вимірювань рН необхідно передбачити компенсацію цієї похибки. Але перш ніж перейти до вимірювальних кіл рН-метрів відзначимо одну особливість температурної залежності ЕРС, а саме, що при певному значенні  $\text{рН}_i$  для заданого перетворювача температурна похибка відсутня, тобто

$$E_t = E_0 (1 + \alpha_e \Delta_t) + e_{pH} (1 + \alpha_{pH} \Delta_t) \text{ рН}_i = E_0 + e_{pH} \text{ рН}_i,$$

Звідки

$$\text{рН}_i = -E_0 \alpha_e / e_{pH} \alpha_{pH}.$$

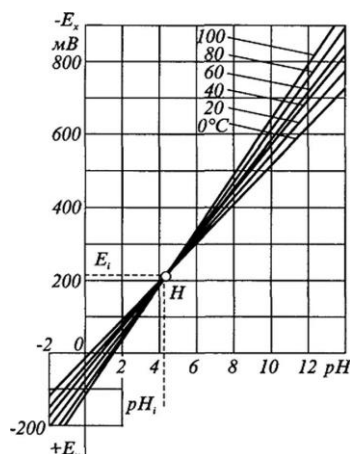


Рисунок 1.3 – Залежність ЕРС гальванічного перетворювача т.Н.02 від рН та температури

На рисунку 1.3 наведені графіки залежності ЕРС гальванічного перетворювача т. Н.02 від рН при різних значеннях температури у вигляді сім'ї прямих (ізотерм), що перетинаються в одній, так званій ізопотенціальній точці А. Координати ізопотенціальної точки ( $\text{рН}_i$ ,  $E_i$ ) залежать від характеру електродів і звичайно визначаються експериментально. Для гальванічного перетворювача т.Н.02  $E_i = -203$  мВ,  $\text{рН}_i = -4,13$  од.

При створенні рН-метрів необхідно враховувати температурну залежність електродних потенціалів (при незмінному рН) і передбачити

температурну компенсацію. Як видно з останнього виразу для  $E_t = f(\text{pH})$ , така компенсація (корекція) можлива за допомогою двох термозалежних опорів.

Якщо ж врахувати вигляд залежностей  $E_t = f(\text{pH})$  при різних значеннях температури (рис. 1.3) і прийняти за початок координат точку  $(E_i; \text{pH}_i)$  перетину ізотерм, то функція перетворення електродної системи набере вигляд:

$$E_x = E_i - e_{\text{pH}} (\text{pH} - \text{pH}_i),$$

а з врахуванням температурної залежності:

$$E_{xt} = E_i - e_{\text{pH}} (\text{pH} - \text{pH}_i) (1 + \alpha_e \Delta t).$$

Як випливає з останнього виразу, температурну компенсацію можна в невеликому інтервалі зміни температур здійснити за допомогою одного термозалежного опору.

Принципова схема рН-метра зрівноважувального перетворення з автоматичною корекцією температурної залежності та ручним введенням поправок, що відповідають значенням координат ізопотенціальної точки, наведена на рисунку 1.4.

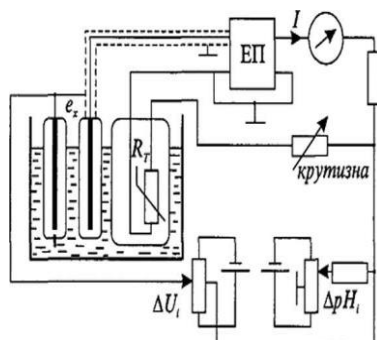


Рисунок 1.4 – Принципова схема рН-метра з корекцією

ЕРС гальванічного перетворення надходить на вхід підсилювача, охопленого глибоким від'ємним зворотним зв'язком, і порівнюється з компенсувальною напругою, значення якої визначається струмом  $I$  та параметрами коректувальних елементів кола зворотного зв'язку. При достатньо великому коефіцієнті підсилення електронного підсилювача значення вихідного струму  $I$  буде пропорційним ЕРС  $E_x$ , а отже, буде мірою вимірюваного рН.

### 1.3 Іонометрія

Іонометрія – це вибіркоче вимірювання концентрації іонів певних хімічних елементів у розчинах. Аналогічно, як і концентрацію іонів водню,

активну концентрацію іонів інших хімічних елементів оцінюють від'ємним логарифмом активності цих іонів, тобто показником рМ (тут М – хімічний елемент, концентрацію іонів якого вимірюють).

Розвиток іонометрії, який почався понад 10 років тому, привів до створення нового виду електродних сенсорів - іоноселективних електродів (ІСЕ). І якщо початковий етап розвитку іонометрії був пов'язаний з інтенсивним пошуком нових електродних матеріалів і нових конструкцій, то згодом основна увага приділялась глибокому вивченню іонної селективності, механізму електродних реакцій, розширенню практичного використання іонних сенсорів, особливо в клінічній практиці та при дослідженні довкілля.

Поява нових аналітичних методів, заснованих на використанні ІСЕ, пояснюється широкими можливостями цих сенсорів при дослідженні активності іонів натрія, калія, кальція, фторид-, хлорид-, нітрат- та сульфідіонів. ІСЕ можуть використовуватися при дослідженні органічних сполук, таких, як амігдалін, холестерин, сечовина та ін., а також при визначенні концентрації розчинних газів, наприклад, аміаку, оксидів азоту, діоксиду вуглецю.

Іонометрія відрізняється від інших методів фізико-хімічних досліджень відносною простотою, а завдяки портативним варіантам ІСЕ та спеціальній іонометричній апаратурі дослідження можна проводити не лише в лабораторних умовах, але і на підприємствах, в клініках, зокрема для післяопераційного контролю рН, рNa, рК - показників крові.

Отже, використання ІСЕ у різних галузях діяльності стає дедалі вагомішим. На жаль, в Україні такі прилади не випускаються, хоча для цього є відповідна науково-теоретична база, створена відомим вченим Б.П. Нікольським.

Оскільки основними вимірювальними елементами в іонометрії є іоноселективні електроди, зупинимось на їх сучасному стані та можливостях використання в іонометрії.

Іоноселективний електрод - це електрохімічний перетворювач, призначений для потенціометричного визначення активності певних іонів, здебільшого у водних розчинах, а в окремих випадках і у неводних середовищах (в останньому випадку є необхідність введення так званого індеферентного електроліта).

Типова електродна система іонометра складається з вимірювального ІСЕ та електрода порівняння (рис. 1.5).

Вимірювальний іоноселективний електрод - це гальванічний перетворювач (напівелемент), що складається з іоноселективної мембрани 1, внутрішнього контактного розчину 2 (або твердого контакту - повністю твердофазна конструкція) та внутрішнього вимірювального електрода 3. Другий напівелемент утворений зовнішнім електродом порівняння 4, що занурений в стандартний електроліт (сольовий місток) 5, який контактує з досліджуваним розчином через діафрагму 6.

ІСЕ можна класифікувати згідно з природою електродноактивного матеріалу мембрани на такі типи:

- електроди з твердою мембраною, для виготовлення яких використовуються кристалічні матеріали;
- скляні мембранні електроди, виготовлені з літійєвого, алюмосилікатного або багатокомпонентного скла;
- електроди на основі рідких іоннообмінників, мембрана яких складається з не змішуваної з водою органічної фази; вона містить рухомі іони або іонні сполуки (основи, солі, гідрофобні кислоти);
- електроди з рідкими мембранами на основі нейтральних носіїв; мембрана є електронейтральним розчином специфічних комплексоутворюючих реагентів (іонофорів), які утворюються в інертній полімерній матриці;
- іоноселективні польові транзистори, які є гібридними пристроями, що містять іоноселективний електрод і польовий транзистор на основі системи метал-оксид металу (МОПТ).

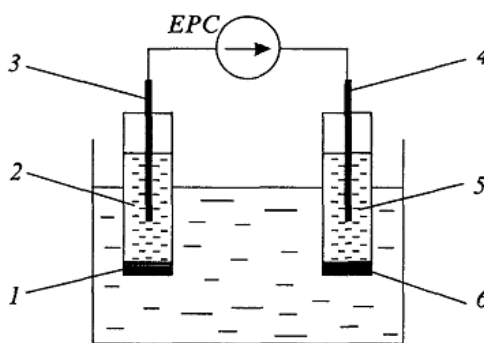
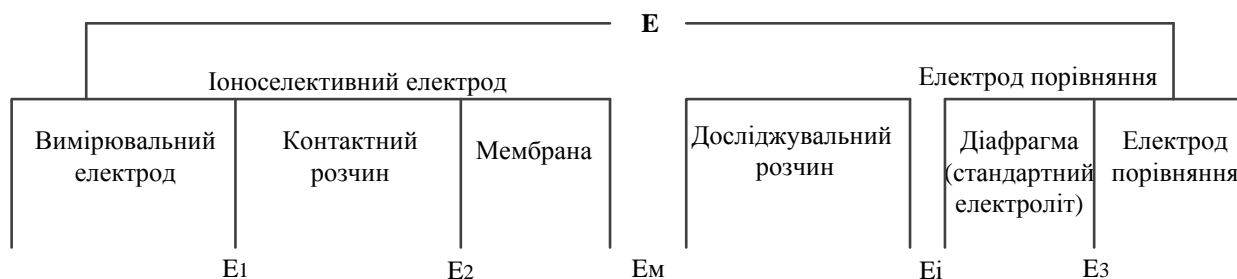


Рисунок 1.5 – Типова електродна система

Значний успіх використання транзисторного ІСЕ дає поштовх у напрямку розвитку дешевої технології і ставить нові й цікаві запитання перед теорією ІСЕ, яка ще далеко не закінчила свій розвиток.

Часткові потенціали електродної системи з іоноселективним мембранним вимірювальним електродом можна подати так:



Очевидно, що ЕРС електродної системи

$$E = (E_1 + E_2 + E_3) + E_j + E_M.$$

Існування так званого потенціалу рідинного стану  $E_j$  приводить до певного зміщення електродної функції іоноселективної мембрани. У практиці іонометрії вибирають таку комбінацію електродів, для якої  $E_j = 0$ .

Тоді

$$E = (E_1 + E_2 + E_3) + E_M = E_0 + E_M.$$

Типові криві потенціал - концентрація для іоноселективних вимірювальних кіл наведені на рис. 1.6.

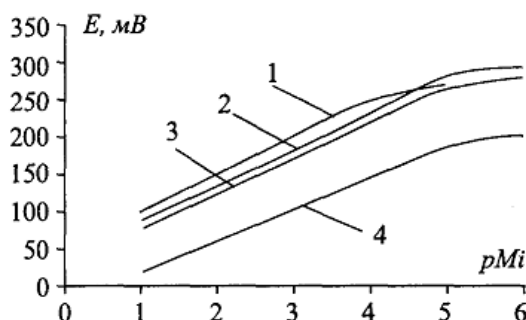


Рисунок 1.6 – Калібрувальні графіки для: 1 – натрій-; 2 – калій-; 3 – хлорид-; 4 – фторидселективних електродів американської фірми “Orion”

Очевидно, що нижня границя вимірюваних концентрацій обмежена лінійною ділянкою електродної функції. В принципі іонометри повністю аналогічні рН-метрам з високою роздільною здатністю. Прилади для вимірювань рН читю з аналоговою чи цифровою індикацією з ціною поділки 1 мВ/под з однаковим успіхом можуть бути використані і як в рН-метрах і як іонометрах при наявності градуювальних діаграм, які складаються, використовуючи розчини з відомою концентрацією відповідних іонів.

## 1.4 Перетворювачі промислові П-210 (П-210І)

### 1.4.1 Призначення

Перетворювач промисловий типу П-210 Державної системи промислових приладів і засобів автоматизації призначений для перетворення е. р. с. чутливих елементів первинних перетворювачів, що застосовуються для потенціометричних вимірювань, в електричний безперервний вихідний сигнал постійного струму і напруги по ГОСТ 9895-78.

Перетворювачі з чутливими елементами первинних перетворювачів використовуються для безперервних потенціометричних вимірювань в системах безперервного контролю та автоматичного регулювання технологічних процесів різних галузей народного господарства. Візуальний



відлік вимірюваної величини виробляється в цифровій формі в одиницях рХ (рН), мВ (Еh).

Перетворювач розрахований для роботи з будь-якими серійно випускаючими чутливими елементами, рХ, рН та Еh (наприклад, ДПг-4М, ДМ-5М і ін.) Схема вимірювань і реєстрації рХ (рН) і Еh наведена на рис. 1.7.

За експлуатаційної закінченості перетворювач відноситься до виробів третього порядку за ГОСТ 12997-84.

Перетворювач випускається в звичайному і вибухозахищеному виконанні з видом вибухозахисту «Іскробезпечний електричний ланцюг».

При випуску з виробництва перетворювач налаштовується для роботи на діапазоні від 6 до 8,5 рН (нормуюче значення 2,5 рН при вимірюванні одновалентних катіонів) з координатами ізопотенціальної точки:

$$pH_i = 7 \text{ і } E_i = - 50 \text{ мВ.}$$

Перебудова перетворювачів на інші діапазони вимірювань, нормуючі значення (крім 1 рХ для одновалентних іонів, 2,5 рХ для двовалентних іонів і 100 мВ для Еh), координати ізопотенціальних точок і види іонів проводиться споживачем згідно з вказівками цього паспорта.

Поставка перетворювачів для роботи з нормуючим значенням 1 рХ (одновалентні іони), 2,5 рХ (двовалентні іони) і 100 мВ повинна бути узгоджена з підприємством-виробником.

За окремим замовленням спільно з перетворювачем може бути доставлений за окрему плату ручний термокомпенсатор ТКР-3, призначений для корекції показів в залежності від температури контрольованого розчину.

Перетворювач має виходи по напрузі і струму для підключення самописних потенціометрів з межами вимірювань 50; 100 мВ, наприклад, КСП-4, РП-160 та інші, а також вторинних записуючих і регулюючих струмових приладів.

Межі зміни вихідних сигналів постійного струму і сигналів, напруги постійного струму:

- нижня межа для вихідного сигналу 5 мА - 0 мА;
- для вихідного сигналу 20 мА - 4 мА;
- для вихідного сигналу 50; 100 мВ - 0 мВ;
- для вихідного сигналу 10 В - 0 В;
- верхні межі:

1) по постійному струму 5 мА для навантажень з опором не більше 2 кОм;

2) по постійному струму 20 мА для навантажень з опором не більше 500 Ом;

3) по напрузі постійного струму - 50; 100 мВ для навантажень з опором від 200 Ом і більше;

4) додаткового виходу за напругою 10 В для навантажень з опором 2

кОм і більше.

Примітка. При випуску з виробництва верхні межі вихідного сигналу постійного струму і напруги встановлюються рівними 5 мА і 100 мВ відповідно.

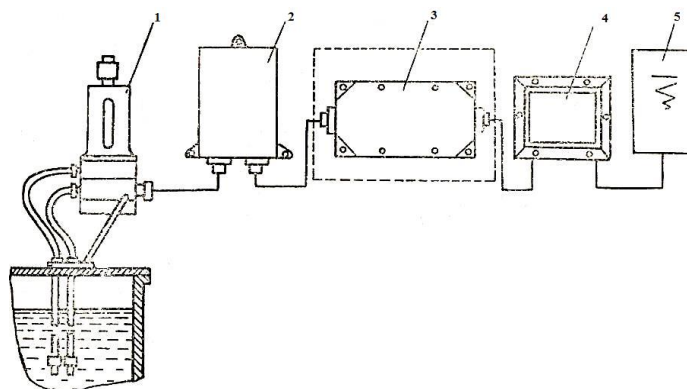


Рисунок 1.7 – Схема використання перетворювача П-210 (П-210І) в системі регулювання вимірювань та реєстрації: 1-чутливий елемент; 2-підсилювач вхідний; 3 – блок іскрозахисту (тільки для П-210І); 4-блок перетворення; 5-реєструючий прилад

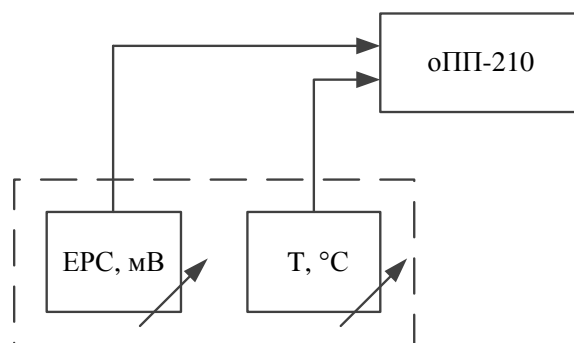


Рисунок 1.8 – Структурна схема лабораторного стенду для вимірювання рН

Структурна схема стенду для вимірювання рН наведена на рисунку 1.8. До перетворювача П-210 приєднується імітатор електродної системи, на якому імітується значення ЕРС – різниця потенціалів на електродах, а також температура розчину.

## 1.5 Технічні характеристики

### 1.5.1 Межі вимірювань і нормуючі значення перетворювачів

Нижні межі вимірювань і нормуючі значення перетворювачів наведені в табл. 1.1.

Нормуюче значення  $X_N$  в одиницях показів цифрового табло рН, рХ, мВ приймають рівними різниці між кінцевим і початковим значенням шкали (діапазону вимірювань).

Нормуюче значення  $X_N$  в одиницях вимірювань інформативного

параметра вхідного сигналу приймають рівним різниці значень інформативного параметра вихідного сигналу, відповідних максимальному (5 мА; 20 мА; 100 або 50 мВ, 10 В) і нульового значення вихідного сигналу.

### 1.5.2 Статична характеристика перетворювача

1. Номінальна статична характеристика перетворювача визначається рівнянням:

$$Y = \frac{Y_N}{X_N} |X_{\text{ном.}} - X_H|, \quad (1.1)$$

де  $Y$  - інформативний параметр вихідного сигналу (струм або напруга постійного струму) мА, мВ або В, відповідно;

Примітка. Верхня межа вимірювань  $X_B$  визначається виразом  $X_B = X_H + X_N$  (при  $X_B > X_H$ ) і  $X_B = X_H - X_N$  (при  $X_B < X_H$ ), де  $X_H$  і  $X_N$  - значення, вказані в табл. 1.1.

$Y_N$  - нормуюче значення перетворювача по інформативному параметрі вихідного сигналу постійного струму, що дорівнює його верхній межі, мА, мВ або В відповідно;

$X_N$  - нормуюче значення перетворювача по інформативному параметрі вхідного сигналу, мВ;

$X_{\text{ном}}$  - номінальне значення інформативного параметра вхідного сигналу, мВ;

$X_H$  - нижня межа вимірювань інформативного параметра вхідного сигналу, на яке налаштований перетворювач, мВ.

2. Для перетворювачів, налаштованих на електродну систему з нормованим значенням координат ізопотенціальної точки  $E_i$  і  $pX_i$  номінальне значення інформативного параметра вхідного сигналу  $X=E$  визначається за градуальною характеристикою електродної системи:

$$E = E_i + S_t (pX - pX_i), \quad (1.2)$$

де  $E$  - номінальне значення інформативного параметра вхідного сигналу, що відповідає значенню  $pX$  в межах статичної характеристики, мВ;

$E_i$ ,  $pX_i$  - номінальні значення координат ізопотенціальної точки електродної системи, наяку налаштований перетворювач, мВ і  $pX$ ;

$pX$  - номінальне значення величини  $pX$  в даній точці статичної характеристики;

$S_t$  - номінальне значення крутизни характеристики електродної системи, наяку налаштований перетворювач, мВ/ $pX$ .

Значення  $S_t$  визначається за формулою:

$$S_t = \frac{54.196 + 0.1984t}{n}, \quad (1.3)$$

де  $t$  - температура контрольованого середовища, °С;

$n$  - валентність вимірюваного іона (негативна для катіонів і позитивна для аніонів).

Таблиця 1.1 – Нижні межі вимірювань і нормуючі значення перетворювачів

Режим вимірювань рХ (рН)				Нижня межа вимірювань $x_N$ (початкове значення шкали), рХ
Нормуюче значення ( $x_N$ )				
для одновалентних іонів		для двовалентних іонів		
рХ (рН)	мВ	рХ	мВ	
1	58,164	-	-	Від мінус 1 до плюс 13 з інтервалом 0,5
2,5	145,410	2,5	72,705	Від мінус 1 до плюс 17,5 з інтервалом 0,5
5	290,820	5	145,410	Від мінус 1 до плюс 15 з інтервалом 0,5
10	581,640	10	290,820	Від мінус 1 до плюс 10 з інтервалом 0,5
15	872,460	15	436,230	Від мінус 1 до плюс 5 з інтервалом 0,5
20	1163,280	20	581,640	Від мінус 1 до 0 з інтервалом 0,5

#### Режим вимірювання $E_h$

Нормуюче значення ( $x_N$ ), мВ	Нижня межа вимірювань $x_N$ (початкове значення шкали), мВ
100	Від мінус 1900 до плюс 1900 з інтервалом 10 мВ
250	Від мінус 1750 до плюс 1750 з інтервалом 10 мВ
500	Від мінус 1500 до плюс 1500 з інтервалом 10 мВ
1000	Від мінус 1000 до плюс 1000 з інтервалом 10 мВ
1500	Від мінус 500 до плюс 500 з інтервалом 10 мВ
2000	Від мінус 1990 до плюс 1990 з інтервалом 10 мВ

Після настройки перетворювача по буферним або контрольним розчинам з використанням електродної системи з реальними значеннями  $pX_i$ ,  $E_i$  і  $S_t$  його статична характеристика може відрізнитися від номінальної.

3. Для перетворювачів, налаштованих на електродну систему, у якій значення координат ізопотенціальної точки не нормуються, номінальне значення  $E$  визначається за формулою:

$$E = E_0 + S_t pX, \quad (1.4)$$

де  $E$  - номінальне значення інформативного параметра вхідного сигналу, що відповідає значенню  $pX$  в межах статичної характеристики, мВ;

$E_0$  - номінальне значення інформативного параметра вхідного сигналу, що відповідає значенню  $pX = 0$ , мВ.

Значення  $E_0$  може бути визначено за паспортними даними електродної системи за формулою:

$$E_0 = E_n - S_t pX_n, \quad (1.5)$$

де  $E_n$  - паспортне значення потенціалу електродної системи в контрольному розчині;

$pX_n$  - паспортне значення  $pX$  контрольного розчину;

$S_t$  - номінальне значення крутизни електродної системи, наяку налаштований перетворювач, мВ/ $pX$ .

Значення визначається за формулою (1.3).

Значення  $E_n$ ,  $E_0$  і  $S_t$ , реалізовані в перетворювачі, наведено в табл. 1.2.

4. Межі приведеної основної похибки і класи точності по цифровому табло і вихідним сигналам постійного струму і напруги відповідають значенням, наведеним в табл. 1.3.

Примітка. Межа допустимого значення зведеної основної похибки по вихідному сигналу 10 В-4, 0%.

5. Межі допустимих значень абсолютної основної похибки перетворювачів в залежності від нормуючих значень наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.2 – Значення  $E_n$ ,  $E_0$  і  $S_t$

Характеристики	Одновалентні іони	Двовалентні іони
$S_t$ , мВ/ $pX$ (при $t = 20^\circ C$ )	Від 53,0 до 59,5 Від мінус 53,0 до мінус 59,5	Від 26,5 до 29,7 Від мінус 26,5 до мінус 29,7
$t$ , $^\circ C$	Від 0 до 150	
$E_i$ , мВ	Від мінус 250 до плюс 250	
$pX_i$	Від 0 до $\pm 9$	
$E_0$ , мВ	Від мінус 500 до плюс 500	

Таблиця 1.3

Нормуюче значення (XN)		Межа допустимого значення зведеної основної похибки, % (клас точності)	
pX (рН)	мВ	По вихідному сигналу постійного струму і напрузі постійного струму	По цифровому табло
1,0; 2,5; 5,0	100; 250; 500	1,0	
10; 15	1000; 1500	0,5	
20	2000	0,5	0,2

6. Межа допустимого значення величини струму спрацьовування блоку іскрозахисту перетворювача П-210І при нормальних умовах відповідає 40 мА.

7. Зміна значень вихідного сигналу постійного струму (напруги) і показань цифрового табло.

7.1. Найбільші допустимі зміни показів цифрового табло, викликані змінами зовнішніх впливових факторів, не перевищують значень, зазначених у табл. 5.

7.2. Найбільші допустимі зміни значень вихідного сигналу, викликані зміною зовнішніх факторів, що впливають, не перевищують значень, зазначених у табл. 1.6.

8. Час встановлення вихідного сигналу постійного струму не перевищує значень, що визначаються за формулою:

$$t = a \cdot (B + R_1/c), \quad (1.6)$$

де  $t$  - час встановлення, с;

$a$  - постійний коефіцієнт, чисельне значення якого дорівнює 2,5;

$b$  - постійний коефіцієнт, чисельне значення якого дорівнює 3 с;

$R_1$  - опір в ланцюзі вимірювального електрода, МОм;

$c$  - постійний коефіцієнт, чисельне значення якого дорівнює 500 МОм.

9. Час прогріву не більше 2 ч.

10. Похибка температурної компенсації по вихідному сигналу і цифровому табло в діапазоні температур від 0 до 150 °С не перевищує двох меж відповідних значень допустимих наведених основних похибок.

11. Мінливість вихідних сигналів за 24 год безперервної роботи (виключаючи час прогріву), наведене до входу, виражене в частках межі допустимого значення зведеної основної похибки не перевищує:

0,5 - для перетворювачів з нормуючим значенням 1 і 2,5 рХ;

0,25 - для перетворювачів з нормуючими значеннями 5, 10, 15, 20 рХ; 100; 250 мВ; 1000; 1500; 2000 мВ;

0,1 - для перетворювачів з нормуючим значенням 500 мВ.

12. Перетворювачі П-210 розраховані на роботу з пристроями для автоматичної і ручної термокомпенсації температурних змін е.р.с. електродних систем. Перетворювачі П-210І розраховані для роботи тільки з пристроєм ручної термокомпенсації температурних змін е.р.с. електродних систем.

Таблиця 1.4

Нормуюче значення	Режим вимірювання рХ									Режим вимірювання Eh		
	Границі допустимих значень абсолютної основної похибки									Межі допустимих значень абсолютної основної похибки		
	При вимірюванні активності одновалентних іонів			При вимірюванні активності двовалентних іонів						по вихідному сигналу постійного струму	по цифровому табло	
	По вихідному сигналу постійного струму		По цифровому табло	По вихідному сигналу постійного струму		По цифровому табло						
рХ (рН)	рХ (рН)	мВ	рХ	мВ	рХ	мВ	рХ	мВ	мВ	мВ	мВ	
	1,0	±0,010	±0,58			-	-	-	-	100	±1,0	
	2,5	±0,025	±1,45			±0,250	±0,725			250	±2,5	
	5,0	±0,050	±2,90	±0,04	±2,32	±0,050	±1,450	±0,04	±1,16	500	±5,0	±4,0
	10,0	±0,050	±2,90			±0,050	±1,450			1000	±5,0	
	15,0	±0,075	±4,35			±0,075	±2,175			1500	±7,5	
	20,0	±0,100	±5,80			±0,100	±2,900			2000	±10,0	

Таблиця 1.5

Фактори, що впливають	Найбільші допустимі зміни показів цифрового табло в частках границі допустимого значення зведеної основної похибки	
	Режим вимірювання рХ	Режим вимірювання Eh
1. Температура навколишнього повітря на кожні 10 °С	2,0	1,50
2. Напруга живлення від 187 до 242 В	2,0	1,00
3. Частота живлячого струму від 49 до 51 Гц	0,5	0,25
4. Напруженість зовнішнього магнітного поля не більше 400 А/м, утвореного змінним струмом частотою 50 Гц	2,0	1,0
5. Напруженість зовнішнього магнітного поля не більше 400 А/м, утвореного постійним струмом	1,5	1,00

Таблиця 1.6

Фактори, що впливають	Найбільші допустимі зміни значень вихідного сигналу в частках межі допустимого значення зведеної основної похибки									
	Режим вимірювань рХ					Режим вимірювань Eh				
	Нормуючі значення, рХ					Нормуючі значення, мВ				
	1,0	2,5	5,0	10,0	15,0 20,0	100	250	500	1000	1500 2000
1. Температура навколишнього повітря на кожні 10 °С	2,0	2,00	1,00	0,50	0,50	1,50	1,000	0,75	0,75	0,75
2. Напруга живлення від 187 до 242 В	2,00	1,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,750	0,50	0,50	0,50
3. Частота живлячого струму від 49 до 51 Гц	0,50	0,25	0,10	0,10	0,10	0,25	0,125	0,125	0,125	0,125
4. Напруженість зовнішнього магнітного поля, утвореного змінним струмом частотою 50 Гц, не більше 400 А/м	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	0,50	0,50	0,50
5. Напруженість зовнішнього магнітного поля, утвореного постійним струмом, не більше 400 А/м	1,50	1,50	0,75	0,75	0,50	1,00	1,000	0,50	0,50	0,50
6. Опір в ланцюзі вимірювального електрода від 0 до 1000 МОм на кожні 500 МОм	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,500	0,25	0,25	0,25
7. Опір в ланцюзі допоміжного електрода від 0 до 20 кОм на кожні 10 кОм	0,25	0,25	0,25	0,250	0,250	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25
8. Напруга змінного струму не більше 1 В в ланцюзі «корпус - земля» при опорі вимірювального електрода $R_B = 0$ і опорі доп. електр. $R_{доп} = 20$ кОм	0,25	0,25	0,25	0,125	0,125	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25



Продовження таблиці 1.6

9. Напруга змінного струму не більше 50 мВ в ланцюзі допоміжного електрода	0,25	0,25	0,25	0,125	0,125	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
10. Напруга до $\pm 1,5$ В постійного струму в ланцюзі «земля-розчин» на кожні 1000 Ом опору допоміжного електрода	0,10	0,10	0,10	0,100	0,100	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

13. Найбільші допустимі відстані:

- 1) від чутливого елемента до вхідного підсилювача перетворювача П-210 - 150 м;
- 2) від чутливого елемента до вхідного підсилювача перетворювача П-210І-15 м;
- 3) від вхідного підсилювача до блоку перетворення П-210 - 5000 м;
- 4) від вхідного підсилювача до блоку іскрозахисту перетворювача П-210І - 1000 м;
- 5) від блоку іскрозахисту до блоку перетворення П-210І-15 м.

14. Параметри сполучної лінії живлення між блоком іскрозахисту (контакту 1-2) і вхідним підсилювачем (контакти 2-3 роз'єму ВИХІД) перетворювача П-210І повинні мати наступні значення:

- ємність - не більше 0,15 мкФ/км;
- індуктивність - не більше 1 мГн/км;
- опір - від 40 до 100 Ом/км;
- або:
- ємність - не більше 0,1 мкФ/км;
- індуктивність - не більше 1 мГн/км;
- опір - від 20 до 100 Ом/км.

Сигнальна сполучна лінія між блоком іскрозахисту (контакти 6-7) і вхідним підсилювачем (контакти 1-4) повинна мати опір не більше 100 Ом/км.

15. Кабельні вводи сполучної лінії від вхідного підсилювача до блоку іскрозахисту перетворювача П-210І при наявності зовнішніх механічних впливів на кабель повинні бути виконані так, щоб розтягуюче зусилля і скручування не передавалися на проведення й жили кабелю в місці з'єднання з роз'ємами блоків.

16. При роботі перетворювача в умовах підвищених вібрацій, які мають місце, наприклад, на енергоустановках, довжину кабелю між

чутливим елементом і перетворювачем слід брати мінімальною. Рекомендується застосовувати кабель типу АВК.

17. Споживана потужність (енергоспоживання) при номінальній напрузі живлення, не більше 20 ВА.

18. Напрацювання перетворювачів на відмову не нижче 20000 годин.

19. Повний термін служби - не менше 10 років.

20. Середній термін зберігання - не менше 3 років.

## **1.6 Принцип вимірювань рХ**

При вимірюванні рХ (рН) розчинів використовується система, що складається з вимірювального і допоміжного електродів. При вимірюванні рН в якості вимірювального електрода використовується скляний електрод, як допоміжний - хлорсрібний. При вимірюванні активності інших видів іонів в якості вимірювального електрода використовується електрод, чутливий до даного виду іонів. Вимірювальний електрод при зануренні в контрольований розчин розвиває е. р. с., лінійно залежну від активності іонів в розчині і температури розчину. Контакт допоміжного електрода з контрольованим розчином здійснюється за допомогою електролітичного ключа, що забезпечує закінчення насиченого розчину КС1 в контрольований розчин.

Розчин хлористого калію безперервно просочується через електролітичний ключ, запобігаючи проникнення з контрольованого розчину в систему хлорсрібного електрода сторонніх іонів, які могли б змінити величину е. р. с. цього електрода. Вимірюється частина е. р. с. електродної системи визначається потенціалом тільки вимірювального електрода. За допомогою високоомного перетворювача е. р. с. електродної системи перетворюється в вихідну напругу.

## **1.7 Принцип вимірювань Eh**

При вимірюванні окислювально-відновного потенціалу (величини Eh) використовується система, що складається з вимірювального і допоміжного електродів. При вимірюванні Eh в якості вимірювального електрода використовується редоксметричний електрод, як допоміжний - хлорсрібний.

Контакт допоміжного електрода з контрольованим розчином здійснюється за допомогою електролітичного ключа, що забезпечує закінчення насиченого розчину КС1 в контрольований розчин.

## **1.8 Конструкція**

1. Перетворювач П-210 складається з блоку перетворення і вхідного підсилювача. Блок перетворення (рис. 1.9) складається з кришки 1, каркаса 11, кожуха 20. Останній виконаний з листової сталі і з лицьової сторони має

обідок 3, який служить упором при кріпленні перетворювача на щиті. Ущільнення кришки з кожухом здійснюється гумовою прокладкою 2.

На кришці 1 перетворювача є вікно для візуального спостереження за показаннями цифрового табло і положенням органів керування.

Усередині кожуха встановлюється каркас, який є підставою для установки блоків і елементів перетворювача і складається з лицьовій панелі 36, шасі 18, розподільної коробки 16.

На лицьовій панелі розташовані цифрове табло блоку індикації 4, органи управління перетворювачем, вставка плавкая 34. Під кришкою 22 розташовані органи настройки і регулювання блоку перетворення. Під кришкою 23 встановлюються перемички, положення яких в залежності від діапазону вимірювань показано на внутрішній стороні кришки.

На лицьовій стороні кришки 23 закріплена кишеня 40, в яку вставляють оцифровані вставки (табл. 8) з позначенням обраного діапазону вимірювання. На шасі каркаса розташовані силовий трансформатор 19 і в направляючих 10 друковані плати блоку перетворення, зв'язок між якими здійснюється за допомогою спеціальних розеток 17 і об'ємного монтажу.

Таблиця 1.7

Режим вимірів		Eh	Вихідний сигнал постійного струму		Вихідний сигнал постійної напруги	
рХ			0-5 мА	4-20 мА	0-50 мВ	0-100 мВ
Одновалентні іони	Двовалентні іони					
-	3-4	1-2	-	7-8; 8-9	5-6	-

Надійний контакт друкованих плат з розетками забезпечується двома обмежувачами 6.

На розподільній коробці розміщені роз'єми вимірювальних і силових ланцюгів, гвинт заземлення 38 і відсік з планкою 37 для установки в залежності від режиму вимірів перемичок (табл. 1.7).

Номери контактів планки, що з'єднуються перемичками, вказані в табл. 9.

Високоомний підсилювач і плата підсилювача (рисунок 1.10) поміщені в литий алюмінієвий корпус 7, на якому є три прилива з отворами. Отвори призначені для кріплення корпусу болтами до стінки (стійці, щиту). Корпус 7 закривається кришкою за допомогою гвинтів, під двома з яких встановлені чашки пломби 5. Ущільнення кришки 4 здійснюється гумовою прокладкою 6. У нижній частині корпусу розташовані болт заземлення та роз'єми вимірювальних і живильних ланцюгів.

1-перетворювач вихідного сигналу; 2-плата підсилювача; 3-підсилювач високоомний; 4-кришка, 5 - чашка пломби; 6-прокладка; 7-корпус; 8-плата блокувального пристрою (П-210І).

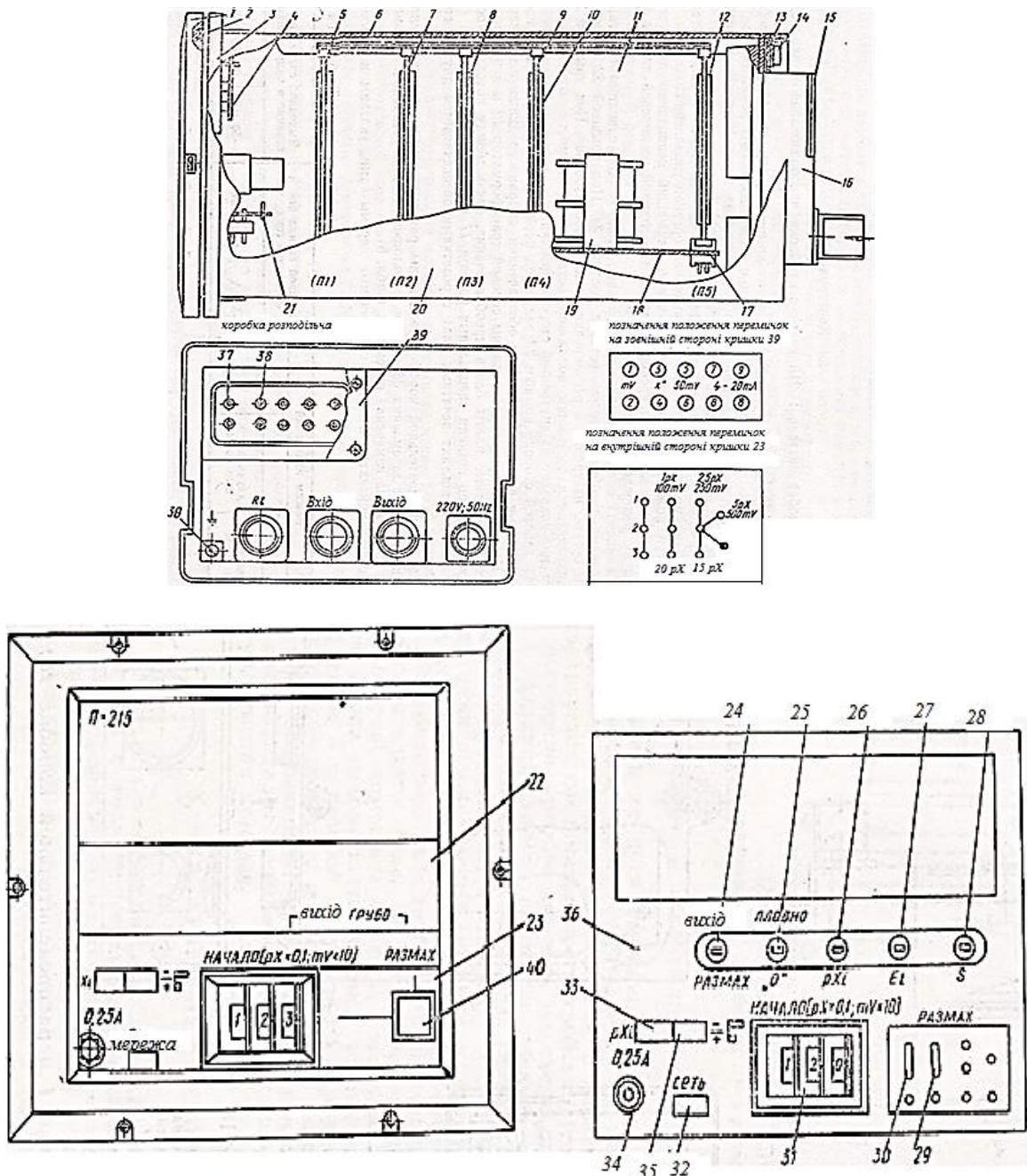


Рисунок 1.9 - Перетворювач П-210: 1-кришка, 2-прокладка, 3-ободок; 4-блок індикації; 5-перетворювач аналоговий; 6-обмежувач; 7-вимірювальний блок; 8-блок вихідних сигналів; 9-блок живлення; 10-направляюча; 11-каркас; 12-перетворювач вихідного сигналу; 13-прокладка; 14-чашка пломби; 15-прокладка; 16-коробка розподільна; 17-розетка; 18-шасі; 19-трансформатор; 20-кожух; 21 - блок перемикачів; 22, 23-кришка ; 24-потенціометр установки верхньої межі вихідного сигналу постійного струму (напруги); 25-потенціометр установки значення крутизни електродної системи; 26-потенціометр установки значення  $r_{X_i}$ ; 27-потенціометр установки значення  $E_i$ ; 28-потенціометр установки нижньої межі вихідного сигналу постійного струму (напруги); 29, 30-перемикач; 31-декадний перемикач установки нижньої межі вибраного діапазону вимірювань; 32-перемикач мережі; 33-перемикач установки значення  $r_{X_i}$ ; 34 - вставка плавкая; 35-перемикач вибору полярності вихідного сигналу; 36-панель; 37-планка; 38-гвинт заземлення; 39-кришка; 40-кишеня

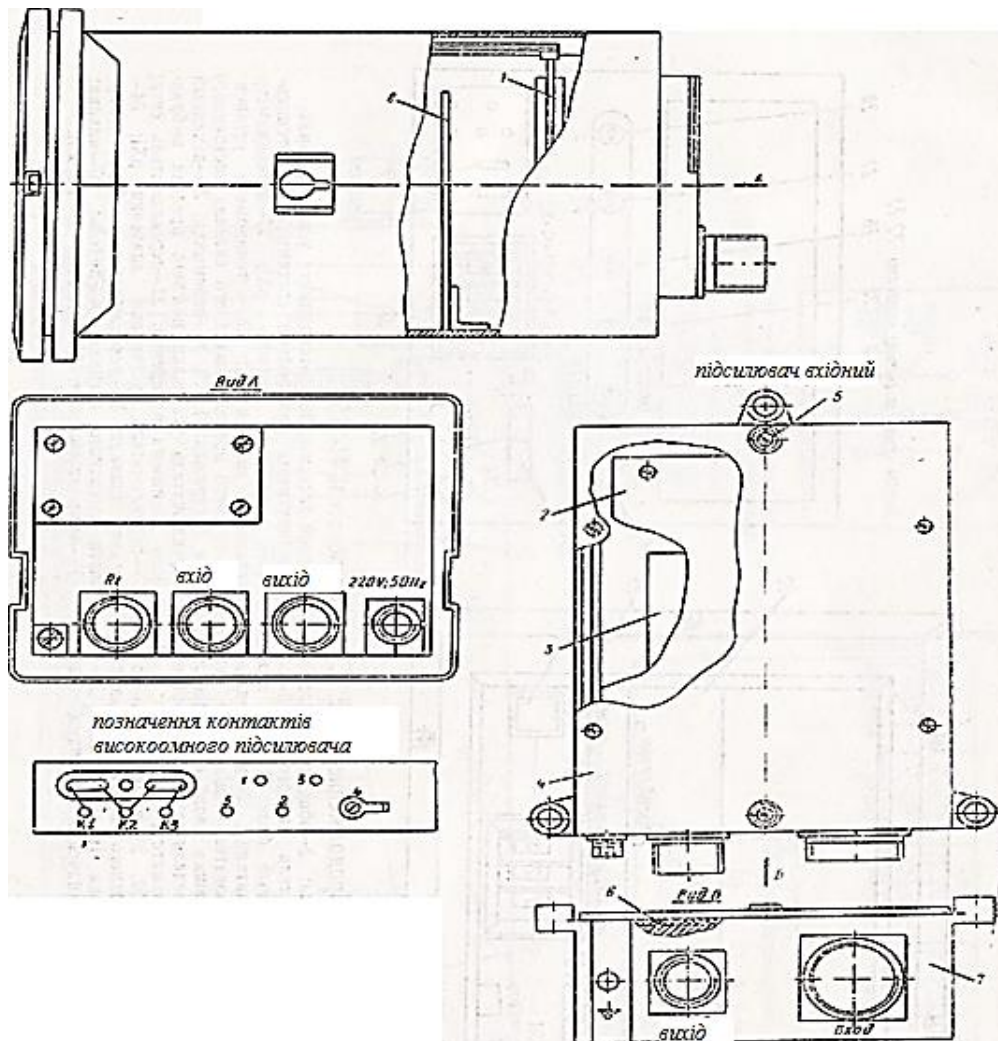


Рисунок 1.10 – Перетворювач П-210 (П-210І)

Доступ до блоку перетворення здійснюється наступним чином:

1. Виверніть гвинти на кришці 1 і розподільній коробці 16;
2. Відкрийте кришку 1;
3. Вийміть блок перетворення з кожуха, натиснувши на розподільну коробку.

Високоомний підсилювач і плата підсилювача (рис. 1.9) поміщені в литий алюмінієвий корпус 7, на якому є три приливи з отворами. Отвори призначені для кріплення корпусу болтами до стінки (стійці, щиту). Корпус 7 закривається кришкою за допомогою гвинтів, під двома з яких встановлені чашки пломби 5. Ущільнення кришки 4 здійснюється гумовою прокладкою 6.

У нижній частині корпусу розташовані болт заземлення та роз'єми вимірювальних і живильних ланцюгів.

Для з'єднання вхідного підсилювача з первинним перетворювачем (датчиком) використовується сполучний пристрій.

При включенні перетворювача за схемою з'єднань (рис. 1.9) контакти 1 і 3 з'єднувального пристрою слід з'єднати між собою.



2. Перетворювач типу П-210І складається з блоку перетворення, вхідного підсилювача і блоку іскрозахисту.

Конструкція блоку перетворення і вхідного підсилювача аналогічна конструкції відповідних блоків перетворювача типу П-210. Блок перетворення додатково включає в себе блокувальний пристрій.

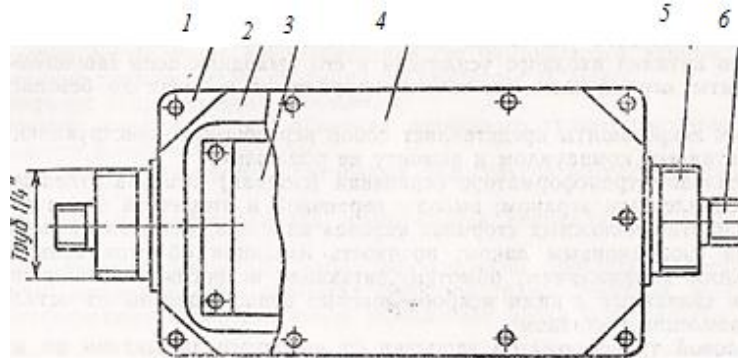


Рисунок 1.11 - Блок іскрозахисту: 1-корпус, 2-прокладка, 3-плата; 4-кришка; 5-фланець; 6-вилка

Блок іскрозахисту (рис. 1.11) являє собою литий алюмінієвий корпус 1, в який поміщена плата 3, залита термореактивним компаундом. Кріплення блоку іскрозахисту до щита здійснюється чотирма болтами. Вилки 6 і фланці 5 з різьбленням труб 1 1/4" призначені для приєднання трубопроводів, в яких прокладені сполучні лінії. Корпус блоку іскрозахисту закривається кришкою 4. Кріплення здійснюється гвинтами, один з яких залитий пломбувальною мастикою. Гумова прокладка 2 служить для ущільнення кришки.

### 1.9 Хід роботи

1. Ретельно ознайомитись з теоретичними відомостями до лабораторної роботи, вивчити будову та принцип дії лабораторного стенду, методику проведення вимірювань.

2. Ввімкнути в мережевий роз'єм прилад П-210 та імітатор електродної системи. Натиснути червону кнопку на імітаторі електродної системи.

3. Провести розрахунок значення е. р. с. електродної системи для кожного значення рН: 0, 5, 7, 10, 14 при трьох значеннях температури. Результати розрахунку занести в табл. 1.8. Розрахунок провести за формулою  $E_i = -50 - (54,196 + 0,1984) \cdot (pX - 7)$ .

4. Встановити отримані значення е. р. с. та температуру розчину на імітаторі електродної системи. Виміряти значення рН, знявши покази на цифровому табло приладу П-210. Результати вимірювань занести в таблицю 1.9.

5. Побудувати графіки залежності ЕРС електродної системи від рН

при трьох значеннях температури.

6. Зробити висновки.

Таблиця 1.8

Значення рН	Температура розчину, °С		
	+20	+60	+100
0			
5			
7			
10			
14			

Таблиця 1.9

Температура, °С	Е.Р.С., mV	рН
+20		
+60		
+100		

**Контрольні питання:**

1. Основні поняття про вимірювання рН.
2. Які існують методи вимірювання рН?
3. Принцип дії та будова гальванічного перетворювача рН-метра.
4. Залежність ЕРС гальванічного перетворювача від рН та температури.
5. Іонометрія, сучасний стан та перспективи.
6. Перетворювач П-210: призначення, будова та принцип роботи.
7. Принцип вимірювань рХ (рН); Еh.

## Лабораторна робота № 4

### 1 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ СПІЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ

**Мета роботи:** вивчити основні методи та способи вимірювання температури, навчитися вимірювати температуру за допомогою терморезистора та встановити залежність опору від температури.

#### Теоретичні відомості

Температурою називається фізична величина, яка характеризує ступінь нагрівання тіла. Температуру визначають непрямым шляхом за допомогою шкали температури.

Діапазон існуючих температур можна поділити на ряд характерних піддіапазонів: наднизькі температури ( $0 - 4,2\text{K}$ ), низькі ( $4,2 - 273\text{K}$ ), середні ( $273 - 1300\text{K}$ ), високі ( $1300 - 5000\text{K}$ ) та надвисокі (від  $5000\text{K}$  і вище). Наднизькі і низькі температури необхідно вимірювати при проведенні різноманітних фізичних експериментів, і особливо при дослідженні надпровідності та її технічному застосуванні, у криогенній техніці та ін. За верхню межу надто низьких температур умовно прийнята температура, при якій провідники переходять у надпровідний стан. Найбільш часто температури, що вимірюються лежать в області низьких, середніх та високих температур. Такі виміри мають місце у різноманітних галузях народного господарства, при наукових дослідженнях, в медицині та ін.

Основними приладами для вимірювання температури є: термометри розширення, манометричні термометри, термометри опору з логометрами або мостами, термопари з мілівольтметрами або потенціометрами, пірометри випромінювання.

В залежності від діапазону вимірювання застосовують різні типи термометрів, наприклад: в діапазоні низьких і середніх температур використовуються в основному контактні методи вимірювання, причому найбільш широко на практиці використовуються первинні перетворювачі в виді термометрів опору і термопар. Для вимірювання високих та надвисоких значень температур застосовуються безконтактні методи наприклад: пірометри.

#### 1.1 Термометри розширення

Термометри розширення рідинні скляні застосовують для виміру температури від  $-100$  до  $+650^\circ\text{C}$ .

Принцип дії термометрів розширення заснований на об'ємному розширенні рідини, що знаходиться всередині скляного розширювача, під



дією навколишньої температури. При нагріванні розширювача рідина, що знаходиться в ньому, збільшується в об'ємі:  $V_t = V_0(1 + \gamma t)$ , де  $V_t$  - обсяг рідини при нагріванні на  $t$  °С,  $V_0$  - обсяг рідини при 0 °С;  $\gamma$  - коефіцієнт об'ємного розширення,  $t$  - температура вимірювання, °С.

Піднімаючись вгору по капіляру, рідина встановлюється на висоті, пропорційній температурі нагрівання. Відлік ведеться по шкалі в градусах Цельсія. В якості робочої рідини в скляних термометрах використовують ртуть, спирт, газ або толуол. Ртуть є кращою робочою рідиною, тому що відсутнє змочування рідини, тому в скляному капілярі не утворюється вгнутий меніск, що полегшить зняття показань із термометра.

## 1.2 Манометричні термометри

Манометричні термометри використовують для вимірювання температур рідких і газових середовищ у діапазоні від 0 до +600 °С.

Принцип дії приладів заснований на використанні залежності зміни тиску робочої рідини, насиченого пару або газу при постійному обсязі від температури об'єкта.

В залежності від наповнювача, що заповнює всю термосистему (термобалон, капіляр і дошкульний елемент), манометричні термометри діляться на газові, парорідинні і рідинні.

Газові прилади заповнюють інертним газом - азотом або аргоном, парорідинні - рідинами, що низько киплять, (ацетон, фреон), пари яких при температурі, що вимірюється частково заповнюють термобалон, рідинні - кремній органічної рідиною. Шкала манометричних газових і рідинних термометрів рівномірна; в парорідинних термометрів шкала нерівномірна в першій третині шкали.

До переваг манометричних термометрів відносяться мала інерційність вимірювань і вибухонебезпечність, до недоліків - низька ремонтоздатність в умовах заводу, особливо при виході з ладу чутливого елемента або капіляра, відповідно низький клас точності.

## 1.3 Термоелектричні термометри

Термопара (термоелектричний термометр) представляє собою два різнорідних металевих провідників (термоелектродів), що призначені для вимірювання температури. Кінець термопари, що поміщається в об'єкт вимірювання температури, називається робочим або "гарячим" спаєм, вільні або "холодні" кінці термопари сполучені з вимірювальним приладом. Термопарою здійснюється перетворення теплової енергії в електричну.

Принцип роботи термопари полягає в тому, що при зміні температури гарячого спаю на вільних ("холодних") кінцях термопари змінюється термоелектрорушійна сила (термо-е.р.с.) постійного струму.

Відповідно до явища Зеєбека, у замкнутому електричному колі, утвореного двома різнорідними провідниками, виникає термо-е.р.с., пропорційна різниці температур спаїв. Розмір термо-е.р.с. залежить тільки від температури “гарячого”  $t_1$  і температури  $t_2$  “холодного” спаїв і матеріалів, що утворюють термопару.

Утворення термо-е.р.с. у термопарі пояснюється тим, що при нагріванні електрони на “гарячому” спаї одержують більш високі швидкості, чим на “холодному”, в результаті виникає потік електронів від “гарячого” кінця до “холодного”. На “холодному” кінці накопичується негативний заряд, на “гарячому” - позитивний. Різниця цих потенціалів визначає термо-е.р.с. термопар  $E(t) = E(t_1) - E(t_2)$ .

Діапазон вимірювання температури залежить від типу матеріалів провідників, які застосовуються для виготовлення термопар:

- хромель-копелеві (ТХК) на межі від  $-50$  до  $600^\circ\text{C}$ ;
- хромель-алюмелеві (ТХА) на межі від  $-50$  до  $1000^\circ\text{C}$ ;
- платинородій-платинові (ТПП) на межі від  $0$  до  $1300^\circ\text{C}$ ;
- платинородій-платинородієві (ТПР) на межі від  $300$  до  $1800^\circ\text{C}$ ;

Крім того освоюються ТЕП з уніфікованим вихідним сигналом  $0-5$ ;  $4-20$  мА.

Позначення ХА, ХК, ПП називається градировкою термопар; позитивним електродом є електрод, матеріал якого в градировці стоїть першим.

#### **1.4 Термометри опору**

Термометри опору широко застосовуються для вимірювання температури в діапазоні від  $-2600$  до  $7500^\circ\text{C}$ . В деяких випадках вони можуть бути застосовані для вимірювання температури до  $1000^\circ\text{C}$ .

Дія термометрів опору основана на властивості речовини змінювати свій електричний опір при зміні температури. При вимірюванні температури термометр опору занурюють в середовище, температуру якого потрібно визначити. Знаючи залежність опору термометра від температури можна за зміною опору термометра робити висновок про температуру середовища, в якому він знаходиться. При цьому необхідно мати на увазі, що довжина чутливого елемента (ЧЕ) у більшості термометрів складає декілька сантиметрів, і тому при наявності температурних градієнтів в середовищі термометр опору вимірює деяку середню температуру тих шарів середовища, в яких знаходиться його чутливий елемент.

Раніше рахували, що найбільш придатним матеріалом для виготовлення термометрів опору є тільки чисті метали, але дослідження останнього року показали, що деякі напівпровідники теж можуть бути застосовані в якості матеріалу для виготовлення термометрів опору.

Відомо, що велика кількість металів має додатній температурний

коефіцієнт електричного опору:  $0,4 - 0,6\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  для чистих металів. Це пов'язано з тим, що число носіїв струму - електронів провідності в металах дуже велике і не залежить від температури. Електричний опір метала збільшується з підвищенням температури в зв'язку зі збільшенням теплових коливань іонів навколо своїх положень рівноваги. В н/п можна побачити іншу картину - кількість електронів провідності різко збільшується з підвищенням температури. Тому електричний опір типових н/п також різко (по експоненціальному закону) зменшується при їх нагріванні. При цьому температурний коефіцієнт електричного опору н/п на порядок вище, ніж в чистих металах.

Термометр опору з чистих металів, який одержав найбільше розповсюдження, виготовляють звичайно у вигляді обмотки з тонкої проволочки на спеціальному каркасі з ізоляційного матеріалу. Цю обмотку прийнято називати чутливим елементом термометра опору. Для того, щоб запобігти від можливих механічних ушкоджень та дії середовища, температура якого вимірюється термометром, чутливий елемент його вміщує в спеціальну захисну гільзу.

До числа якостей металічного термометра опору слід віднести: високу степінь точності, вимірювальної температури, можливість випуску вимірювальних приладів до них зі стандартною градуйованою шкалою практично на будь-який температурний інтервал в діапазоні допустимого температурного застосування термометрів опору; можливість централізованого контролю температури шляхом приєднання декількох взаємодіючих термометрів опору через перемикач до одного вимірювального приладу; можливість використання їх з комп'ютерами.

Н/п термометри опору, як показує практика їх застосування, можуть бути використані для вимірювання температури від 1,3 до 400К. В практиці технологічного контролю вони в порівнянні з металевими знаходять менше застосування, так як вимагають індивідуального градуювання.

Для точних вимірювань опорів термометри в лабораторних умовах застосовують потенціометри і мости.

При вимірюванні температури в промислових умовах термометри опору використовують в комплекті з логометрами, автоматичними зрівноважувальними мостами і автоматичними компенсуючими приладами. При цьому необхідно мати на увазі, що ці прилади забезпечують шкалою, відградуйованою шкалою в градусах Цельсія, яка дійсна тільки для певного градуювання термометра опору і заданих значень опорів проводів, з'єднуючи термометр з вимірювальним приладом.

## **1.5 Метали, які використовують для виготовлення термометрів опору**

Метали, призначені для виготовлення чутливих елементів (ЧЕ) термометрів опору, повинні відповідати деяким вимогам. Вони повинні

окислюватися і мати високе відтворення значень електричного опору в діапазоні робочих температур. Зворотній метал в діапазоні використовуваних температур повинен мати монотонну залежність опору від температури  $R = f(t)$  і досить високе значення температурного коефіцієнта опору  $\alpha$ . Цей коефіцієнт в загальному вигляді може бути виражений рівнянням:

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt}. \quad (1.1)$$

Температурний коефіцієнт електричного опору заведено розраховувати від 0 до 100°C. Для цього випадку вираз (1.1) приймає вигляд:

$$\alpha_{0100} = \frac{R_{100} - R_0}{100}, \quad (1.2)$$

де  $R_0$  і  $R_{100}$  - опори зразка даного металу, виміряні відповідно при 0 і 100°C.

Відомо, що сплави мають менше значення температурного коефіцієнта опору. Крім цього, відтворення властивостей сплавів далеко недостатні в порівнянні з чистими металами. Досліди показують, що чим чистіший метал (при відсутності в ньому механічних напружень), тим краще у нього відтворення температурних властивостей і більше значення відношення  $R_{100}/R_0$  також як і  $\alpha$  є загальноприйнятими показниками ступені чистоти даного металу і присутності механічних напружень. Для зняття механічних напружень в даному металі використовують визначені режими віджигу. При цьому значення відношення  $R_{100}/R_0$ , а також і  $\alpha$  зразка збільшується до їх граничного значення для даного металу.

Вказаним вище вимогам до металів для виготовлення ЧЕ термометрів опору для широкого діапазону температур дозволяє платина. Якщо верхня межа температури використання термометра не висока то вказаним вище вимогам задовольняє також мідь і нікель. В деяких випадках використовують для виготовлення ЧЕ термометрів опору, але з обмеженою областю їх використання, й інші метали, наприклад, залізо, вольфрам і молібден.

В даній лабораторній роботі використовується мідний термометр опору (ТОМ-50). Тому розглянемо мідні термометри опору в загальному вигляді.

## **1.6 Мідь і термометри опору, що з неї виготовляються**

До позитивних якостей міді, як матеріалу, використовуваного для виготовлення чутливих елементів технічних термометрів опору типу ТОМ, треба віднести дешевизну, простоту одержання такого дроту в різній ізоляції,

можливість отримання провідникової міді високої чистоти. Температурний коефіцієнт лежить в діапазоні від  $4,2 \cdot 10^{-3}$  до  $4,27 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Залежність електричного опору міді від температури в широкому інтервалі температур підкоряється рівнянню:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (1.3)$$

де  $R_t$  і  $R_0$  - опори даного зразка міді (ЧЕ мідного термометру) відповідно при температурі  $t$  і  $0^\circ\text{C}$ ;

$\alpha$  - температурний коефіцієнт електричного опору, характерний для даного зразка мідного дроту, з якого виготовлений ЧЕ термометра.

Температурний коефіцієнт опору визначають із значень опору чутливого елементу мідного термометру, виміряних відповідно для точки танення льоду і температури кипіння води. Мідний дріт використаний для виготовлення чутливих елементів мідних термометрів ТОМ, має температурний коефіцієнт опору  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Лінійний характер залежності опору міді від температури є її перевагою. До числа недоліків слід віднести малий питомий опір ( $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ) та інтенсивне окислення при невеликих температурах.

Стандартні градуйовані таблиці для мідних термометрів опору типу ТОМ наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Максимально допустимі відхилення від градуйованих таблиць термометрів опору ТОМ

Тип термометра	Клас точності	Інтервал температури $^\circ\text{C}$	Мах. допустиме відхилення від $\Delta t$
ТОМ	2	$-50 \div (+180)$	$\pm (0,3 + 3,5 \cdot 10^{-3} t)$
ТОМ	3	$-50 \div (+180)$	$\pm (0,3 + 6 \cdot 10^{-3} t)$

Чутливий елемент 1 мідного термометру опору типу ТОМ показаний на рисунку 1.1.

Він виконаний із ізольованого мідного дроту діаметром 0,1 мм багат шаровою безіндукційною намоткою 2 на циліндричному каркасі з пластмаси або металу, герметизованої шаром лаку 3. До кінців обмотки припаяні виводи з мідного дроту 4. Зібраний ЧЕ вставляють в металевий чохол 5. Довжина ЧЕ термометра дорівнює 400мм, а діаметр 5 – 6мм.

Неврівноважений міст постійного струму при живленні від генератора напруги. В якості первинного перетворювача використовуємо мідний термометр опору ТОМ-0979, увімкнений за принциповою схемою.

Для даного ТОМ:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (1.4)$$

де  $R_0 = 50 \text{ Ом}$ ,  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Завжди  $R_{л1} = R_{л2} = R_{л3} = R_{л}$ , а  $R_0 \gg R_{л}$ .

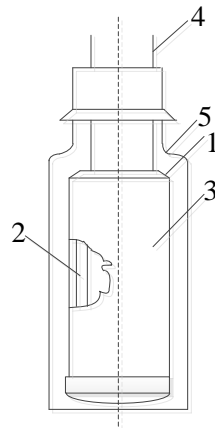


Рисунок 1.1 – Чутливий елемент мідного ТО на каркасі з пластмаси

Напруга в точці 1 дорівнює:

$$U_1 \approx \frac{E \cdot (R_0 + 2R_{л})}{R_1 + R_0 + 2R_{л}}. \quad (1.5)$$

Напруга в точці 2 дорівнює:

$$U_2 \approx \frac{E \cdot (R_t + 2R_{л})}{R_2 + R_t + 2R_{л}}. \quad (1.6)$$

Напруга  $U_{вих}$  дорівнює:

$$U_{вих} \approx U_2 - U_1 \approx \frac{E \cdot (R_t + 2R_0)}{R_2 + R_t + 2R_{л}} - \frac{E \cdot (R_0 + 2R_{л})}{R_1 + R_0 + 2R_{л}}. \quad (1.7)$$

Виберемо опри  $R_1$  і  $R_2$  з умови отримання максимальної чутливості моста у врівноваженому стані, коли  $R_1 = R_2 = R_0$ .

$$U_{вих} \approx \frac{E \cdot R_0^2 \cdot \alpha \cdot t}{4 \cdot (R_0 + R_{л})^2 \cdot \left(1 + \frac{E \cdot \alpha \cdot t}{2(R_0 + R_{л})}\right)}. \quad (1.8)$$

Враховуючи, що  $R_0 \gg R_{л}$ , отримаємо:

$$U_{вих} \approx \frac{E \cdot \alpha \cdot t}{4 \cdot \left(1 + \frac{\alpha t}{2}\right)}. \quad (1.9)$$

Як видно з (1.9) вихідна напруга  $U_{\text{вих}}$  неврівноваженого моста нелінійно залежить від температури.

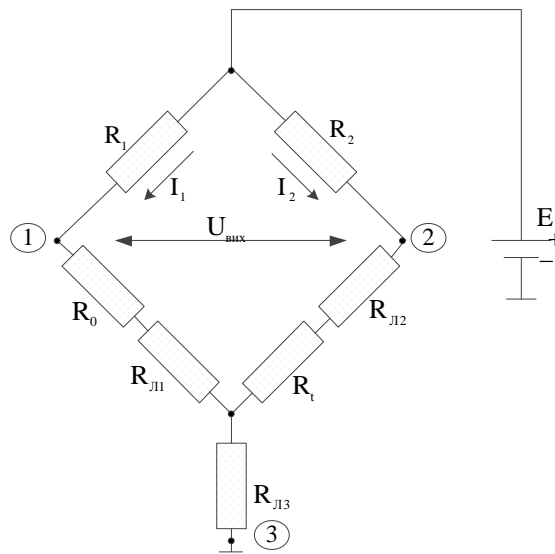


Рисунок 2.2 – Неврівноважений міст постійного струму при живленні від генератора напруги

Визначимо  $dU_{\text{вих}}/dt$ :

$$\frac{dU_{\text{вих}}}{dt} \approx \frac{E \cdot \alpha}{(2 + \alpha \cdot t)}. \quad (1.10)$$

Коефіцієнт нелінійності вихідної напруги від температури визначається виразом:

$$\varepsilon \approx \frac{\frac{d \cdot U_{\text{вих}}}{dt} / t = 0 - \frac{d \cdot U_{\text{вих}}}{dt} / t = t_{\text{max}}}{\frac{d \cdot U_{\text{вих}}}{dt} / t = 0} \cdot 100\%. \quad (1.11)$$

Для діапазону температур  $0-100^\circ\text{C}$ ,  $\varepsilon = 0,32$  чи  $32\%$ .

Таким чином, вихідна напруга неврівноваженого моста постійного струму при його живленні від джерела е.р.с. нелінійно залежить від температури якщо в якості одного плеча використовується термометр опору. Це призводить до труднощів при розробці принципів схем таких приладів.

Неврівноважений міст постійного струму при живленні від двох генераторів струму.

В даній схемі струми  $I_1 = I_2 = I$ .

За вихідну напругу  $U_{\text{вих}}$  приймаємо  $U_{\text{вих}} = U_2 - U_1$ , де

$$U_2 = I(R_{Л2} + R_t + U_{Л3}), \quad (1.12)$$

$$U_1 = I(R_{Л1} + R_0 + U_{Л3}). \quad (1.13)$$

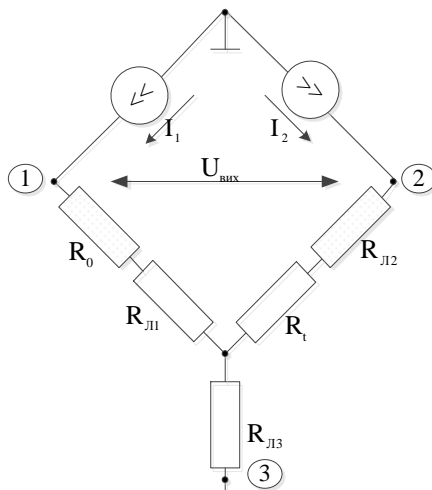


Рисунок 1.3 – Неврівноважений міст постійного струму при живленні від двох генераторів струму

Прийmemo  $R_{Л1} = R_{Л2} = R_{Л3} = U_{Л}$ ,  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ . Тоді:

$$U_2 = I(2R_{Л} + R_0(1 + \alpha t)), \quad (1.14)$$

$$U_1 = I(2R_{Л2} + R_0), \quad (1.15)$$

$$U_{вих} = I \cdot R_0 \cdot \alpha \cdot t. \quad (1.16)$$

З виразу (1.16) слідує що, напруга між точками 2 і 1 вихідної діагоналі моста лінійно залежить від температури  $t$  термометру опору. Це дозволяє реалізувати прості схеми електронних термометрів.

### 1.7 Безконтактні методи вимірювання температури

Термошумовий метод виміру температури базується на рівнянні Найквіста, що встановлює зв'язок між напругою теплових шумів, що виникають на будь-якому резисторі, та його термодинамічною температурою:

$$U_{ш} = 4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot f, \quad (1.17)$$

де  $U_{ш}$  - середньо квадратичне значення шумової напруги;



$k$  - постійна Больцмана, рівна  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;

$R$  - опір резистора;

$f$  - смуга частот, в якій виробляються виміри.

Рівняння Найквіста справедливо для резисторів з різних матеріалів та не залежить від властивостей цих матеріалів. Таким чином, термошумовий метод дозволяє визначити розмір одиниці термодинамічної температури - кельвіна у відповідності з її визначенням як незалежної одиниці, що забезпечує незалежну реалізацію термодинамічної температурної шкали та дасть можливість уточнити МПТШ.

Термошумовий метод можна використовувати для виміру температур в діапазоні від 0,001 до 2000–2500К. В якості вимірювальних перетворювачів застосовуються безреактивні резистори з платини, манганіта, константа, ніхрому, вольфраму, графіту, непроволочні резистори, а також ємнісні та індуктивні неконтактні перетворювачі, які являють собою резонансний коливальний контур. Джерелом теплового шуму в двох останніх перетворювачах служить опір середовища, температура якого вимірюється, наприклад іонізуючого газу чи пламеню. Це дасть можливість вибірково визначати температуру окремих ділянок газу, що відрізняються по питомій електропровідності.

Вимірювання температури термочастотними методами оснований на використанні залежності від температури частоти власних коливань різного роду резонаторів, швидкості розповсюдження звукових та ультразвукових коливань та параметрів частотно-залежних RC – або RL – ланцюгів з терморезистором.

Найбільш розвинуті резонансні термочастотні методи, оснований на застосуванні резонаторних датчиків, що являють собою автогенератори чи генератори з вимушеними коливаннями, частота яких настроюється в резонанс з частотою власних коливань резонатора, що змінюється з температурою.

Для виміру температури застосовуються механічні, газові та ядерні резонатори. Характеристика перетворення температури в частоту у таких резонаторів нелінійна.

Для вимірювання температур від 400 до 4000°С використовують пірометричні прилади. Принцип роботи цих приладів заснований на спроможності нагрітого тіла випромінювати енергію у вигляді світлових і теплових променів. З підвищенням температури тіла інтенсивність випромінювання зростає, крім того, з'являються випромінювання різноманітних довжин хвиль. При більшій температурі велика частина енергії випромінюється з меншою довжиною хвилі. Еталоном максимальної випромінювальної спроможності, що поглинається променем, є абсолютно чорне тіло. Проте жодний із матеріалів у природі не має такої спроможності. Випромінювальна спроможність абсолютно чорного тіла дорівнює повній кількості енергії, що випромінюється з 1м<sup>2</sup> поверхні за 1 із (Вт/м<sup>2</sup>). Якщо

навіть внутрішня поверхня тіла має не дуже великий коефіцієнт поглинання, то випромінювання все рівно практично цілком поглинеться внутрішньою поверхнею в результаті багатократних внутрішніх відбитків.

Відповідно до закону Стефана-Больцмана, інтегральна випромінювальна спроможність абсолютно чорного тіла пропорційна четвертого ступеня його абсолютної температури:  $\varepsilon_i = \sigma T^4$ , де  $\varepsilon_i$  - інтегральна випромінювальна спроможність абсолютно чорного тіла,  $\sigma$  - універсальна постійна,  $T$  - абсолютна температура.

За допомогою пірометрів по яскравості випромінювання визначають температуру нагрітого тіла. Градуюють пірометри по інтенсивності випромінювання штучного чорного тіла. Пірометри випускають двох типів: оптичні й радіаційні.

Пірометри, засновані на яскравому методі вимірювання, називаються оптичними або яскравими. Пірометри, що використовують радіаційний метод вимірювання температури, називаються радіаційними або пірометрами повного випромінювання.

До оптичних пірометрів ставляться прилади ОППІР і ФЭП-4, що є вимірювачами одноколірного монохроматичного випромінювання.

Принцип дії оптичного пірометра ОППІР заснований на порівнянні через світофільтр яскравості нагрітого об'єкта і яскравості розпеченої нитки фотометричної лампи накалювання. Світловий фільтр пропускає випромінювання визначеної довжини хвилі. Прилад ОППІР дозволяє вимірювати температуру від 800 до 6000°С. Основна похибка виміру 4 – 8%.

Принцип дії фотоелектричного пірометра ФЭП-4 полягає в тому, що випромінювання від об'єкта виміру 12 і разом із випромінюванням від еталонної лампи 4 у протифазу потрапляє на р, фотоелемент 7. Різниця цих світлових потоків посилюється підсилювачем 8 і подається на вихідний каскад 9, навантаженням якого являється еталонна лампа накалювання 4, послідовно з якої встановлене калібрований опір 10. Падіння напруги на каліброваному опорі вимірюється електронним потенціометром 11, шкала якого відградується в одиницях вимірювання температури.

Пірометр випускають на межі вимірювання температури від 500 до 4000°С. Основна похибка не перевищує  $\pm 1\%$  при вимірюванні температури не вище 2000°С і 1,5% - при температурі понад 2000°С.

Радіаційний пірометр РАПІР є вимірювачем повного випромінювання і призначений для вимірювання температур у діапазоні 100 – 2500°С. Основним елементом приладу є телескоп ТЭРА-50 із термобатареею, що перетворює теплове випромінювання тіла в термо-е.р.с., що вимірюється повторним приладом.

В залежності від діапазону температури, що вимірюється випускається чотири типи телескопів ТЭРА-50. Основна похибка виміру складає від 8 до 30%.

Чутливим елементом телескопа ТЭРА-50 є термобатарей, що складається з десятих сполучених послідовно термопар типу хромель-алюмель. При такому з'єднанні результуюча термо-е.р.с. батареї дорівнює сумі термо-е.р.с. складових її елементів, що значно підвищує чутливість приладу.

При градуїювках пірометрів встановлюється залежність між температурою об'єкта вимірювання і напругою термобатарей приймача.

Для усунення похибки вимірювання від температури вільних кінців термопар у радіаційних пірометрах використовують компенсуючі пристрої.

Для компенсації температури до  $100^{\circ}\text{C}$  термобатарей шунтують мідним або нікелевим дротом. Для компенсації температури до  $200^{\circ}\text{C}$  частина світлового потоку променів перекривається біметалічними пластинами. При вимірюванні телескоп розташовують на відстані 1м від об'єкта вимірювання і наводять на нього через лінзу окуляра.

Безпосередньо оптичні системи телескопів для вимірювання температури в інтервалі  $100-500^{\circ}\text{C}$  виконуються з флюориту або фтористого лиття, для температури  $400-2000^{\circ}\text{C}$  - із кварцового скла, для температури  $900-3000^{\circ}\text{C}$  - з оптичного скла типу К-8.

## 1.2 Опис лабораторного стенду

Лабораторний стенд включає:

- вимірювальний пристрій;
- терморезистор (входить в комплект до вимірювального пристрою);
- магазин опорів; автотрансформатор напруги, ручка якого виведена на передній панелі стенда;
- отвір "НАГРІВАЛЬНА КАМЕРА", температура в якому регулюється поданою напругою, яка вимірюється вольтметром.

## 1.3 Хід роботи

1. Ознайомитись з лабораторним стендом.
2. Ознайомитись з правилами користування вимірювальним приладом.
3. Користуючись терморезистором виміряти температуру оточуючого середовища і температуру тіла всіх студентів бригади в однакових умовах. Результати записати.
4. Ввімкнути тумблер "220". Встановити за допомогою автотрансформатора напругу на нагрівальному елементі за рекомендацією викладача.
5. Виміряти температуру в "Нагрівальній камері", при трьох значення напруги, враховуючи інерційні властивості нагрівальної камери, первинного перетворювача і вимірювального приладу. Результати записати.

6. Підключити магазин опорів до вимірювального приладу (в режим вимірювання температури), для моделювання вимірювання температури. Установити на магазині опорів  $R_M = 500\text{ Ом}$ . Провести вимірювання температури в 10–20 точках, (діапазон вимірювання температури повинен буди максимально можливим). Результати записати в таблицю 1.2.

7. Провести обробку результатів (сумісних, спільних вимірювань) вимірювань. Визначити лінійну температурну залежність опору терморезистора, за формулою  $R(t) = R_{20} + \alpha(t - 20)$ . Розрахувати  $R_{20}$  опір терморезистора при  $20^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$  - температурний коефіцієнт опору.

8. Оцінити максимальну похибку і дати вірне її пояснення.

9. За одержаною формулою визначити опір терморезистора за результатами дослідження в п.5.

Таблиця 1.2 – Результати вимірювань

п/п	$t, ^\circ\text{C}$	$R_t, \text{Ом}$
1		
...		
N		

#### 1.4 Приклад проведення розрахунків

Результати залежності опору від температури представлені в таблиці 1.3:

1) за результатами експерименту визначити: лінійну температурну залежність опору терморезистора, за формулою  $R(t) = R_{20} + \alpha(t - 20)$ , де  $R_{20}$  - опір терморезистора при  $20^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$  - температурний коефіцієнт опору.

Представимо задане рівняння у вигляді рівняння парної (лінійної) регресії:

$$R(t) = R_{20} + \alpha(t - 20) = R_{20} + \alpha t - 20\alpha = a_0 + a_1 x,$$

$$y = a_0 + a_1 x,$$

де  $a_0 = R_{20} - 20\alpha$ ,  $a_1 = \alpha$ ,  $x = t$ ,  $y = R(t)$ .

Для визначення коефіцієнтів парної регресії скористуємось наступною системою:

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum x_i = \sum y_i; \\ a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 = \sum x_i y_i. \end{cases}$$

Після підстановки одержимо:

$$\begin{cases} 30a_0 + a_1 3160 = 2082.170361; \\ a_0 3160 + a_1 1492800 = 440878.699. \end{cases}$$

Розв'язавши систему рівнянь отримаємо:  $a_0=49.2921347$   $a_1=0.1908386$ .

Визначаємо коефіцієнти  $R_{20}$ ,  $\alpha$ :

$R_{20}=53.1089067$ ;  $\alpha=0.1908386$ .

Тоді:

$R(t) = 53.1089067 + 0.1908386(t - 20)$ .

Таблиця 1.3 – Залежність опору від температури

№	t, °C	R <sub>t</sub> , Ом	№	t, °C	R <sub>t</sub> , Ом	№	t, °C	R <sub>t</sub> , Ом
1	-200	8,654	11	0	50,00	21	200	88,51
2	-180	12,99	12	20	53,95	22	220	92,23
3	-160	17,28	13	40	57,89	23	260	99,61
4	-140	21,50	14	60	61,80	24	280	103,26
5	-120	25,68	15	80	65,69	25	300	106,88
6	-100	29,81	16	100	69,55	26	320	110,49
7	-80	33,90	17	120	73,39	27	400	124,68
8	-60	37,97	18	140	77,21	28	420	128,16
9	-40	42,00	19	160	81,00	29	460	135,07
10	-20	46,01	20	180	84,77	30	500	141,88

2) за результатами експерименту визначити: лінійну температурну залежність опору терморезистора, за формулою  $R(t) = R_0(1 + \alpha t)$ , де  $R_{20}$  - опір терморезистора при 0°С;  $\alpha$  - температурний коефіцієнт опору.

Представимо задане рівняння у вигляді рівняння парної (лінійної) регресії:

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t) = R_0 + R_0\alpha t = a_0 + a_1x,$$

$$y = a_0 + a_1x,$$

де  $a_0 = R_0$ ,  $a_1 = R_0\alpha$ ,  $x = t$ ,  $y = R(t)$ .

Для визначення коефіцієнтів парної регресії скористуємось наступною системою:

$$\begin{cases} a_0n + a_1\sum x_i = \sum y_i; \\ a_0\sum x_i + a_1\sum x_i^2 = \sum x_i y_i. \end{cases}$$

Після підстановки одержимо:

$$\begin{cases} 30a_0 + a_1 3160 = 2082.170361; \\ a_0 3160 + a_1 1492800 = 440878.699. \end{cases}$$

Розв'язавши систему рівнянь отримаємо:  $a_0=49.2921347$   $a_1=0.1908386$ .

Визначаємо коефіцієнти  $R_0$ ,  $\alpha$ :

$R_0=49.2921347$ ;  $\alpha=0.0038716$ .

Тоді:

$$R(t) = 49.2921347(1 + 0.0038716t).$$

3) за результатами експерименту визначити: лінійну температурну залежність опору терморезистора, за формулою  $R(t) = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2)$ , де  $R_0$  - опір терморезистора при  $0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$  і  $\beta$  - температурні коефіцієнти опору.

Виконаємо аналогічне перетворення і отримаємо:

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) = R_0 + R_0\alpha t + R_0\beta t^2 = a_0 + a_1x + a_2x^2,$$

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2,$$

де  $a_0 = R_0$ ,  $a_1 = R_0\alpha$ ,  $a_2 = R_0\beta$ ,  $x = t$ ,  $y = R(t)$ .

Для визначення коефіцієнтів квадратичної регресії (поліном другого ступеню) скористуємось наступною системою:

$$\begin{cases} a_0n + a_1\sum x_i + a_2\sum x_i^2 = \sum y_i; \\ a_0\sum x_i + a_1\sum x_i^2 + a_2\sum x_i^3 = \sum x_i y_i; \\ a_0\sum x_i^2 + a_1\sum x_i^3 + a_2\sum x_i^4 = \sum x_i y_i^2 \end{cases}$$

Розв'язавши систему рівнянь отримаємо:  $a_0=49.9531988$ ,  $a_1=0.1992067$ ,  $a_2=-0.000031$ .

Визначаємо коефіцієнти  $R_0$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ :

$$R_0=49.9531988; \alpha=0.003988; \beta=-6.20581 \cdot 10^{-7}.$$

Тоді:

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) = 49.9531988(1 + 0.003988t - 6.20581 \cdot 10^{-7} t^2).$$

### Контрольні питання:

1. Принцип дії термометрів розширення.
2. Принцип дії манометричних термометрів.
3. Принцип роботи термоелектричних термометрів.
4. Типи матеріалів провідників, які застосовуються при виготовленні термопар, та діапазон відповідних температур.
5. На чому основана дія термометрів опору.
6. Описати склад чутливого елементу мідного термометра типу ТОМ.
7. Переваги та недоліки мідного ТО.
8. Термошумовий метод виміру температур. Рівняння Найквіста.
9. Використання пірометрів. Принцип дії пірометрів.
10. Використання радіаційних пірометрів.

## Лабораторна робота № 5

### 1 ПЕРЕВІРКА ПРИСТРОЇВ З ДИФЕРЕНЦІЙНО-ТРАНСФОРМАТОРНОЮ ІНДУКТИВНОЮ СХЕМОЮ

#### Мета роботи:

1. Ознайомлення з конструкцією і принципом роботи вторинного пристрою з диференційно-трансформаторною індуктивною схемою.
2. Проведення градування пристрою ДСІ по контрольному датчику з мікрометричним гвинтом.

#### Теоретичні відомості

Індуктивні перетворювачі широко застосовуються для перетворень переміщень та інших механічних величин, котрі попередньо перетворюються в переміщення. За конструктивним виконанням ці перетворювачі дуже різноманітні. Основними їх різновидами є перетворювачі зі змінною довжиною повітряного зазору, перетворювачі плунжерного типу, диференціальні перетворювачі із змінним повітряним зазором та ін.

Індуктивний перетворювач зі змінною довжиною повітряного зазору можна вважати практично лінійним перетворювачем лише при малих відносних змінах довжини цього зазору  $\Delta\delta/\delta$ . В реальних конструкціях таких перетворювачів при  $\Delta\delta/\delta = 0,1 \dots 0,15$  відносна зміна індуктивності не перевищує  $0,05 \dots 0,1$  при не лінійності функції перетворення  $1 \dots 3\%$ . Тому такі перетворювачі застосовують для перетворень малих переміщень ( $0,01 \dots 10$ мм).

Значного покращення лінійності з одночасним збільшенням чутливості можна досягнути, створюючи диференціальні перетворювачі.

#### 1.1 Диференційний перетворювач з змінним повітряним зазором

На практиці, як правило, використовують саме такі перетворювачі. Диференційний перетворювач наведено на рис.1.1.

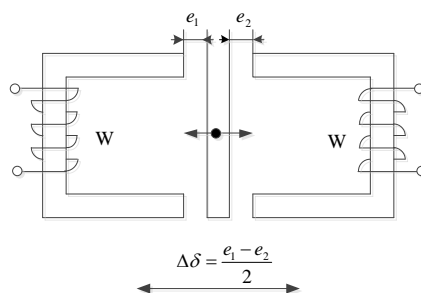


Рисунок 1.1 – Диференційний індуктивний перетворювач

Диференційний перетворювач складається з двох однакових індуктивних перетворювачів. Під дією вхідної величини  $\Delta\delta$  повний опір обох перетворювачів змінюється дзеркально, тобто на одну і ту саму величину, але з протилежним знаком. Диференційний перетворювач включають в таку вимірвальну схему, яка реагує на алгебраїчну різницю повних опорів перетворювачів, що входять до складу диференційного перетворювача. За рахунок цього чутливість диференційного перетворювача підвищується в два рази у порівнянні з одинарним.

## 1.2 Взаємоіндуктивні перетворювачі

Принцип дії взаємоіндуктивних перетворювачів заснований на явищі зміни наведеної у вторинному колі е.р.с. при зміні повітряного зазору. Взаємоіндуктивні перетворювачі виконують головним чином диференційними, що дозволяє отримати нульовий вихідний сигнал при нульовому переміщенні. Взаємоіндуктивний одинарний перетворювач лінійних переміщень наведено на рис. 1.2, а, взаємоіндуктивний диференційний перетворювач – на рис. 1.2, б.

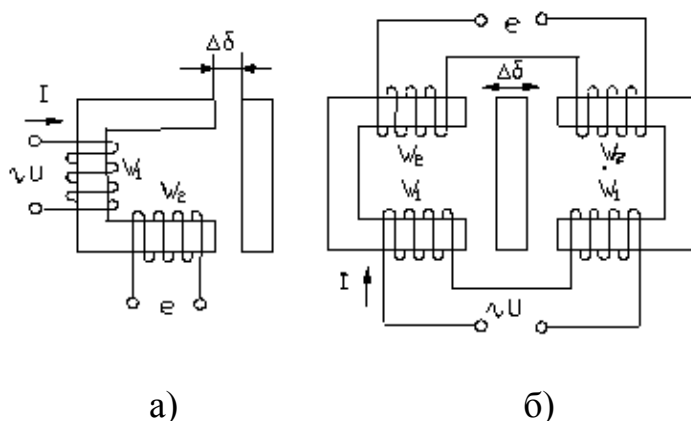


Рисунок 1.2 – Взаємоіндуктивні перетворювачі

Для одинарного взаємоіндуктивного перетворювача залежність вихідної е.р.с. від довжини повітряного зазору наближено визначається

$$e \approx \frac{\omega W_1 W_2 I}{\rho_M \frac{I_M}{S_M} + \frac{\Delta\delta}{\mu_0 S_\delta}}, \quad (1.1)$$

де  $W_1$ ,  $W_2$  - кількість витків відповідно у первинних та вторинних обмотках;  $I$  - струм у первинній обмотці.

Функція перетворення диференційного взаємоіндуктивного перетворювача в першому наближенні має вигляд:



$$e \approx \frac{2\omega W_1 W_2 I \Delta \delta}{\mu_0 S_\delta \left( \rho_M \frac{l_M}{S_M} + \frac{\delta}{\mu_0 S_\delta} \right)^2}, \quad (1.2)$$

Найпоширенішими вимірювальними колами засобів вимірювань з диференціальними взаємоіндуктивними (трансформаторними) первинними перетворювачами є кола, що містять відповідні вторинні диференціально-трансформаторні компенсуючі перетворювачі (рисунок 3). Під дією вимірювального переміщення  $x$  плунжер первинного диференціально-трансформаторного перетворювача переміщується змінюючи значення вихідної е.р.с.  $e_x$ . Вторинний прилад має аналогічний компенсувальний диференціально-трансформаторний перетворювач, положення плунжера якого регулюється за допомогою ексцентрика, вісь якого механічно з'єднана з ротором реверсивного двигуна. Якщо вимірювальна е.р.с.  $e_x$  та компенсувальна е.р.с.  $e_k$  не дорівнюють одна одній за абсолютним значенням, тобто, якщо виникає розбаланс, підсилена за допомогою підсилювача напруга подається на реверсивний двигун і його ротор буде обертатись до моменту, поки  $e_x = e_k$ . Після урівноваження за шкалою приладу, про градуйованого в значеннях вимірювального переміщення, можна встановити значення вимірювальної величини.

В схемах автоматичного вимірювання, контролю і регулювання застосовують різноманітні датчики тиску, переміщення, які працюють в комплекті з вторинними приладами з диференціально-трансформаторним зв'язком для дистанційних передач.

Вторинні прилади ДСІ працюють в комплекті з датчиками, які мають спеціальну трансформаторну котушку з рухомим сердечником (ідентична трансформаторна котушка вмонтована і в приладі).

Трансформаторні котушки датчика і приладу ввімкнені по диференціально-трансформаторній схемі. Значення вихідної е.р.с.  $E$  диференційно-трансформаторного датчика

$$E = \gamma \omega I M, \quad (1.3)$$

де  $I$  – струм живлення первинної обмотки датчика;

$\omega = 2\pi q$  – взаємоіндуктивність першої і другої секцій;

$q$  – частота мережі живлення.

Значення і фаза вихідного сигналу  $E$  залежать від положення сердечника в котушці датчика по відношенню до нейтралі.

### 1.3 Будова і принцип дії приладу ДС

Диференціально-трансформаторна схема пристрою складається з трьох трансформаторних котушок /Д, ЕК, КН/ з рухомим сердечником

/плунжером/.

Кожна котушка має дві обмотки, при цьому вторинна обмотка складається з двох секцій. Включених назустріч один одному.

Первинні обмотки обох котушок включені послідовно в коло змінного струму з напругою 20В, а вторинні обмотки обох котушок з'єднані по диференційній схемі, на вихід схеми ввімкнений електронний підсилювач.

Графік залежності індуктивної е.р.с. від пересування плунжера показує, що при переміщенні плунжера до 5 мм залежність практично лінійна.

Якщо плунжери 1,2 обох котушок знаходяться в середньому положенні, то  $\Delta V_1 = E_1 - E_2 = 0$ ,  $\Delta V_2 = E_3 - E_4 = 0$ ,  $\Delta V = \Delta V_1 - \Delta V_2 = 0$  на вході підсилювача також буде рівна нулю.

При узгодженні положень плунжерів котушок вихідна напруга розбалансу надходить в електронний підсилювач У, величина і фаза якого залежить від величини і напрямку розбалансування. Підсилена напруга призводить до обертання реверсивний двигун М2, який за допомогою кулачка К переміщує плунжер в котушці приладу до моменту узгодження положення плунжерів 1,2.

В котушках датчика і приладу /рівність напруг що індукуються в вторинних обмотках обох котушок/. Таким чином кожному положенню плунжера показника, що визначає значення вимірюваної величини відповідає своє певне положення плунжера в котушці приладу і своє визначене положення кінематично зв'язаного з плунжером показника приладу відповідно шкали .

Основна похибка приладу визначається по формулі:

$$\delta = \left( \frac{N}{N_{\max}} - \frac{S - S_0}{S_{\max} - S_0} \right) \cdot 100\% , \quad (1.4)$$

де N – показник по шкалі вторинного приладу;

$N_{\max}$  – верхня межа вимірювань;

$S_0$  і  $S_{\max}$  – нижнє і верхнє значення по мікрометричному гвинту;

S – положення мікрометричного гвинта під час відліку.

Вторинні прилади диференційно–трансформаторної системи побудовані на базі електронних автоматичних потенціометрів.

#### 1.4 Хід роботи

1. Ознайомтесь з конструкцією і принципом дії диференційно-трансформаторної системи передачі.

2. Ввімкнути напругу живлення приладу і змінити положення перимикача; який знаходиться на лицевій стороні кронштейна приладу на

положення “Вимірювання”. Прогрівши прилад 2-3 хв., переключити перемикач в положення ”Вимірювання, запис”.

3. Після 15-ти хвилинного прогріву перевірити його заспокоєння. Вказівник приладу повинен зробити 1-2 напівколивання біля положення рівноваги при різких змінах вимірюваної величини. При іншому характері заспокоєння потрібно провести його регулювання регулятором чутливості підсилювача.

4. Встановити вказівник приладу на початкову відзначку шкали і перевірити співпадання пера з початковою лінією діаграми стрічки. При неспівпаданні провести суміщення наконечника пера з початковою лінією.

5. Провести перевірку всіх оцифрованих точок шкали приладу при прямому і зворотному ході.

6. Визначити основну похибку приладу і результати перевірки занести до протоколу.

**ПРИМІТКА:** трансформаторна катушка “К” призначена для корекції схеми при зміні датчиків, тобто встановлення “0” шкал приладу.

#### **Контрольні запитання**

1. Який принцип дії диференційного індуктивного перетворювачів?
2. Який принцип дії взаємоіндуктивного перетворювача?
3. Який принцип дії диференціально-трансформаторної системи передачі?
4. З яким датчиком може працювати прилад ДС? В якому випадку різниця напруг на вході підсилювача буде рівна нулю?
5. Як визначити основну похибку приладу ДС?

## Лабораторна робота № 6

### 1 ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ

#### Мета роботи:

1. Ознайомлення з конструкцією і порядком налагодження електронного вологоміра ЕВ-2к для вимірювання деревини.
2. Вимірювання вологості деревини вологоміром ЕВ-2к.

#### Теоретичні відомості

Відомі численні методи визначення вологості твердих тіл і рідин. Методи виміру вологості прийнято поділяти на прямі і непрямі. У прямих методах виробляється безпосередній поділ матеріалу на суху речовину і вологу. У непрямих методах вимірюється величина, функціонально зв'язана з вологістю матеріалу. Непрямі методи вимагають попереднього калібрування з метою встановлення залежності між вологістю матеріалу і вимірюваної (вторинної) величини.

#### 1.1 Прямі методи

Найбільш розповсюдженим прямим методом є метод висушування, що полягає в повітряно-тепловому сушінні зразка матеріалу до досягнення рівноваги з навколишнім середовищем. На практиці застосовується висушування до постійної ваги; частіше застосовують так названі прискорені методи сушіння. У першому випадку сушіння закінчують, якщо два послідовних зважування досліджуваного зразка дають однакові чи дуже близькі результати. Тому що швидкість сушіння поступово зменшується, передбачається, що при цьому виділяється майже уся волога, що міститься в зразку. Тривалість визначення цим методом складає звичайно від декількох годин до доби і більше. У прискорених методах сушіння ведеться протягом визначеного, значно більш короткого проміжку часу, при підвищеній температурі (наприклад, стандартний метод визначення вологості зерна сушінням розмеленого навішення при  $+130^{\circ}\text{C}$  на протязі 40 хв). В останні роки для прискореного сушіння ряду матеріалів стали застосовувати інфрачервоні промені, а в окремих випадках — діелектричне нагрівання (струми високої частоти).

Визначенню вологості твердих матеріалів висушуванням приєднано наступні методичні погрішності:

- а) При висушуванні органічних матеріалів поряд з утратою гігроскопічної вологи відбувається втрата летучих; одночасно при сушінні в повітрі має місце поглинання кисню внаслідок окислювання речовини.

б) Припинення сушіння відповідає не повному видаленню вологи, а рівновазі між тиском водяних пар у матеріалі й тиском водяних пар у повітрі.

в) Видалення зв'язаної вологи в колоїдних матеріалах неможливо без руйнування колоїдної частки і не досягається при висушуванні.

г) У деяких речовинах у результаті сушіння утвориться водонепроникна кірка, що перешкоджає видаленню вологи.

Деякі із зазначених погрішностей можна зменшити сушінням у вакуумі при зниженій чи температурі в потоці інертного газу. Однак для вакуумного сушіння потрібно більш громіздка й складна апаратура, чим для повітряно-теплової.

При найбільш розповсюдженому сушінні (у сушильних шафах) маються погрішності, що залежать від застосовуваної апаратури й техніки висушування. Так, наприклад, результати визначення вологості залежать від тривалості сушіння, від температури й атмосферного тиску, при яких протікало сушіння. Температура має особливо велике значення при використанні прискорених методів, коли зниження температури сильно впливає на кількість вилученої вологи. На результати висушування впливають також форма й розміри бюкс і сушильної шафи, розподіл температури в сушильній шафі, швидкість руху повітря в ній, можливість віднесення пилу дрібних часток зразка і т.д. Для матеріалів, що піддаються перед визначенням вологості здрібнюванню, велике значення має збиток вологи в зразку в процесі здрібнювання. Цей збиток особливо великий, якщо при розмелі має місце, нагрівання зразка. З іншого боку, можливе поглинання вологи з навколишнього середовища в проміжках часу між закінченням сушіння й зважуванням зразка.

У підсумку висушування являє собою чисто емпіричний метод, яким визначається не щира величина вологості, а деяка умовна величина, більш-менш близька до неї. Визначення вологості, виконані в неоднакових умовах, дають погано порівнянні результати. Більш точні результати дає вакуумне сушіння, виконувана звичайно, в камері при зниженому тиску (25 мм рт. ст. і нижче) до постійної ваги.

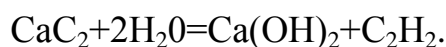
У дистиляційних методах досліджуваний зразок підігрівається в посудині з визначеною кількістю рідини, що не змішується з водою (бензол, толуол, ксилол, мінеральна олія і т.д.), до температури кипіння цієї рідини. Пари, проходячи через холодильник, конденсуються у вимірювальній посудині, у якому вимірюється обсяг чи вага води. Дистиляційні методи в різних модифікаціях і з використанням різних конструкцій апаратури були розроблені для різних матеріалів, у тому числі і для рідких (наприклад, стандартний метод Дина і Старка для нафти й нафтопродуктів). Однак дистиляційним методам також властиві багато недоліків. Краплі води, що залишаються на стінках холодильника й трубок, викликають погрішності у визначеннях. Застосовувані розчинники, як правило, вогнебезпечні, а апаратура тендітна й громіздка.

Методи висушування і дистиляційні прийняті, незважаючи на зазначені недоліки, як стандартні методи визначення вологості більшості матеріалів.

Екстракційні методи, засновані на витягу вологи з досліджуваного зразка твердого матеріалу водовбирною рідиною (діоксан, спирт) і визначенні характеристик рідкого екстракту, що залежать від його вологовмісту: питомої ваги, показника переломлення, температури чи кипіння замерзання і т.д. В електричних екстракційних методах вимірюються електричні властивості (питомий опір, діелектрична проникність) екстракту. Екстракційні методи дають найкращі результати в застосуванні до матеріалів, дрібно здрібненим чи маючими пористу структуру, що забезпечує проникнення екстрагуючої рідини в капіляри.

Основою хімічних методів є обробка зразка твердого матеріалу реагентом, що вступає в хімічну реакцію тільки з вологою яка міститься в зразку. Кількість води в зразку визначається по кількості рідкого чи газоподібного, продукту реакції. Найбільш розповсюдженими хімічними методами є карбідний (газометричний) метод і застосування реактиву Фишера.

У першому методі здрібнений зразок вологого матеріалу ретельно змішують із карбідом кальцію в надлишковій кількості, причому має місце реакція



Кількість виділеного газу визначають виміром його обсягу (волюмометричний спосіб), тиску в закритій судині (манометричний спосіб) чи шляхом зважування (гравіметричний спосіб). Один з новітніх різновидів газометричного методу заснований на застосуванні карбіду, що містить радіоактивний ізотоп  $\text{C}^{14}$ . Газ, що утвориться при реакції з вологою твердої чи рідкої речовини, містить ацетилен, міченими атомами  $\text{C}^{14}$ . Газ досліджується приладом, що вимірює інтенсивність бета-випромінювань, який можна градувати в одиницях вологості визначеного вологомістячого матеріалу. Незалежно від застосовуваного способу визначення кількості газу газометричні прилади звичайно градуують емпірично, тому що практично не уся вода бере участь у реакції й кількість виділеного ацетилену не відповідає рівнянню реакції.

Реактив Фишера, що представляє собою розчин металевого коду, безводного піридину і сухого сірчистого ангідриду в абсолютному метанолі, знайшов застосування для визначення вологості численних матеріалів у лабораторних умовах. Йод і сірчистий ангідрид реагують з водою з утворенням йодистоводневої і сірчистої кислот, для нейтралізації якої використовується піридин. Метод відрізняється універсальністю, високою точністю і, дозволяє виявляти незначні кількості вологи.

Титруванням з реактивом Фишера визначають вологовміст твердих, рідких і газоподібних речовин; звичайно, кінець титрування фіксується чи візуально електрометричним способом. Останнім часом були розроблені автоматичні титратори, що без участі хіміка-аналітика виконують всі операції титрування і сигналізують про закінчення реакції. Однак і в автоматичних титраторів тривалість одного визначення досягає 30 хв., що робить їх непридатними для автоматичного регулювання більшості виробничих процесів.

Менш розповсюджений хімічний метод визначення вологості по підвищенню температури внаслідок хімічної реакції реагенту з вологою речовини; найчастіше як реагент використовується сірчана кислота. Підвищення температури суміші карбиду кальцію з матеріалом можна використовувати також у карбідному методі, тому що реакція води із  $\text{CaC}_2$  протікає з виділенням тепла.

Іноді необхідно роздільне визначення «поверхневої» і «внутрішньої» вологості матеріалів. Крім способів, заснованих на видаленні поверхневої вологи силікагелем, фільтрувальним папером і т.п., можна застосувати запропонований І. К. Петровим метод, по якому, попередньо зважений матеріал опускають у воду, вимірюють ареометром, відградувану в грамах (для даного матеріалу), силу, що діє на навішення, і по різниці ваг навішення визначають вагу поверхневої вологи.

## 1.2 Непрямі методи

У цих методах оцінка вологості матеріалу виробляється по зміні різних його властивостей.

У пикнометричному методі використовуються водяні пикнометри для визначення щільності твердих матеріалів.

Застосовуються два варіанти:

а) вагарні, у якому вологовміст зразка, вага якого відома, обчислюється по збільшенню ваги пикнометра після введення зразка;

б) об'ємний, у якому вологовміст визначають по вазі й обсягу зразка, рівному обсягу витиснутої їм води. В обох випадках необхідне знання щільності матеріалу, що є недоліком методу; крім того, на результат виміру впливає зміст у матеріалі повітря і водорозчинних компонентів (солі і т.п.)

Механічні методи, засновані на вимірі механічних характеристик твердих матеріалів що змінюються, з вологістю: опору роздавлюванню (зерна), опору вдавненню металевої голки, чи конуса ножа, опору деформуючому зусиллю, тиску, необхідного для ущільнення зразка (бавовни) постійної ваги у фіксованому обсязі, усадки матеріалу (грунту) під тиском поршня в циліндрі й ін.

З непрямих методів виміру вологості найважливішими й отримавшими найбільше поширення є електрометричні методи.

Електрометричні методи - фізичні методи виміру, у яких вологість перетворюється в електричну величину. Електрометричні вологоміри відповідно до умов їхнього застосування можна розділити на неавтоматичні й автоматичні.

Неавтоматичні вологоміри вимагають для проведення виміру виконання деяких операцій людиною. До цієї категорії відносяться переносні вологоміри, при яких обличчя, що робить вимір, відбирає пробу матеріалу, уводить її у датчик (чи приводить датчик у зіткнення з матеріалом) і виконує операції, необхідні для процесу виміру: настроювання вимірювальної частини, відлік по шкалі вимірника і т.д. Неавтоматичними є також і вологоміри з ручним наведенням, не потребує маніпуляцій з датчиком, але, зберігаючи виконання людиною операцій настроювання, зрівноважування вимірювальної схеми і т.п.

Автоматичні вологоміри виконують весь процес виміру без участі людини. Це, як правило, стаціонарні прилади, у яких для введення досліджуваного матеріалу в робочий простір, датчиків не потрібно участі людини. Такі вологоміри дозволяють здійснити безупинний вимір вологості, запис показань за допомогою самописних приладів і передачу показань на відстань за допомогою пристроїв для дистанційних вимірів. Вони можуть мати також командні пристрої відомих типів: електричні чи пневматичні, безупинного чи імпульсної дії і т.д.

У залежності від використовуваної для виміру вологості фізичної величини можна виділити в окрему групу електричні методи, в основу яких покладене пряме вимірювання електричних параметрів матеріалу.

В інших електрометричних методах вихідною величиною датчика є та чи інша фізична (неелектрична) величина, що у вимірювальному перетворювачі вологоміра перетворюється в електричну величину.

Зміна вологовмісту робить дуже різкий вплив на всі електричні властивості капілярно-пористих матеріалів. Якщо в сухому стані більшість цих матеріалів відноситься до діелектриків, то у зволоженому стані вони стають провідними. Зміна вологості приводить до зміни процесів, що відбуваються в цих матеріалах під дією електричного поля, у першу чергу, поляризації, і, як наслідок, до зміни діелектричних утрат. У зв'язку з цим для виміру вологості можна використовувати кожен з величин, що характеризують електричні властивості матеріалу. У діелектриків, застосовуваних як електротехнічні матеріали, основними характеристиками електричних властивостей є: питомий об'ємний опір, питомий поверхневий опір, діелектрична проникність, тангенс кута діелектричних утрат і пробивна напруженість. У вимірах вологості використовуються всі перераховані вище, а також деякі інші електричні величини.

Основне практичне значення мають дві групи електричних вологомірів.

У приладах першої групи оцінка вологості матеріалу виробляється за



результатами виміру електричної провідності чи опори. У цьому випадку вимір проводиться на постійному струмі чи на струмі промислової частоти. Надалі прилади цієї групи будуть називатися кондуктометричними і вологомірами.

У приладах другої групи оцінка вологості матеріалу виробляється за результатами виміру діелектричної проникності чи тангенса кута діелектричних утрат. Тут виміри проводяться в ланцюзі перемінного струму в широкому діапазоні частот - від звукових до надвисоких.

Крім того, можливі методи виміру вологості, засновані на використанні інших електричних властивостей деяких тіл, наприклад, на виникненні гальванічної пари при уведенні відповідної пари електродів у контрольоване середовище з е.р.с., що залежить від вологості; на залежності електростатичного заряду від вологості матеріалу і т.д. Ці методи через їхнє мале поширення доцільно об'єднати в одну групу «інших електричних методів».

Нарешті, електричні вологоміри можуть бути застосовані для виміру електричних властивостей не самого досліджуваного твердого матеріалу, а допоміжної рідини, призначеної для екстрагування вологи чи зрівноважування електричних параметрів матеріалу. На цих принципах засновані електричні екстракційний і імерсійний методи.

До найважливіших фізичних (неелектричних) можна віднести методи, засновані на використанні:

- а) радіоактивні випромінювання-методи ослаблення бета- і гамма-випромінювань і нейтронний;
- б) ядерного магнітного резонансу;
- в) теплофізичних характеристик матеріалу;
- г) оптичних (фотометричних) характеристик;
- д) відображення і поглинання інфрачервоного випромінювання;
- е) гігротермічного і гідротермічної рівноваги матеріалу з навколишнім газоподібним чи твердим середовищем.

Окрему групу складають комбіновані методи, засновані на сполученні двох чи декількох із перерахованих методів.

Ці методи є найбільш швидкодіючими з усіх існуючих методів визначення вологості. Визначення вологості методом висушування триває від багатьох годин (висушування до постійної ваги) приблизно до 1 г. (прискорені методи висушування) чи в кращому випадку до декількох хвилин (сушіння інфрачервоними чи променями струмами високої частоти). У той же час тривалість визначення вологості електричним неавтоматичним вологоміром дорівнює від однієї до декількох хвилин, а при застосуванні деяких типів автоматичних електровологомірів, призначених для установки на потоці матеріалу, вимір можна вважати практично безінерційним.

Електрометричні методи дозволяють автоматизувати процес виміру вологості і створити системи автоматичного керування по вологості багатьма

процесами. Більшість вологомірів дозволяє проводити вимір без руйнування зразка.

Для швидкого, а також безперервного вимірювання вологості матеріалу у технологічній практиці використовують непрямі методи, що базуються на вимірюванні якого-небудь фізичного параметру, залежність якого від вологості відома. Найбільшого поширення набув електричний метод – метод вимірювання електропровідності. Залежність опору  $R$  матеріалу від вологості  $W$  у процентах до ваги сухого матеріалу виражається по формулі:

$$R = A \cdot W^{-n}, \quad (1.1)$$

де  $A$  і  $n$  – постійні залежні від розмірів, форм, структури і фізикохімічних властивостей об'єкта вимірювання.

Графік функції (1.1) є крива, що асимптотично наближається до вісі  $W$  (рис.1.1). Метод електропровідності має значну чутливість. Наприклад, при вимірюванні вологості деревини від 10% до 25% значення опору між вузлами, вдавленими в деревину на визначену глибину, змінюється від десятка тисяч до долей мега Ом.

Основна перевага метода електропровідності – простота схем і конструкції вологометрів. Але залежність показників приладу від вимірювання концентрації домішок (кислот, солей, лугів), структури, вологості, температури і ін. параметрів контролюємих матеріалів значно звужує область примінення цього метода.

### 1.3 Конструкція і принцип дії волого метра ЕВ-2к

Електронний вологометр ЕВ-2к використовує непрямий метод вимірювання, залежність електричного опору, і призначений для вимірювання абсолютної вологості пиломатеріалів, заготовок деталей та виробів з хімічно необробленої деревини: сосни, ялини, берези, дуба, бука. Прилад являє собою переносний двухдіапазонний вимірювач опору зі спеціальним давачем, який занурюють у деревину.

На першому діапазоні вимірювань прилад виконаний по схемі лампового омметра (рис. 1.2). Опір деревини  $R_x$ , резистори  $R_1$  і  $R_2$  утворюють подільник, напруга, на виході якого вимірюється ламповим вольтметром, виконаним по мостовій схемі на лампі ЕМ-8. До виходу підсилювача підключений мікроамперметр  $\mu A$

На наступному діапазоні прилад виконаний по схемі послідовного магнітоелектричного омметра, що живиться із подільника напруги, який складається із резисторів,  $R_7$  і  $R_6$  (рис. 1.3).

Блок живлення складається із понижуючого трансформатора, двох випрямлячів з фільтрами і стабілізатора анодної напруги виконаного на діодах Д814.

Принципова електрична схема прилада показана на рис. 1.4.

Значення вологості для показів прилада на вказаних в таблиці 1.1 обчислюються за формулою:

$$W2 = N2 \cdot W1/N1, \quad (1.2)$$

де  $N2$  – покази прилада,  $N1$  – приближене до  $N2$  табличне значення прилада,  $W2$  – вологість деревини даної породи, що вимірюється приладом.  $W1$  – приближене до  $N2$  табличне значення.

Якщо температура деревини відрізняється від  $+20$  °С до отриманого значення вологості  $W2$  вноситься по формулі:

$$W3 = W2 - a(t - 20), \quad (1.3)$$

де  $W2$  – вологість деревини даної породи, виміряна приладом  $t$  – температура деревини при вимірюванні,  $a$  – температурна поправка на  $1$ °С (таблиця 1.2).

Слід проводити три вимірювання, занурюючи голки у сусідні слої деревини (лінія, що з'єднує голки, повинна розташовуватися вздовж волокон) на відстані  $3 - 5$  мм по ширині матеріалу. Значення вологості у цій зоні визначається як середнє арифметичне із трьох показів.

#### **1.4 Хід роботи**

1. Увімкнути прилад у розетку напругою 220 В змінного струму.
2. Прогріти прилад на протязі 15 хв.
3. Вибрати необхідний діапазон вимірювання приладу і установити перемикач діапазона “В” у потрібне положення.
4. Встановити стрілку показаного приладу на відмітку “КШ” шкали приладу, повертаючи ручку резистора “установка” “КШ”.
5. Нажати кнопку “КШ” і встановити стрілку приладу на відмітку “КШ” шкали приладу, повертаючи ручку резистору “установка” “КШ”.
6. Занурити голки давача у здорові волокна деревини.
7. Після заспокоєння стрілки приладу, але не більш ніж через 10 секунд після занурення голок провести відлік з точністю до 0,2% при показах приладу більше 30%.
8. Перевести покази прилада у вологість деревини даної породи з розрахунком температурної поправки.

Таблиця 1.1 - Перевідна таблиця показів вологоміра

Покази приладу №1	Вологість деревини W1			
	Сосна	Ялина	Береза	Бук і дуб
7	7	7.7	7.6	5.7
8	8	8.8	7.6	6.7
9	9	10.0	8.6	7.6
10	10	11.7	9.6	8.5
11	11	12.3	10.6	10.2
12	12	13.4	11.6	12.0
14	14	15.7	13.5	13.9
16	16	18.0	15.4	15.7
18	18	20.2	17.4	17.5
20	20	22.5	19.4	19.3
22	22	24.7	21.3	21.0
24	24	27.0	23.2	22.9
26	26	29.3	15.2	24.7
28	28	31.5	27.1	27.0
30	30	34.5	29.2	31.0
35	35	39.5	33.0	31.0
40	40	45.2	39.0	36.0
50	50	56.0	49.0	45.0
60	60	69.2	59.0	55.0

Таблиця 1.2

Вимірювання, вологість	Температурна поправка на 10°C береза, бук, дуб	Сосна, ялина
7	0.07	0.09
8	0.08	0.10
9	0.08	0.10
10	0.09	0.10
11	0.10	0.11
12	0.10	0.12
14	0.10	0.12
16	0.10	0.12
18	0.10	0.13
20	0.11	0.14
22	0.11	0.15
24	0.13	0.17

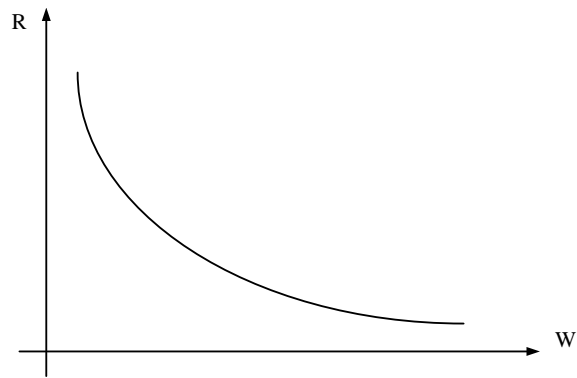


Рисунок 1.1 – Залежність опору датчика від вологості матеріалу (деревини)

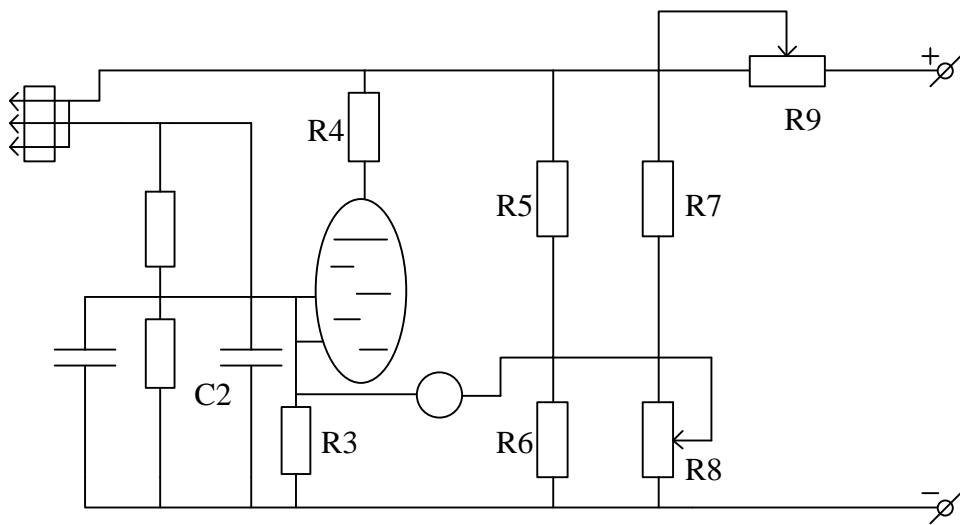


Рисунок 1.2 – Перший діапазон вологоміра ЕВ – 2к по схемі лампового омметра

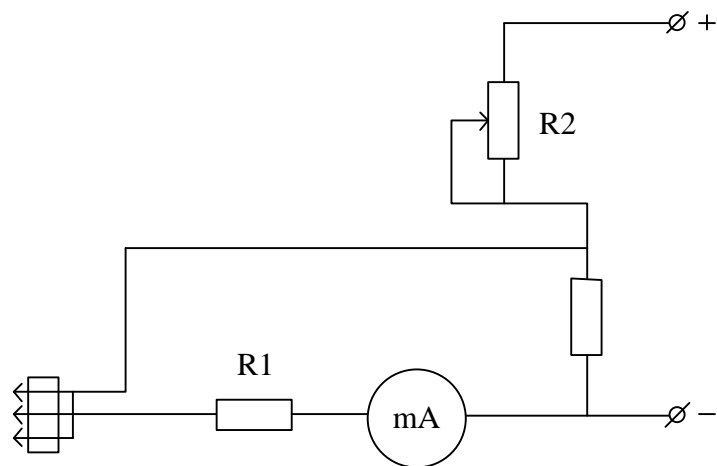


Рисунок 1.3 – Другий діапазон вологоміра ЕВ – 2к по схемі послідовного магнітоелектричного омметра

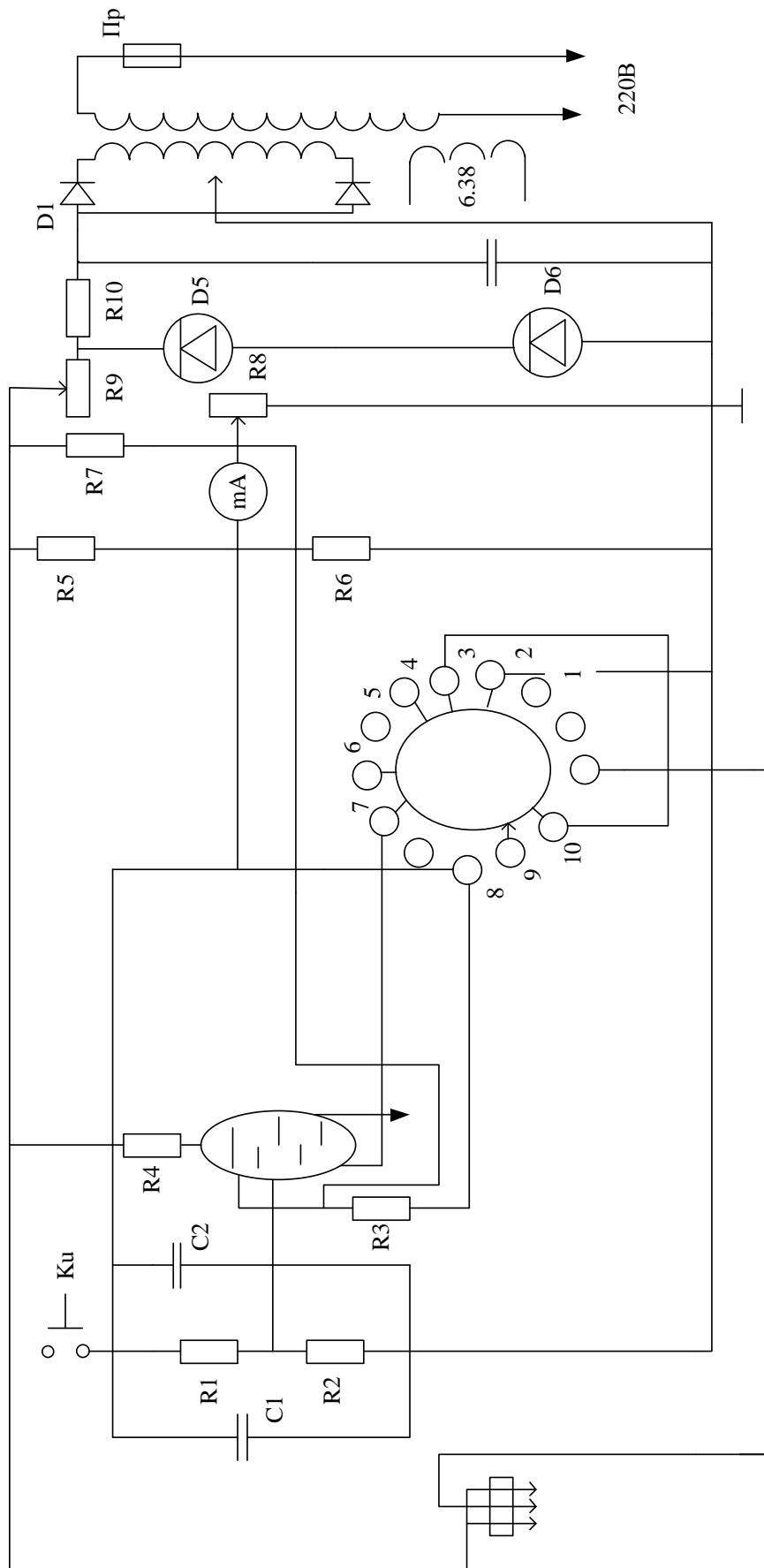


Рисунок 1.4 – Електрична принципова схема вологоміра EB-2к

### **1.5 Контрольні запитання**

1. Який метод вимірювання вологості використовується у приладі ЕВ-2к?

Запишіть аналітичну залежність.

2. Покажіть графік залежності опору давача від вологості матеріалу.

3. Розкажіть принцип дії вологоміра ЕВ-2к.

4. Розкажіть методику вимірювання вологості деревини.

5. Як враховується температурна похибка?

6. Які переваги і недоліки використовуємого у приладі ЕВ-2к методу вимірювання вологості деревини?

## Лабораторна робота № 7

### 1 ПОВІРКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ЗУСИЛЛЯ

**Мета роботи:** вивчити принцип дії та конструктивні особливості тензорезистивного сенсора зусилля, отримати практичні навички по визначенню його метрологічних характеристик.

#### Теоретичні відомості

Вимірювальний канал зусилля (ВКЗ) представляє собою сукупність вимірювальних пристроїв і засіб вимірювань (рис.1.1).

До вимірювальних пристроїв в даній схемі належать: первинний вимірювальний перетворювач зусилля (сенсор зусилля СЗ) і масштабний перетворювач (вимірювальний підсилювач ПВ). Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) послідовного наближення є вторинним засобом вимірювань.

Представлений вимірювальний канал є основою побудови апаратних засобів вимірювань зусилля, моменту (пускового, динамічного, електромагнітного, інерції), деформацій, тиску, витрат. Тип сенсора зусилля (тензорезистивний, ємнісний, індуктивний і т.ін.) визначає підходи до аналізу метрологічних характеристик таких засобів вимірювань.

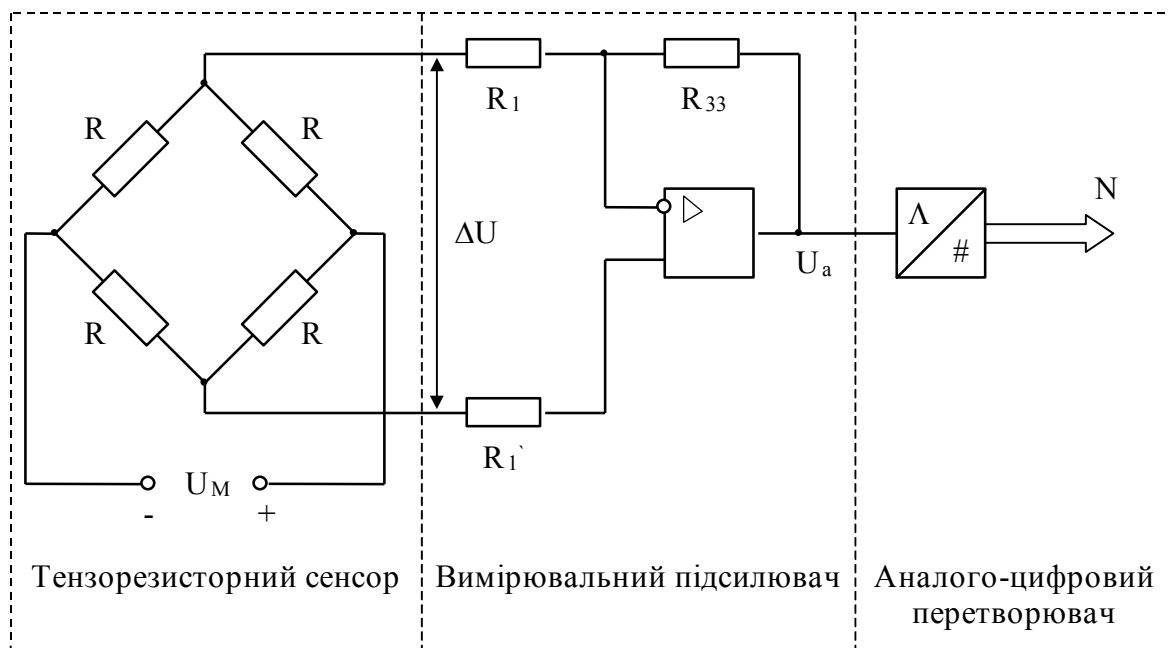


Рисунок 1.1 – Структурна схема вимірювального каналу зусилля

В основу принципу дії тензорезистивного сенсора (ТС) покладено тензоефект у напівпровідниках. Чутливим елементом ТС є сапфірова мембрана з кремнієвими тензорезисторами  $R$ .



Під дією інформативного параметра (зусилля  $Q$ ) мембрана деформується, що в свою чергу викликає зміну опору  $\Delta R$  мостової схеми тензорезисторів (рис.1.2)

$$\Delta R = \frac{Q}{S_{\square}}, \quad (1.1)$$

де  $S_T$  - чутливість тензорезистивного перетворювача [Г/Ом].

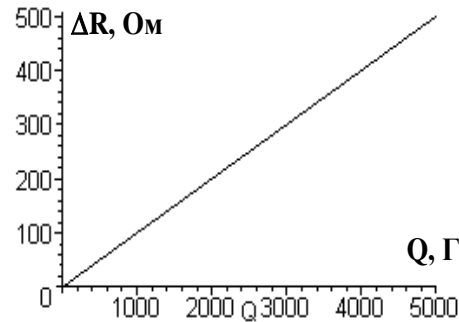


Рисунок 1.2 – Залежність зміни опору від прикладеного зусилля

Зміна опору приводить до зміни вихідної напруги  $\Delta U$  тензомоста. Якщо опори всіх чотирьох плечей моста однакові, то

$$U_1 = U_2 = \frac{U_M}{2}, \quad (1.2)$$

де  $U_M = I_M \cdot R$  - напруга, якою живиться мостова схема ТС;

$I_M$  - струм джерела живлення [ $I = 2 \text{ мА}$ ];

$R$  - опір мостової схеми тензорезисторів [ $R = 3.25 \pm 0.25$ ] кОм.

Коли вхідна величина  $Q$  викликає зміну опору  $\Delta R$  тензорезистивного сенсора, напруга  $U_1 \neq U_2$ . Тому вихідна напруга тензомоста складає

$$\Delta U = U_1 - U_2 = U_{\square} \cdot \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R} \quad (1.3)$$

або для малих опорів

$$\Delta U = U_{\square} \cdot \frac{\Delta R}{4R} = \frac{1}{4} \cdot \frac{I_{\square} \cdot Q}{S_{\square}}.$$

Для підсилення малих різниць напруги на фоні синфазної завади, яка може бути більшою за величину  $\Delta U$ , застосовують вимірювальний підсилювач.

Вимірювальний підсилювач повинен задовільнити таким вимогам:

- диференціальний вхід для зменшення дії синфазної завади;
- великий коефіцієнт підсилення;
- малий рівень нульового сигналу;
- великий (як правило, більше 80 дБ) коефіцієнт послаблення синфазної завади.

В даному випадку диференціальний вхідний сигнал є вихідна напруга  $\Delta U$ , що змінюється на виході ТС. Підсилений ПВ (рис. 1.3) диференціальний вхідний сигнал

$$U_{\epsilon} = k \cdot \Delta U = \frac{1}{4} \cdot \frac{k \cdot I_{\ast} \cdot Q}{S_{\square}}, \quad (1.4)$$

поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача послідовного наближення, де перетворюється в двійковий код

$$N = \frac{k \cdot \Delta U \cdot 2^n}{U_0}, \quad (1.5)$$

де  $k$  - коефіцієнт підсилення вимірювального підсилювача;

$n$  - розрядність регістра послідовного наближення АЦП;

$U_0$  - опорна напруга аналого-цифрового перетворювача.

Тоді остаточне рівняння перетворення вимірювального каналу зусилля матиме вигляд

$$N = \frac{1}{4} \cdot \frac{k \cdot I_{\ast} \cdot 2^n}{S_{\square} \cdot U_0} \cdot Q, \quad (1.6)$$

а його теоретична статична характеристика представлена на рис. 1.4.

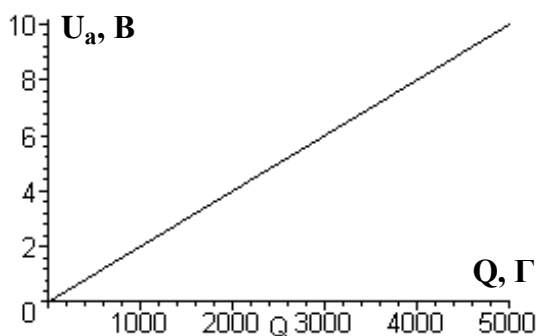


Рисунок 1.3 – Зміна напруги на вході аналого-цифрового перетворювача

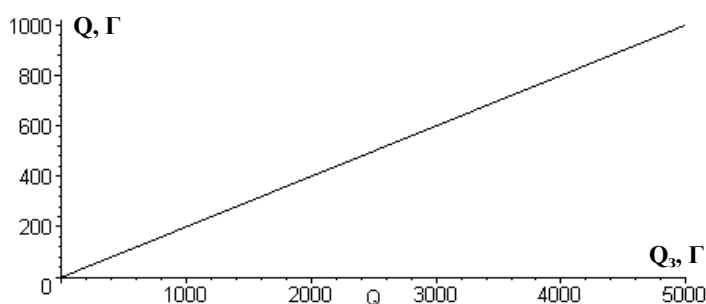


Рисунок 1.4 – Теоретична статична характеристика вимірювального каналу зусилля

## 1.2 Хід роботи

Експериментальне визначення статичних метрологічних характеристик.

1. Діапазон зміни зразкової величини (табл. 1.1) вибрати у відповідності з варіантом, який вказує викладач.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань

№ вар.	01	02	03	04	05	06	07	08
	Q, г	Q, г	Q, г	Q, г	Q, г	Q, г	Q, г	Q, г
1	0	50	100	150	200	250	300	350
2	5	55	105	155	205	255	305	355
3	10	60	110	160	210	260	310	360
4	15	65	115	165	215	265	315	365
5	20	70	120	170	220	270	320	370
6	25	75	125	175	225	275	325	375
7	30	80	130	180	230	280	330	380
8	35	85	135	185	235	285	335	385
9	40	90	140	190	240	290	340	390
10	45	95	145	195	245	295	345	395
№ вар.	09	10	11	12	13	14	15	16
	Q, г	Q, г	Q, г	Q, г	Q, г	Q, г	Q, г	Q, г
1	400	450	500	550	600	650	700	750
2	405	455	505	555	605	655	705	755
3	410	460	510	560	610	660	710	760
4	415	465	515	565	615	665	715	765
5	420	470	520	570	620	670	720	770
6	425	475	525	575	625	675	725	775
7	430	480	530	580	630	680	730	780
8	435	485	535	585	635	685	735	785
9	440	490	540	590	640	690	740	790
10	445	495	545	595	645	695	745	795

2. Провести вимірювання зусилля  $Q_B$  на лабораторному стенді «Дослідження первинних вимірювальних перетворювачів» шляхом дії на тензорезистивний сенсор зусилля зразкової ваги  $Q_3$ , і результати занести в табл. 1.3.

Таблиця 1.2 – Результати метрологічної повірки сенсора зусилля

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q_3$ , Г										
$Q_B$ , Г										

3. Провести вимірювання рівня нульового сигналу і його значення записати у вигляді (наприклад,  $Q_0 = 15$  г.).

4. Ввести поправку на величину нульового рівня і виправлені результати  $Q_{\text{ВВ}}$  занести в табл. 1.4.

Таблиця 1.3 – Виправлені результати вимірювань

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q_{\text{з}}, \Gamma$										
$Q_{\text{ВВ}}, \Gamma$										

5. Побудуйте графік експериментальної статичної характеристики.

6. Отримання теоретичної статичної характеристики

Отримати теоретичну градувальну характеристику в середовищі програмного забезпечення «NUMERI». Для цього необхідно виконати такі дії:

- запустіть програму NUMERI (**numeri.exe**).
- увійдіть в меню «Інтерполяція» (**Клавіша «3»**).
- увійдіть в меню «Дані» (**Клавіша «1»**).
- увійдіть в меню «Створення даних» (**Клавіша «1»**).
- увійдіть в меню «Введення даних з клавіатури» (**Клавіша «3»**):
- задайте кількість пар даних **10**;
- задайте крок по **X=5**;
- задайте початкове значення X, що відповідає Вашому варіанту.

Наприклад, **100**.

- нажміть клавішу «**F10**»;
- введіть результати вимірювань зусилля  $Q_{\text{ВВ}}$  (таблиця 1.4);
- нажміть клавішу «**F10**»;
- нажміть клавішу «**1**» і побудуйте з екрану монітора теоретичну статичну характеристику;
- клавішею «**Esc**» верніться в попереднє меню. Виведіть на екран монітора (**Клавіша «2»**) таблицю теоретичних даних  $Q_{\text{ТД}}$ . Занесіть отримані результати в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Результати теоретичних даних

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q_{\text{з}}, \Gamma$										
$Q_{\text{ТД}}, \Gamma$										

7. Інтерполяція теоретичних даних

Клавішею «**Esc**» верніться в меню «Поліном»:

- нажміть клавішу «**1**»;
- задайте степінь полінома рівну **1**;
- нажміть клавішу «**F10**»;
- представте теоретичну функцію перетворення вимірювального каналу зусилля у вигляді

Наприклад,  
 $y = -4.89 + 1.04 \cdot x$ .

- клавішею «Esc» верніться в меню «Створення даних».

8. Визначення класу точності

- визначіть зведену похибку для кожної опорної точки вимірювання

$$\gamma = \frac{Q_{\%} - Q_k}{Q} \cdot 100\%$$

де  $Q_H$  - верхня межа вимірювання.

- побудуйте залежність  $\gamma = f(Q_3)$  і визначіть максимальне значення зведеної похибки.

- встановіть клас точності вимірювального каналу зусилля з такого ряду

**[1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0] • 10<sup>n</sup>,**

де може набирати значення  $n = 1; 0; -1; -2; \dots$ .

9. Зробіть висновки по роботі.

### Контрольні запитання

1. Суть повірки засобів вимірювальної техніки. Які операції здійснюють при повірці?
2. Суть повірки методом зразкових приладів.
3. Суть повірки методом зразкових мір.
4. Суть повірки методом зіставлення.
5. Суть повірки методом зразкових сигналів.
6. Що таке еталон, державний еталон, зразковий засіб вимірювальної техніки?
7. Наведіть структурну схему вимірювального каналу зусилля.
8. Поясніть принцип дії тензорезистивного вимірювального перетворювача.
9. Наведіть методику отримання експериментальної статичної характеристики вимірювального каналу зусилля.
10. В чому суть метода поправок для вилучення систематичної складової похибки?
11. Наведіть методику експериментального визначення зведеної похибки вимірювального каналу зусилля.
12. Які ви знаєте шляхи визначення нормуючого значення для оцінки зведеної похибки ?
13. Яку складову похибки називають адитивною? Наведіть приклади.
14. Яку складову похибки називають мультиплікативною? Наведіть приклади.
15. Як експериментально визначають клас точності?

## Лабораторна робота № 8

### 1 ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ДІЛЕКТРОМЕТРИЧНИМ ВОЛОГОМІРОМ

**Мета роботи** – вивчення основних різновидів діелектрометричного методу вимірювання вологості та визначення вологості зерна пшениці радіочастотним вологоміром.

#### Теоретичні відомості

##### 1.1 Вологість матеріалів. Основні поняття і визначення.

Вологість визначає якісний стан продукції сільського господарства, переробної галузі, в легкій промисловості, а також характеризує умови протікання технологічних процесів в багатьох інших галузях народного господарства. В зв'язку з цим контролювати необхідно вміст вологи в повітрі або іншому середовищі і вологість самої продукції.

Вологість матеріалів характеризується абсолютним вмістом вологи в одиниці маси і відносною вологістю, що представляє відношення кількості вологості до маси речовини.

**Вологість зразка  $W$**  визначається як відношення маси вологи до загальної маси вологого матеріала і вимірюється у відсотках %:

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100\% = \frac{M_B}{M_1} \cdot 100\% ,$$

де  $M_1$  і  $M_2$  – маса матеріалу, що досліджується, до і після висушування;

$M_B$  – маса вологи.

**Вміст вологи  $U$**  визначають як процентне відношення маси вологи до маси абсолютно сухого матеріалу:

$$U = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \cdot 100 = \frac{M_B}{M_2} \cdot 100 .$$

Взаємозв'язок між вологістю і вмістом вологи визначається за формулою:

$$W = \frac{U}{1 + U} ; \quad U = \frac{W}{1 - W} .$$

##### 1.2 Методи визначення вологості

Розрізняють прямі і непрямі методи визначення вологості. До перших,

коли кількість вологи і сухої речовини визначається безпосередньо, відносять методи висушування, дистиляційні, екстракційні і хімічні.

**Непрямі методи** засновані на вимірюванні якого-небудь параметру матеріала, що функціонально пов'язаний з вологістю.

**Дистиляційні методи.** Зразок, що досліджується, нагрівається в ємності з певною кількістю рідини, яка не змішується з водою. Пара води конденсується в вимірювальній ємності, де і визначається об'єм і вага води. Основними недоліками є застосування більш громіздкої і менш зручної апаратури в порівнянні з методами висушування, вплив інтенсивності нагрівання на результуючу похибку.

**Екстракційні методи** базуються на тому, що волога з матеріалу видаляється за допомогою вологопоглинаючої рідини (спирт, ацетон, метанол і ін.). Вимірюючи визначені характеристики отриманого екстракта (наприклад, густину, температуру замерзання, електричні характеристики), досліджують вологість матеріалу.

**Хімічні методи.** Частіше всього для вимірювання вологості зерна використовують газометричний метод, із застосуванням гідрида і карбіда кальція. Прямі методи вимірювання вологості застосовують для лабораторних аналізів, створення еталонних і зразкових засобів вимірювання вологості. В той же час низька продуктивність і руйнування зразка роблять їх незручними для створення зразкових засобів, що використовуються для перевірки робочих вологомірів зерна. Жоден з цих методів практично не дозволяє створити на його основі вологоміри польового і поточного (для безперервного вимірювання) типів.

**Кондуктометричний метод** базується на залежності опору досліджуваного матеріалу від вологості. Сухий зневоднений матеріал має високий питомий опір ( $10^5$  Ом\*см і вище). В результаті зволоження він зменшується в 10 – 15 разів. Істотно впливають на значення вимірюваного опору: хімічний та гранулометричний склад матеріалу.

**Діелектрометричний метод** вимірювання вологості визначається високою точністю, швидкодією, простотою реалізації. В основі роботи діелектрометричних вологомірів є різниця між діелектричною проникністю і тангенсом кута діелектричних втрат зневодненого матеріалу і води. Більшість серійних вологомірів працюють з високою робочою частотою.

**Надвисокочастотні методи (НВЧ – методи)** базуються на взаємодії електромагнітного поля з вологим матеріалом. Принцип дії вологомірів полягає в вимірюванні параметрів електромагнітної хвилі, що проходить або відбивається (попередньо хвиля фокусується в пучок за допомогою спеціальної антени) після взаємодії з матеріалом (згасання електромагнітної енергії в НВЧ діапазоні у зволоженому матеріалі в 2 – 3 рази більше, чим в сухому). На основі цього принципу реалізують такі схеми вимірювання вологості: по поглинанню енергії НВЧ – поля, фазовому зсуву НВЧ – коливання і параметрам відбитої від матеріала хвилі.

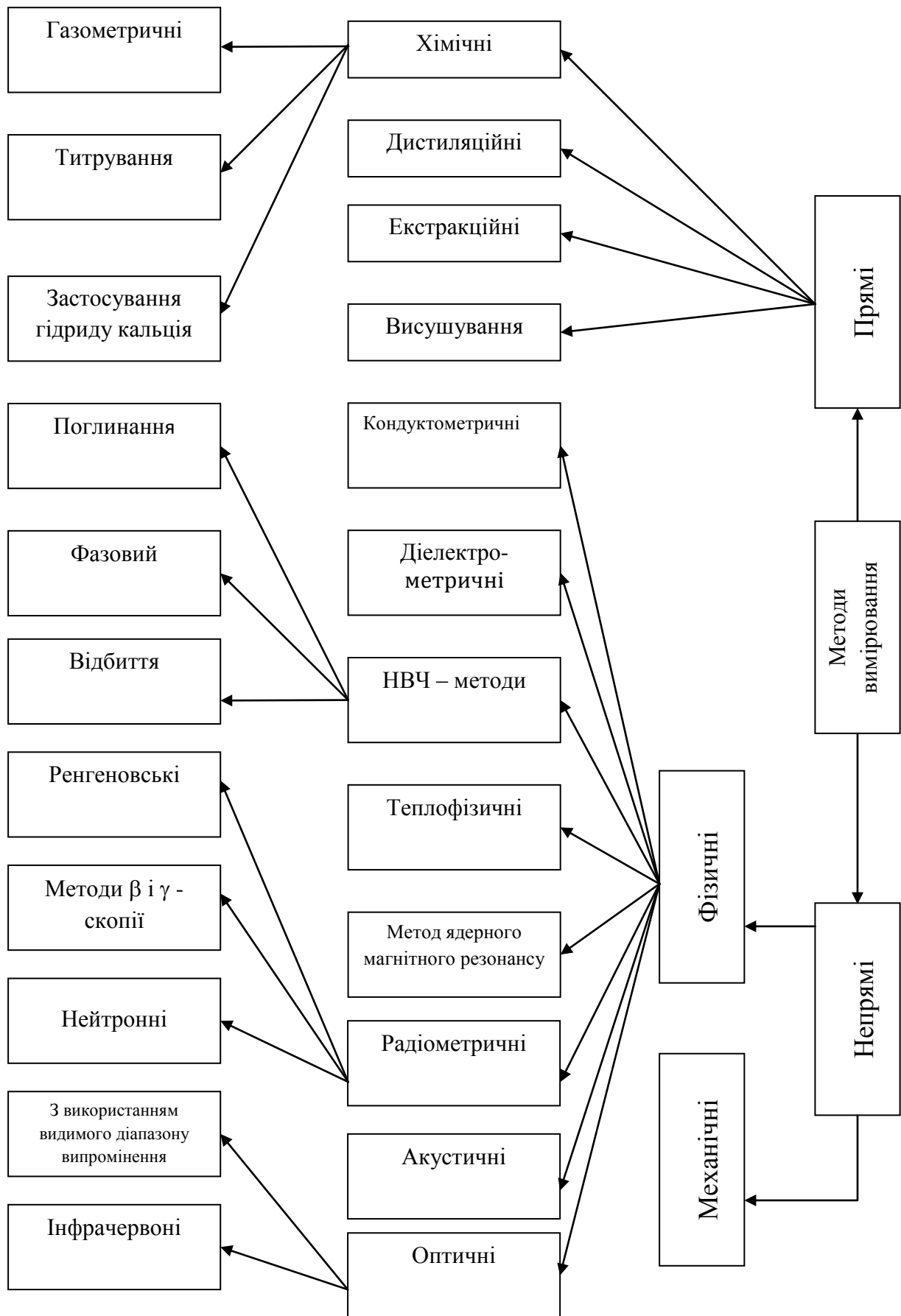


Рисунок 1.1 – Класифікація методів вимірювання вологості



Найбільше розповсюдження отримав метод поглинання, що враховує ослаблення енергії хвилі, яка проходить через досліджуваний матеріал.

Фазові методи дослідження вологості базуються на залежності зсуву фаз електромагнітних НВЧ – коливань від вологості матеріалу. В порівнянні з методами поглинання вплив температури матеріалу на параметр перетворення набагато менший. Однак широке впровадження фазових методів в НВЧ стримується в основному через відсутність достатньо простих і точних фазообертачів.

Переваги НВЧ – методів: безконтактність вимірювання (чутливий елемент – перетворювач може не мати гальванічного зв'язку з об'єктом вимірювання); висока чутливість вимірювальної апаратури, незначний вплив на результати вимірювання хімічного складу матеріалу.

**Радіометричні методи** вимірювання вологості базуються на взаємодії  $\beta$ -,  $\gamma$ - і нейтронного випромінювання з вологим матеріалом. Вони не потребують контакту датчика з матеріалом.

Дуже перспективним є нейтронний метод, коли вологість визначається по уповільненню швидких нейтронів, яке оцінюють, в свою чергу, по концентрації повільних нейтронів на деякій відстані від джерела. Цю концентрацію вимірюють детекторами повільних нейтронів, а відстань між центрами детектора і джерелом швидких нейтронів називають довжиною зонда вологоміра.

Для реєстрації повільних нейтронів використовують фольгу з індія, радія, срібла або кадмія; борні лічильники або сцинтиляційні детектори.

Найбільш широке розповсюдження при конструюванні нейтронних вологомірів отримали борні лічильники. Вони мають можливість здійснювати пряму реєстрацію теплових нейтронів, оскільки імпульси, що викликані реєстрацією нейтронів і гама-квантів, значно відрізняються по амплітуді і, відповідно, можуть бути легко розділені. Ефективність цих лічильників досягає 10 – 15%, що на 2 порядки вище лічильників Гейгера, що працюють в детекторах з кадмієвою фольгою.

Принцип дії цього приладу заснований на здатності атомів водню уповільнювати рух швидких нейтронів, переводячи їх у ранг повільних. В складі приладу - електронний цифровий вимірювальний блок з індикатором на рідких кристалах і датчик, суміщений в одному корпусі з джерелом швидких нейтронів. Для повторних вимірювань в одній і тій же точці поля необхідно пробурити свердловину на глибину 1-1,5 м і вставити в неї стаціонарну обсадну металеву, або пластмасову трубу, щоб закріпити стінки і попередити осипання ґрунту. Внутрішній діаметр труби повинен бути таким, щоб дозволяв легко рухатись датчику ВВП-1 при неодноразовому переміщенні його на різні рівні за глибиною.

Технічні дані ВВП-1 такі: діапазон вимірювання вологості становить 0,05 - 0,5 г/куб. см (або 5 - 50 %), похибка вимірювання - 0,025 г / куб. см (або 2,5 %). Загальна вага комплексу без обсадних труб 5 кг.

Задум засновників цього методу був такий: вода складається з двох атомів водню і одного атому кисню; якщо занурити датчик приладу в ґрунт і потім виміряти енергію нейтронів, уповільнених атомами водню, то на базі цих даних можна дуже точно визначити вміст води в ґрунті. Спочатку при впровадженні цього методу навіть вважалось, що це ідеальний метод, розрахований якраз на такі об'єкти, як ґрунт. Однак, як пізніше з'ясувалось, при цьому не було враховано багато супутніх факторів, які вносять суттєві помилки при визначенні вологості ґрунту цим методом.



Рисунок 1.2 – Нейтронний вологомір ВНП-1

Перш за все, атоми водню входять не тільки до складу води, але й до складу органічної частини ґрунту (гумусу, перегнилих і не перегнилих решток рослин, органічних добрив та мікрофлори). Органічна фракція ґрунту, за літературними даними, може досягати 20 відсотків від всієї маси ґрунту. Таким чином при абсолютній вологості ґрунту в 20 %, максимальна похибка може сягати 100 % тільки за рахунок неврахування органіки і мікрофлори.

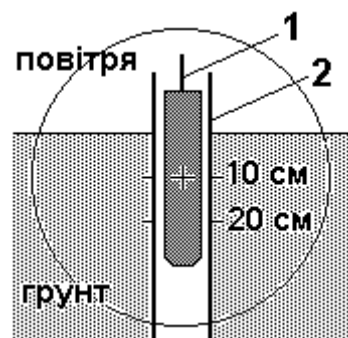


Рисунок 1.3 – Датчик ВНП-1 на глибині 10 см.: 1-датчик-зонд приладу ВНП-1, 2- обсадна труба

По-друге, сфера дії нейтронного методу має радіус 30 см. Це означає, що ним можна виміряти концентрацію повільних нейтронів у сфері

діаметром 60 см (тобто в шарі ґрунту висотою 60 см), а це в свою чергу означає що у верхніх шарах ґрунту 0-10 і 0-20 см цим методом визначати вологість просто не можливо. При зануренні датчика на глибину 10 см прилад ВНП-1 завжди показує нуль, навіть при повному насиченні ґрунту водою, а на глибині 20 см дані вологості ґрунту мають в 1,5-2 рази менші значення в порівнянні з глибиною 30 см. Це явище пов'язане з тим, що на глибинах до 20 см сфера дії нейтронного методу включає також не тільки ґрунт, але й повітря, де концентрація атомів водню в одиниці об'єму значно нижча, ніж у ґрунті (див. рис. 2). Тому ВНП-1 рекомендують застосовувати починаючи з глибини не менше 30 см. Це суттєвий недолік даного методу, бо вологість орного шару ґрунту найбільш мінлива, а інформація про неї найбільш необхідна.

По-третє, потреба закладання на полях обсадних труб створює певні незручності для господарників. Такі труби могли б стояти на полях з колосовими культурами і травами в період між останнім обробітком (боронуванням посівів, підкормкою, тощо) і збиранням. Щодо просапних культур, то тут період, коли обсадні труби можуть знаходитись на полі ще короткий. В той же час термостатно-ваговий метод гідрометстанції використовують весь вегетаційний період і навіть частково зимою.

Похибки цього методу, як і будь-якого іншого, пов'язані також з неврахуванням щільності, температури, механічного і хімічного складу ґрунту, інших факторів.

Недоліками є порівняно велика робоча напруга (1-2 кВ) і мала амплітуда імпульса реєстрації нейтронів (близько 0,05 В).

**Метод ядерного магнітного резонансу (ЯМР – метод)** полягає в тому, що при певних умовах в результаті переорієнтації ядерних спінів матеріал вибірно на фіксованій частоті поглинає енергію електромагнітного поля. Частота, при якій це відбувається, залежить від властивостей ядер і напруженості зовнішнього магнітного поля, що діє на речовину. Резонансна частота визначається співвідношенням:

$$f = \frac{\gamma}{2 \cdot \pi} \cdot H,$$

де  $\gamma$  - гіромагнітне відношення (для протонів  $\gamma = 336,166$  м/А·с);  $H$  – напруженість магнітного поля, А/м.

Змінюючи значення магнітного поля, можна зняти спектр ЯМР і визначити, які ядра знаходяться в зразку. Кількість поглинутої енергії пропорційна кількості протонів, що входять до складу молекул води, відповідно, по інтенсивності поглинання енергії можна визначити вологість матеріалів.

Перевагами цього методу є широкий діапазон вимірюваної вологи, висока точність вимірювань, незначний вплив структури матеріалів на результати вимірювання. Однак, технічна реалізація методу потребує

складної і дорогої апаратури, індивідуального градування для кожного матеріалу.

**Акустичні методи** базуються на залежності акустичних властивостей досліджуваного матеріалу від вологості. Акустичні вологоміри працюють як правило в ультразвуковому діапазоні акустичних коливань. На точність вимірів впливають густина матеріалу, його хімічний і гранулометричний склад, температура, тощо. В окремих випадках вибір робочої частоти і розміщення електродів дозволяє усунути вплив такого фактора, як густина матеріалу.

Потрібно відзначити, що радіаційні методи, до яких відносяться нейтронний, рентгенівський та ЯМР–метод категорично заборонені для контролю вологості продукції сільськогосподарського виробництва та продукції харчової промисловості.

**Теплофізичні методи** базуються на залежності теплофізичних характеристик матеріалу (теплоємність, теплопровідність та комплексу їх параметрів) від вологості. На їх основі розроблені термовакуумні і теплоімпульсні вологоміри, а також перетворювачі вологості.

З проведеного огляду можна зробити висновки:

а) прямі методи вимірювання вологості не прийнятні для експресного контролю вологості, оскільки потребують великих витрат часу;

б) радіаційні методи заборонені в харчовій промисловості та для контролю продукції сільського господарства;

в) теплофізичні методи потребують складного і дорогого обладнання, а також, для роботи з ним потрібен висококваліфікований персонал.

### **Інфрачервоні вологоміри**

Відомо, що в молекулі існують два основних види коливань – валентні і деформаційні. Коливання, в умовах яких атоми залишаються на осях валентного зв'язку, а відстані між атомами періодично змінюються, називають валентними. Під деформаційними розуміють коливання, в умовах яких атоми відходять від осі валентних зв'язків. Оскільки енергія деформаційних коливань значно менше енергії валентних коливань, то деформаційні коливання спостерігаються при великих довжинах хвиль. Інтенсивність обертона смугпоглинання менше інтенсивності основних. Розмежування спектрів за характером поглинання збігається з енергетичним поділом інфрачервоної (ІЧ) області випромінювань на ближню область, відповідну області обертонів, і середню, відповідну області основних коливань.

Головною особливістю ІЧ-спектрів є те, що поглинання випромінювання залежить не тільки від молекули в цілому, але й від окремих груп, присутніх у цій молекулі, атомів. Це положення є основоположним для ІК спектрального аналізу речовинного складу і визначення кількості тих чи інших груп атомів, присутніх у досліджуваному матеріалі.

Отримують і досліджують ІЧ-спектри з допомогою спеціальних

приладів – спектрометрів або спектрофотометрів, в яких випромінювання джерела направляється на досліджуваний зразок через монохроматор, що виділяє з інтегрального пучка випромінювань монохроматичні випромінювання тієї чи іншої довжини хвилі.

Випромінювання, що пройшло через контрольовану матеріал, вловлюється приймачем, а сигнал, що формується приймачем, посилюється і обробляється електронним блоком. Зазвичай у видимій та ближній ІЧ-областях джерелами випромінювання служать лампи розжарювання, а приймачами - фоторезистори, наприклад PbS, GaS, InSb і т.п. У середній і далекій ІЧ-областях джерелами випромінювань можуть бути накопичуються керамічні стрижні, а приймачами - термопари, болометри і т.п. Тоді глибина смуги добре корелюють з концентрацією досліджуваного компонента. Прилад звичайно реєструє прозорість, що характеризує відношення потоку, що пройшов через речовину, до потоку, який падає на речовину.

### 1.3 Сучасні методи вимірювання вологості

#### Двочастотний метод

Цей метод передбачає визначення параметрів досліджуваного матеріалу на двох частотах  $f_1$  і  $f_2$ . Досліджуваний матеріал розміщують в ємнісний перетворювач (ЄП), який в свою чергу під'єднується до первинного перетворювача (ПП), що дозволяє неелектричний параметр – вологість перетворити в електричний сигнал (напругу або струм). Одержані значення електричних величин дозволяють визначити вологість досліджуваного матеріалу за виразом

$$W=a+b \left( \frac{U_1}{U_{вх1}} - \frac{U_2}{U_{вх2}} \right), \quad (1.1)$$

де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти, що визначаються шляхом багатofакторного експерименту і для різних матеріалів різні;

$U_{вх1}$  і  $U_{вх2}$  – значення напруги на вході ПП на частотах  $f_1$  і  $f_2$  відповідно;

$U_1$  і  $U_2$  – значення напруги на виході ПП на частотах  $f_1$  і  $f_2$  відповідно.

Вказаний метод реалізується в структурній схемі (рис.1.2) вимірювального перетворювача (ВП).

Генератори  $\Gamma_1$  і  $\Gamma_2$  виробляють гармонічні сигнали  $f_1$  і  $f_2$  однакової амплітуди, які з допомогою комутатора  $K$  по чергово подаються на первинний перетворювач ПП. З виходу ПП через буферний каскад БК знімається вихідна напруга  $U_1$  або  $U_2$  (в залежності від того, який із генераторів живить первинний перетворювач).

Таким чином, мікропроцесорний блок повинен керувати комутатором  $K$  і вимірювати значення  $U_{вх1}$  і  $U_{вх2}$ ,  $U_1$  і  $U_2$  та обчислювати вологість за виразом (1.1).

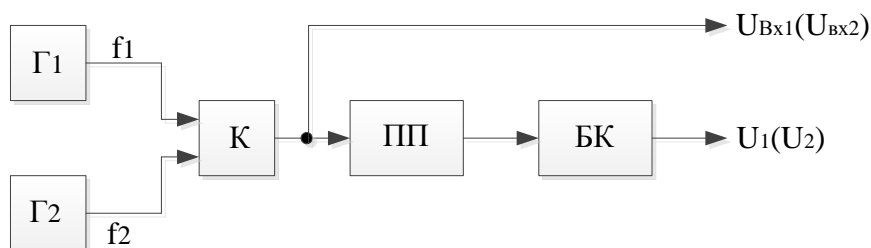


Рисунок 1.4 – Структурна схема вимірювального перетворювача вологості

### Двочастотний метод вимірювання вологості капілярно-шпаристих матеріалів зі значними втратами

Більшість технологічних процесів в різних галузях народного господарства потребують оперативного контролю вологості. Складнощі побудови високочастотних ємнісних вологомірів заключаються в тому, що волога в капілярно-шпаристих матеріалах знаходиться як в вільному, так і в зв'язаному стані. Електричні властивості вільної і зв'язаної вологи різко відрізняються. На практиці більше уваги приділяють вимірюванням вільної вологи, адже саме вона визначає більшість якісних параметрів як готової продукції, так і напівфабрикатів чи сировини.

Вимірювана вологість в загальному вигляді є функцією багатьох змінних

$$W_B = \varphi(A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 \dots), \quad (1.2)$$

де  $A_1$  – вологість досліджуваного матеріалу;

$A_2$  – гранулометричний склад сипучих матеріалів;

$A_3$  – температура;

$A_4$  – хімічний склад;

$A_5$  – коефіцієнт заповнення первинного перетворювача (ПП).

З виразу (1.2) очевидно, що зусилля розробників вологомірів мають бути спрямовані на нейтралізацію заважаючих факторів  $A_2, A_3, A_4, A_5$ .

Високочастотний контроль вологості визначеним методом передбачає дію на контрольований матеріал, що знаходиться в ємнісному ПП, джерелом змінного струму

$$e(t) = E_m \cdot \cos \omega \cdot t.$$

Еквівалентна схема досліджуваного матеріалу в більшості випадків подається в вигляді найпростішого еквівалентного двополюсника з паралельним з'єднанням опору втрат  $R_M$  і ємності  $C_M$  (рис. 1.5, а). Під дією ЕРС джерела в матеріалі виникає змінний струм

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \phi), \quad (1.3)$$

де  $I_m$  – амплітуда струму;

$\phi$  - фазовий зсув між напругою  $U(t)$  і струмом  $i(t)$ .

В матеріалі струм  $i(t)$  умовно розгалужується, утворюючи активну складову  $i_R(t)$  і реактивну складову  $i_C(t)$ . Векторна діаграма струмів в досліджуваному матеріалі показана на рис.3.5,б. Опір втрат  $R_M$  є сумою діелектричних втрат і втрат провідності. Цей параметр залежить від вологості і міг би бути інформативним, якби в значній мірі не залежав від температури. Ємність  $C_K$  - сума ємностей, обумовлених поляризаційними ефектами. Цей параметр має незначну температурну залежність і може бути інформативним, оскільки має залежність від вологості.

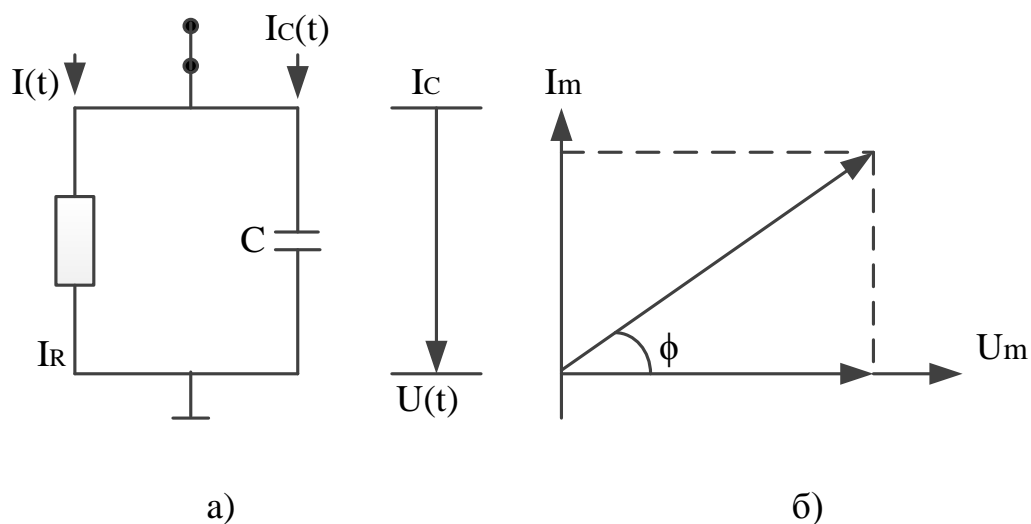


Рисунок 1.5 – Еквівалентна схема та суміщена векторна діаграма ПП з матеріалом

З діаграмами (рис.1.5, б) видно, що

$$I_C = I_m \cdot \sin \phi . \quad (1.4)$$

Схема вимірювального перетворювача (ВП) показана на рис.4,а, і складається з джерела гармонічної ЕРС, зразкової ємності і ємності давача, з'єднаних послідовно

$$C = C_M + C_0 ,$$

де  $C_0$  – ємність незаповненого давача;

$C_M$  – ємність матеріалу.

Ємність  $C_0$  і  $C_M$  з'єднані паралельно.

Знаходимо  $I_m$ :

$$I_m = U_{3m} / X_{C3} = \omega \cdot C_3 \cdot U_{3m} . \quad (1.5)$$

З діаграми перетворювача (рис.1.6, б) знаходимо  $\varphi$

$$\varphi = \pi / 2 - / \phi / . \quad (1.6)$$

Підставляємо (1.5) і (1.6) в (1.4) і одержуємо:

$$I_m = \omega \cdot C_3 \cdot U_{3m} \cdot \sin(\pi/2 - |\phi|) = \omega \cdot C_3 \cdot U_{3m} \cdot \cos|\phi| . \quad (1.7)$$

Частотні графіки струму  $I_C$  для двох різних вологостей капілярно-пористого матеріалу показані на рис. 1.5, а, а на рис. 1.5, б – для однієї вологості і різних пористостей.

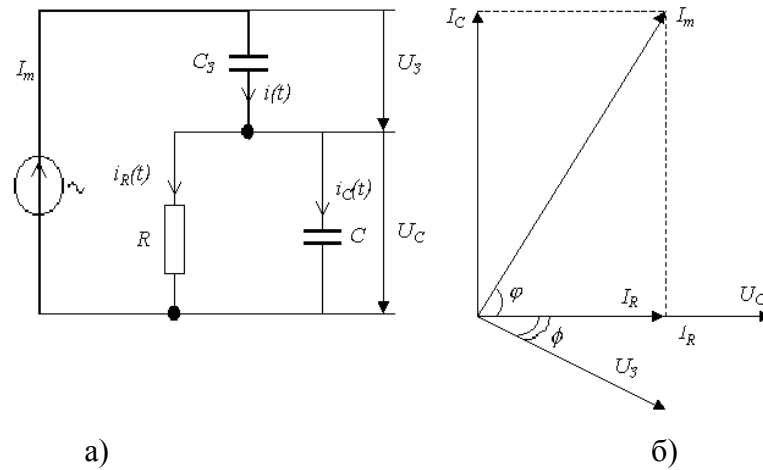


Рисунок 1.6 – Еквівалентна схема та векторна діаграма первинного перетворювача

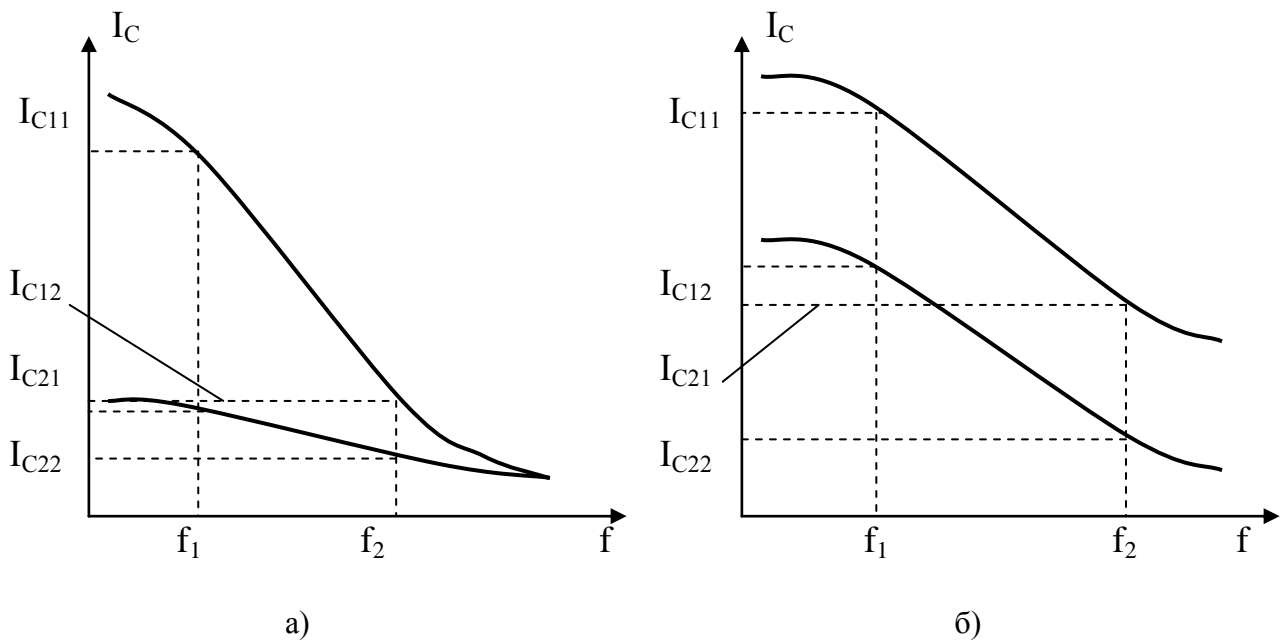


Рисунок 1.7 – Частотні залежності діелектричних характеристик зразка

Аналізуючи ці залежності, приходимо до висновку, що кут нахилу функції  $I_C = \varphi(f)$  в певній смузі частот залежить від вологості і не залежить від пористості, оскільки з рис.1.7, б видно, що

$$I_{C11} - I_{C12} = I_{C21} - I_{C22} .$$



Таким чином, вимірюючи напругу на зразковій ємності, та  $U_C$   $\varphi$  на двох частотах  $f_1$  та  $f_2$ , за виразом (1.4) знаходимо  $I_C$ , та визначаємо кут  $\alpha$ , який однозначно залежить від вологості матеріалу  $A_1$  і не залежить від заважаючих факторів  $A_2, A_3, A_4, A_5$ .

Шляхом багатфакторного експерименту знаходимо формулу:

$$W(\alpha) = 28.6 + 0.235 \cdot (\arctg(m \cdot (I_{C1} - I_{C2}) / (f_1 - f_2))), \quad (1.8)$$

де  $m$  – масштабний коефіцієнт;

$I_{C1}, I_{C2}$  – значення ємнісної складової струму ПП на частоті  $f_1$  і  $f_2$  відповідно, яка є основою побудови вологоміра капілярно-пористих матеріалів зі значними втратами і нестабільним гранулометричним складом (або пористістю).

Таким чином, кут нахилу залежності  $I_C(f)$  є ще одним інформативним параметром при вимірах вологості капілярно-пористих матеріалів з нестабільними діелектричними втратами та пористістю.

#### 1.4 Принцип роботи лабораторного стенду

Зерно пшениці відноситься до сипких капілярно-пористих матеріалів з великим вмістом живого білка. Його вологість, в природніх умовах, може коливатись в межах 10...40%.

Найбільш розповсюджені діелектрометричні вологоміри зерна працюють на принципі F-метра, Y-метра, Q-метра і Z-метра. Чутливим елементом в них є ємнісний давач, форма якого залежить від технологічних вимог (коаксіальний, плоскопаралельний, планарний). Ці вологоміри базуються на принципі зміни частоти автогенератора (АГ), в частотно-задавальному колу якого увімкнений чутливий елемент (ЧЕ). При зміні вологості досліджуваного матеріалу змінюється ємність, а також частота автогенератора (рис.1.8,а).

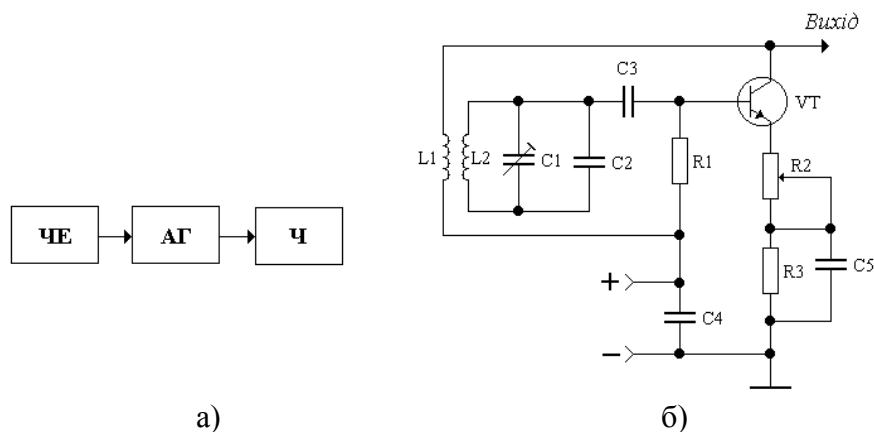


Рисунок 1.8 – Схеми автогенераторів

Електрична схема транзисторного LC-автогенератора, виконаного за схемою з індуктивним зворотнім зв'язком, приведена на рис.1.8,б. коливальний контур задавального генератора, що визначає частоту генерованих коливань, включає котушку індуктивності L2, підстроювальний конденсатор C1 та ЧЕ C2. Зміна ємності чутливого елемента призводить до зміни частоти генерації. Позитивний зворотній зв'язок здійснюється через котушку L1, індуктивно-пов'язану з котушкою L2. Режим роботи транзистора за постійним струмом забезпечується резисторами R1, R2, R3 (R1 – вибір робочої точки, R2, R3 – стабілізація робочої точки). Змінний резистор R2 є також елементом від'ємного зворотнього зв'язку за змінним струмом. Завдяки дії від'ємного зворотнього зв'язку за змінним струмом здійснюється зменшення нелінійних спотворень, а також часткова стабілізація рівня вихідного сигналу. Конденсатором C5 усувається від'ємний зворотний зв'язок за змінним струмом на резисторі R3. Конденсатор C4 усуває паразитний зворотний зв'язок на опорі джерела живлення.

**Вологоміри Y-метри.** Принцип дії цих пристроїв базується на зміні повної провідності ЧЕ, заповненого вологим зерном пшениці. Структурна схема такого вологоміра показана на рис.1.9, а і складається генератора ВЧ (Г), зразкового елемента (ЗЕ), чутливого елемента (ЧЕ) та вольтметра змінного струму (В).

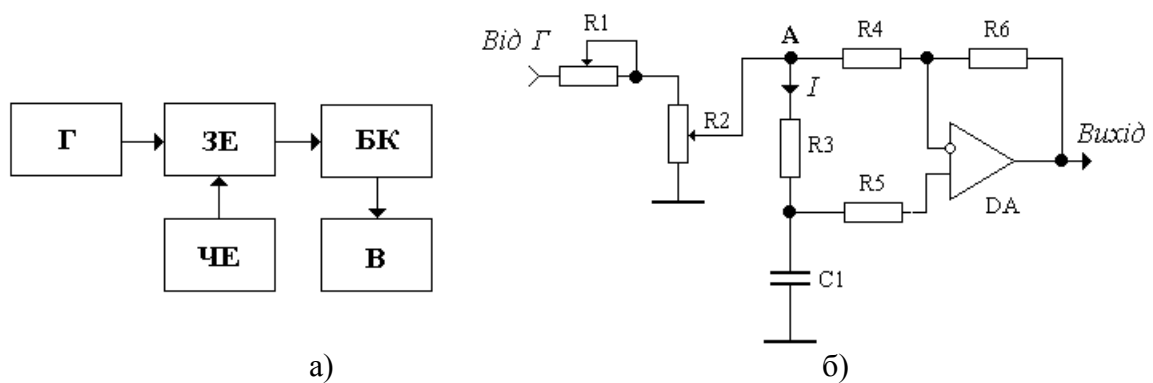


Рисунок 1.9 – Вологомір Y-метр

Гармонічний сигнал ВЧ поступає від Г га подільник, утворений змінними резисторами R1 і R2, призначеними для калібрування вологоміра. R1 включений за схемою змінного опору і дозволяє здійснювати точне калібрування. R2 включений за схемою потенціометра і дозволяє здійснювати грубе калібрування. Суть калібрування полягає в тому, щоб за допомогою резисторів R1 і R2 встановити в точці “А” схеми напругу  $U_K$  перед кожним вимірюванням.

Первинний перетворювач утворений резистором R3, який є зразковим елементом та чутливим елементом C1. Резистор R1 є точним температурно-стабільним елементом з опором 1 Ом. Струм I, який протікає через R3C1 буде прямо-пропорційним значенню провідності Y ЧЕ C1.

Диференційний каскад на базі ОП DA з великим опором та коефіцієнтом  $K_U = 1$  (при  $R_4 = R_6$ ) виконує роль буферного каскаду між первинним перетворювачем і вольтметром змінного струму. При умові  $R_3 = 1 \text{ Ом}$  та  $K_U = 1$  вихідна напруга чисельно дорівнює струму  $I$ .

$$U_{вих} = K_U \cdot I \cdot R_3. \quad (1.9)$$

**Вологоміри Q-метри.** Прилади цього типу відносяться до резонансних вологомірів і будуються за структурною схемою куметра, показаного на рис.1.10.а.

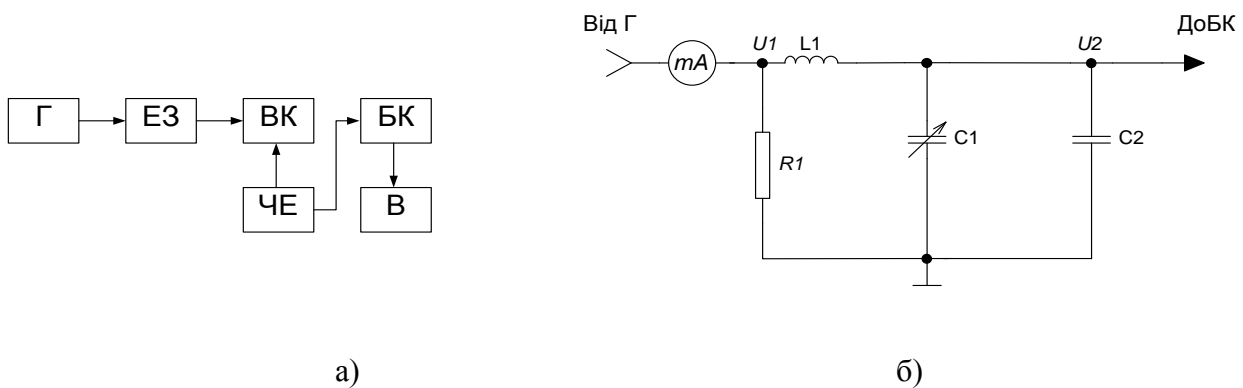


Рисунок 1.10 –

Основними вузлами вологоміра-куметра є генератор ВЧ (Г), елемент зв'язку (ЕЗ), вимірювальний контур (ВК), чутливий елемент (ЧЕ), буферний каскад (БК) та вольтметр змінного струму (В). вимірювальна схема вологоміра показана на рис.3,б. Високочастотний струм, протікаючи по резистору  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ , утворює на ньому напругу  $U_1$ , яка чисельно дорівнює струму і фіксується міліамперметром. Напруга  $U_1$  є входною напругою контура, утвореного елементами  $L_1$ ,  $C_1$  та  $C_2$ . При під'єднаному ЧЕ контур налаштовується в резонанс за допомогою конденсатора  $C_1$ . Його вихідна напруга  $U_2$  вимірюється за допомогою БК і В. Добротність контура буде пропорційна вологості

$$Q = \frac{U_2}{U_1}. \quad (1.10)$$

**Вологоміри Z-метри.** Прилади цього типу є найбільш зручними за простотою реалізації, надійністю та чутливістю і базуються на вимірюванні напруги ЧЕ, яка пропорційна його повному опору  $Z$ . Вологість є величиною, обернено-пропорційною повному опору  $Z$  ЧЕ. Структурна схема вологоміра Z-метра показана на рис.1.11,а.

При зміні вологості змінюється повний опір  $Z$ , що призводить до зміни вихідної напруги подільника, утвореного зразковим резистором  $R_3$  і

ЧЕ  $C1$ , яка вимірюється вольтметром (В). Шкала цього вольтметра може бути відградуєвана в одиницях вологості.

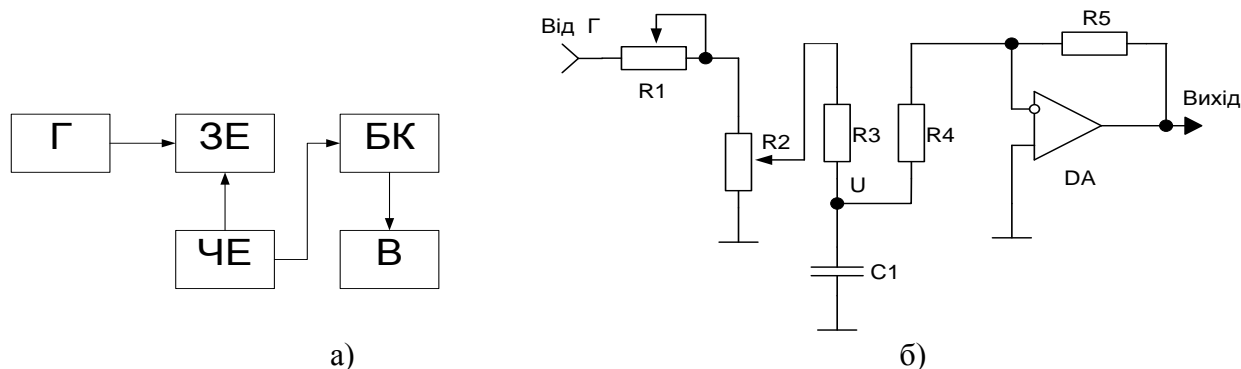


Рисунок 1.11 –

Вологомір Z-метр, що використовується в лабораторній роботі, виконаний по структурній схемі рис. 1.4, а, але доповнений комутатором К (рис.1.5), за допомогою якого здійснюється вибір режиму роботи – калібрування або вимірювання.

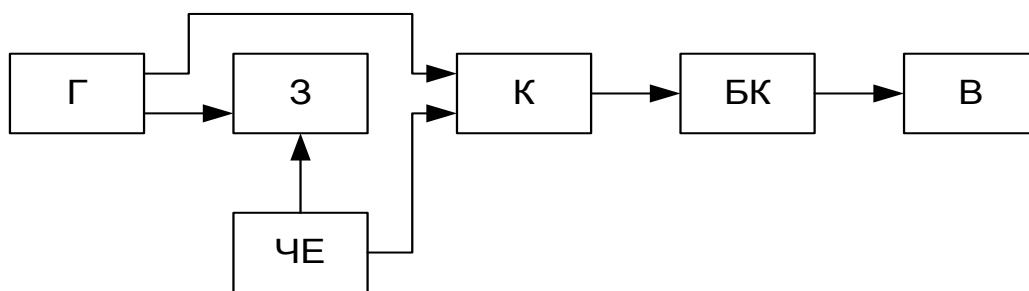


Рисунок 1.12 –

Повна градуєвальна характеристика вологоміра показана на рис.1.13, та розбита на два піддіапазони: I –10...17%, II – 17...38% (рис.1.14 і рис.1.15).

Математичні моделі для кожного з піддіапазонів:

- для I-го –  $W_{11} = -6.408 \cdot U + 38.45$ ;
- для II-го –  $W_{22} = -3.088 \cdot U + 27.058$ .

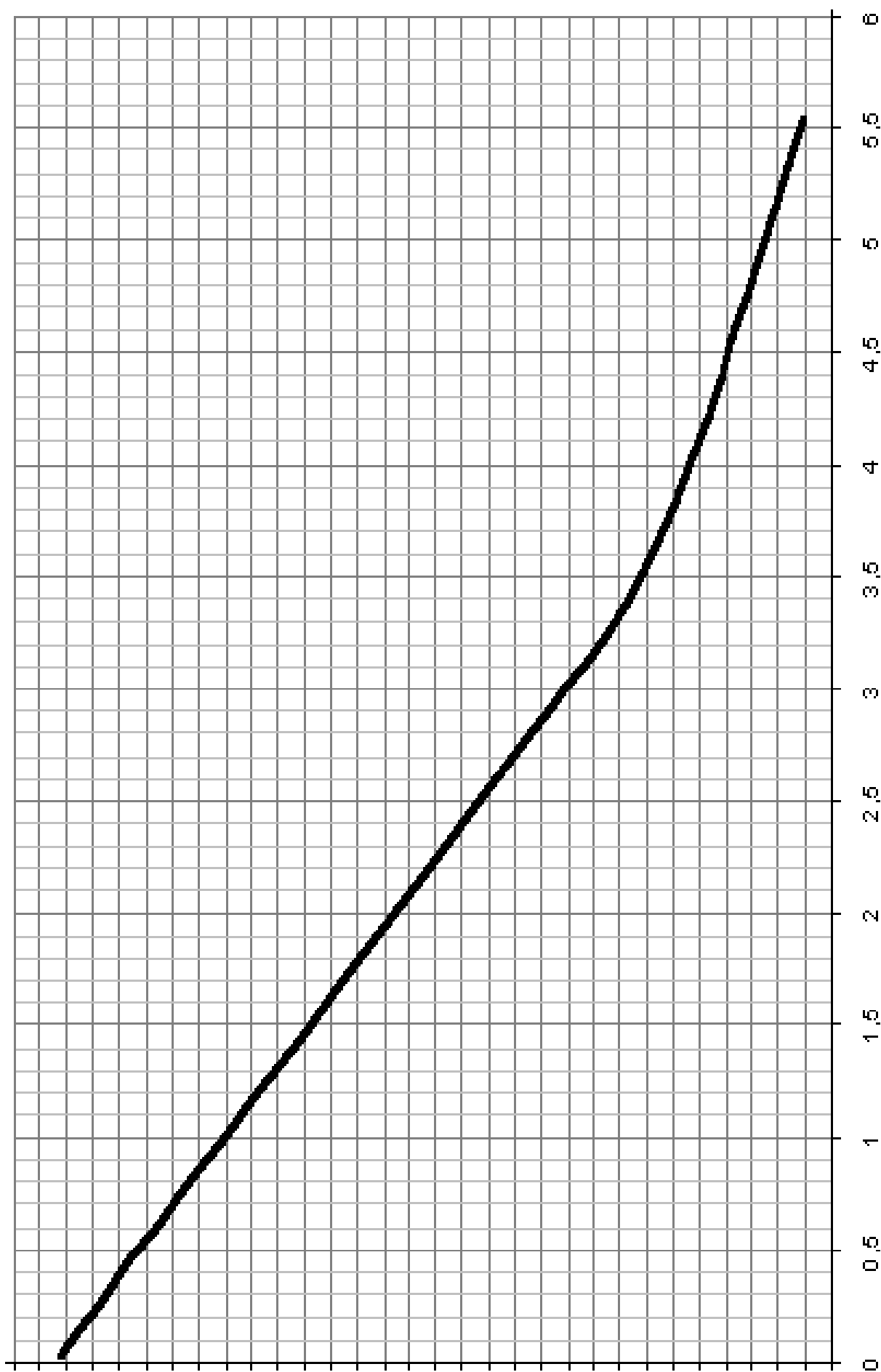


Рисунок 1.13 – Повна градувальна характеристика вологоміра

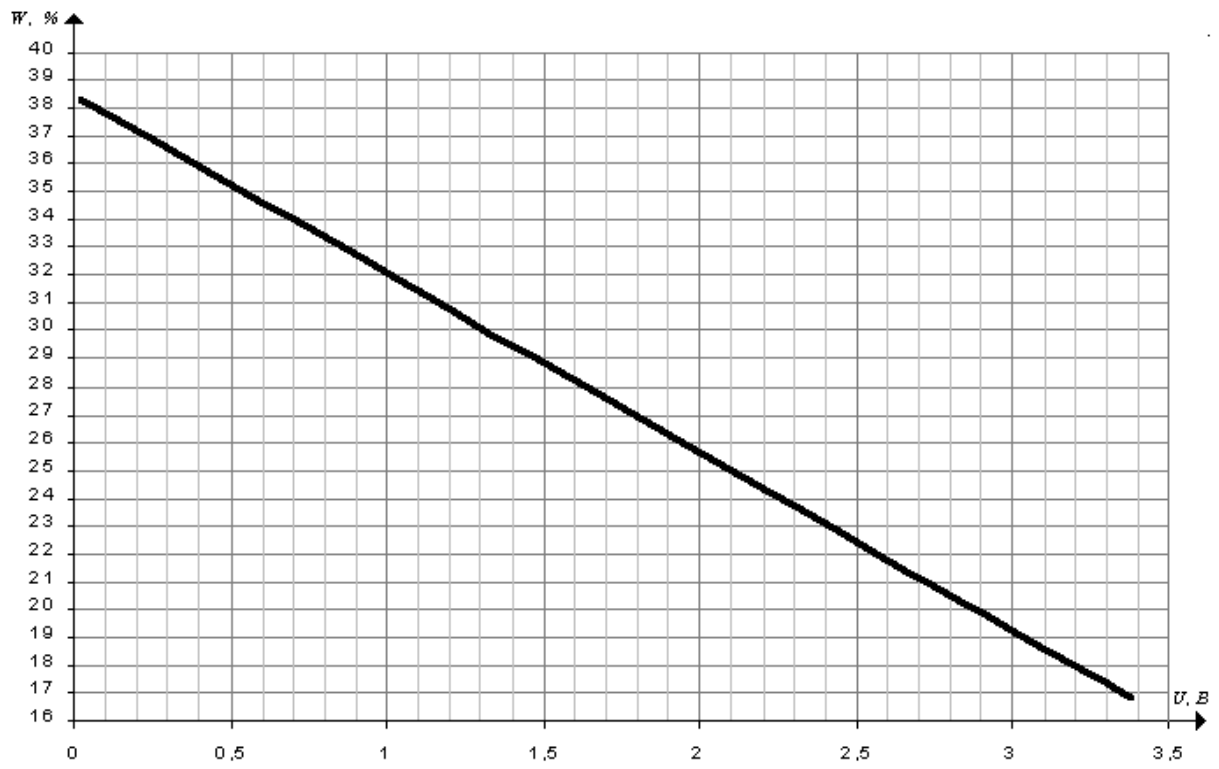


Рисунок 1.14 - Градувальна характеристика вологоміра

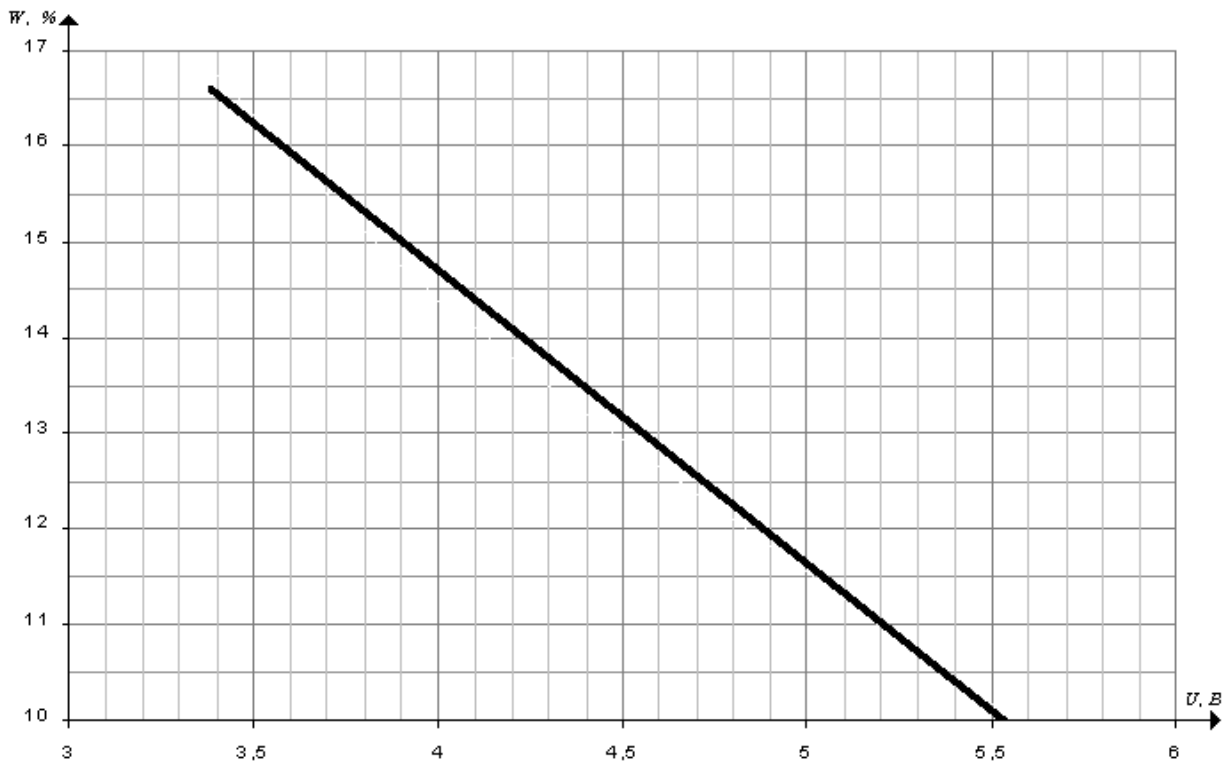


Рисунок 1.15 – Градувальна характеристика вологоміра

## 1.5 Хід роботи

Зображення передньої панелі прилада показано на рис.1.16.

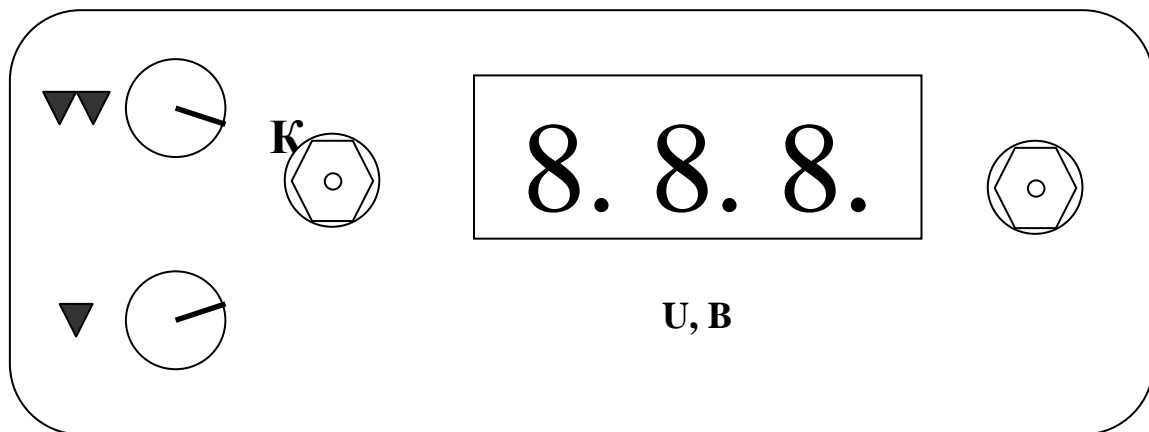


Рисунок 1.16 – Передня панель прилада

1. Перемикач калібратора встановити в положення “К”. Увімкнути вологомір зерна пшениці і дати йому прогрітись на протязі 5 хв.

2. Дослідний зразок зерна об’ємом  $200 \text{ см}^3$  змочити водою, розстелити на щільному папері, просушити до зникнення води на поверхні зерна.

3. Заповнити давач вологим зерном, закрити кришкою і вставити в гнізда на верхній кришці вологоміра, з врахуванням маркування на давачі і поверхні вологоміра.

4. За допомогою грубого ▼ та точного ▼▼ регуляторів встановити на дисплеї вологоміра напругу  $10,00 \text{ В}$ .

5. Перемикач калібратора перемкнути в положення “В” і зчитати з дисплея вологоміра перше значення напруги (при вимірюванні дуже волого зерна ці значення можуть змінюватись через 1-2 с, за рахунок поляризаційних ефектів).

6. За допомогою градуювальної характеристики  $W = f(U)$  (рис.1.7 або рис.1.8, в залежності від напруги  $U$  вибирається I або II піддіапазон) визначити вологість досліджуваного зразка зерна.

7. Скориставшись математичною моделлю  $W_1 = f(U)$  або  $W_2 = f(U)$  також знайти вологість цього ж зразка зерна. Значення  $W_1$  або  $W_2$  вважати істинним.

8. Висипати з давача зерно на папір, розстелити і просушити шляхом природного повітряного висушування на протязі 5 хв.

9. Повторюючи п.п.3-8, виконати 15 вимірювань.

10. Знайти абсолютну  $\Delta W$ , відносну  $\delta_w$  похибки вимірювання, а також середньоквадратичне відхилення результатів вимірювання. Результати вимірювань та розрахунків занести до табл.1.1.

11. За даними табл.1 побудувати графіки:  $W = f(U)$ ,  $\Delta W = f(U)$ ,  $\delta_w = f(U)$ .

Таблиця 1.1 – Результати експериментальних досліджень зерна пшениці та їх статистичного опрацювання

№ досліду	1	2	3	.....	15
U, В					
W, % вологості					
W <sub>1</sub> , % вологості					
ΔW, % вологості					
δ <sub>w</sub> , %					

### Контрольні запитання

- вологомір F-метр;
- вологомір Y-метр;
- вологомір Q-метр;
- вологомір Z-метр;
- прямі методи визначення вологості;
- непрямі методи визначення вологості;
- метод ЯМР;
- термогравіметричний метод вимірювання вологості;
- хімічні методи вимірювання вологості;
- радіометричні методи вимірювання вологості.



## Лабораторна робота № 9

### 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ТЕМПЕРАТУРИ НА БАЗІ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ВИМІРЮВАЧА-РЕГУЛЯТОРА ТРМ1

#### Мета роботи:

1. Ознайомлення з будовою і роботою мікропроцесорного вимірювача-регулятора ТРМ1 для вимірювання та управління температурою об'єкта.
2. Ознайомлення з методами вимірювання температури.
3. Набуття навиків роботи з первинними вимірювальними перетворювачами: термопарою і термоперетворювачем опору.
4. Виконання статистичної обробки результатів вимірювання.

#### Теоретичні відомості

##### 1.1 Методи вимірювання температури і температурні шкали

Виміряти температуру якого-небудь тіла безпосередньо, тобто так, як вимірюють інші фізичні величини, наприклад довжину, масу, об'єм або час, не представляється можливим, тому що в природі не існує еталона або зразка одиниці цієї величини. Тому визначення температури речовини роблять за допомогою спостереження за зміною фізичних властивостей іншої, так званої термометричної речовини, яка при зіткненні з нагрітим тілом, вступає з ним через якийсь час у теплову рівновагу. Такий метод вимірювання дає не абсолютне значення температури нагрітого середовища, а лише різницю щодо вихідної температури робочої речовини, умовно прийнятої за нуль.

Зміна агрегатного стану хімічно чистої речовини (плавлення або затвердіння, кипіння або конденсація), як відомо, протікає при постійній температурі, значення якої визначається складом речовини, характером її агрегатної зміни і тиском. Значення цих відтворених температур рівноваги між твердою і рідкою або рідкою і газоподібною фазами різних речовин при нормальному атмосферному тиску, рівному 101325 Па (760 мм рт. ст.), називаються **реперними точками**.

Якщо прийняти як основу інтервал температур між реперними точками плавлення льоду і кипіння води, позначивши їх відповідно 0 і 100, і у межах цих температур виміряти об'ємне розширення якої-небудь робочої речовини, наприклад ртуті, що перебуває у вузькій циліндричній скляній посудині, і розділити на 100 рівних частин зміну висоти її стовпа, то в результаті буде побудована так звана **температурна шкала**. Поділки температурної шкали називаються градусами. При побудові зазначеної температурної шкали була довільно прийнята пропорційна залежність

об'ємного розширення ртуті від температури, що, однак, не відповідає дійсності, особливо при температурах вище 100 градусів. Тому за допомогою такої шкали можна точно виміряти температуру тільки у двох вихідних точках 0 і 100 градусів, тоді як результати вимірювання у всьому іншому діапазоні шкали будуть неточні. Те ж явище спостерігалось б і при побудові температурної шкали з використанням інших фізичних властивостей робочої речовини, таких, як зміна електричного опору провідника, збудження термоелектрорушійної сили і т.п.

Користуючись другим законом термодинаміки, англійський фізик Кельвін в 1848 р. запропонував дуже точну і рівномірну, що не залежить від властивостей робочої речовини шкалу, яка отримала назву **термодинамічної температурної шкали** (шкали Кельвіна). Остання заснована на рівнянні термодинаміки для оборотного процесу (циклу Карно). Термодинамічна температурна шкала починається з абсолютного нуля і у цей час є основною в Міжнародній практиці.

На Генеральній конференції по мірах і вагам Міжнародний комітет мір і ваг прийняв нову практичну температурну шкалу 1968 р. (**шкалу Цельсія**), градуси якої позначаються знаком °С (градус Цельсія).

Градус Цельсія названий на честь шведського вченого Андерса Цельсія, який запропонував в 1742 нову шкалу для вимірювання температури. За нуль за шкалою Цельсія приймалася точка плавлення льоду, а за 100 градусів — точка кипіння води при стандартному атмосферному тиску. (Початково Цельсій за 100° взяв температуру танення льоду, а за 0° — температуру кипіння води. І лише згодом його співвітчизник М. Штремер «перевернув» цю шкалу). Ця шкала є лінійною в інтервалі 0—100° і лінійно продовжується в області нижче 0° та вище 100°.

Початкове визначення градуса Цельсія залежало від значення стандартного атмосферного тиску (температура кипіння води, як і температура плавлення льоду, залежить від тиску). Це не дуже зручно для стандартизації одиниці вимірювання. Тому після прийняття Кельвіна основною одиницею вимірювання температури визначення градуса Цельсія було переглянута.

За сучасним означенням, величина градуса Цельсія дорівнює одному Кельвіну, а нуль шкали Цельсія встановлений таким чином, що температура потрійної точки води становить 0,01 °С. В результаті шкали Цельсія та Кельвіна зсунуті на 273,15:

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$$

(Тобто, для переведення градусів Цельсія в Кельвіна потрібно до кількості градусів за Цельсієм додати 273,15. Отримана сума і буде температурою за Кельвіном).

Температуру за шкалою Цельсія заведено позначати малою латинською літерою *t*, а абсолютну температуру – великою латинською літерою *T*. Крім цих шкал у закордонній довідковій і технічній літературі

зустрічаються ще шкали Ранкіна, Реомюра і Фаренгейта. Для переведення температур, виражених по шкалах Ранкіна ( $t_{Ra}$ ), Реомюра ( $t_R$ ) і Фаренгейта ( $t_F$ ), у температуру по шкалі Цельсія застосовують співвідношення:

$$t(^{\circ}C) = \frac{5}{9}t_{Ra} - 273,15 = \frac{5}{4}t_R = \frac{5}{9}(t_F - 32). \quad (1.1)$$

Існуючі методи вимірювання температури можна поділити на контактні та безконтактні. При контактному методі чутливий елемент вимірювача температури знаходиться безпосередньо в середовищі, температура якого вимірюється. Безконтактний метод ґрунтується на властивості тіл, що мають температуру більше абсолютного нуля, випромінювати теплове випромінювання, за енергією якого визначається температура досліджуваного тіла.

## 1.2 Класифікація приладів для вимірювання температури

Прилади для вимірювання температури розділяються залежно від використовуваних ними фізичних властивостей речовин на наступні групи з діапазоном показань:

**Термометри розширення** (-190...+650 $^{\circ}C$ ) засновані на властивості тіл змінювати під дією температури свій об'єм.

**Манометричні термометри** (-160...+600 $^{\circ}C$ ) працюють за принципом зміни тиску рідини, газу або пари з рідиною в замкнутому об'ємі при нагріванні або охолодженні цих речовин.

**Термометри опору** (-200...+650 $^{\circ}C$ ) засновані на властивості металевих провідників змінювати залежно від нагрівання їхній електричний опір.

**Термоелектричні термометри** (-50...+1800 $^{\circ}C$ ) побудовані на властивості різнорідних металів і сплавів утворювати в парі (спаї) термоелектрорушійну силу, що залежить від температури спаю.

**Пірометри** (-30...+6000 $^{\circ}C$ ) працюють за принципом вимірювання випромінюваної нагрітими тілами енергії, що залежить від температури цих тіл.

**1.2.1 Термометри розширення.** Фізична властивість тіл змінювати свій об'єм залежно від нагрівання широко використовується для вимірювання температури. На цьому принципі заснований пристрій рідинних скляних і дилатометричних термометрів, які з'явилися дуже давно і послужили для створення перших температурних шкал.

В рідинних термометрах, побудованих на принципі теплового розширення рідини в скляному резервуарі, як робочі речовини використовуються ртуть і органічні рідини – етиловий спирт, толуол і ін.

Найбільш широке застосування одержали **ртутні термометри**, що мають у порівнянні з термометрами, заповненими органічними рідинами, істотні переваги: великий діапазон вимірювання температури, при якому ртуть залишається рідкою, незмочення скла ртуттю, можливість заповнення термометра хімічно чистою ртуттю через легкість її одержання та ін. При нормальному атмосферному тиску ртуть перебуває в рідкому стані при температурах від  $-39$  (точка замерзання) до  $357^{\circ}\text{C}$  (точка кипіння).

Основна похибка ртутних термометрів залежить від діапазону показань і ціни поділу шкали, зі збільшенням яких вона зростає.

Недоліками ртутних термометрів є їхня крихкість, неможливість дистанційної передачі і автоматичного запису показань, більша інерційність і труднощі відліку через нечіткість шкали і поганой видимості ртуті в капілярі. Все це значною мірою обмежує їхнє застосування, залишаючи за ними головним чином область місцевого контролю і лабораторні вимірювання.

До **дилатометричних термометрів** відносяться стрижневі і пластинчастий (біметалічний) термометри, дія яких засноване на відносному подовженні під впливом температури двох твердих тіл, що мають різні температурні коефіцієнти лінійного розширення.

Дилатометричні термометри не одержали поширення як самостійні прилади, а використовуються головним чином як чутливі елементи в сигналізаторах температури.

**1.2.2 Дія манометричних термометрів** заснована на залежності тиску рідини, газу або пари з рідиною в замкнутому об'ємі (термосистемі) від температури. Зазначені термометри є промисловими, що показують і самописними приладами, призначеними для вимірювання температури в діапазоні до  $600^{\circ}\text{C}$ . Клас точності їх 1-2,5.

Залежно від робочої речовини, яка використовується в термосистемі, манометричні термометри розділяються на газові, рідинні і конденсаційні (мають як робочу речовину органічні рідини з низькою температурою кипіння: хлористий метил, ацетон і фреон). Вибір робочої речовини виконується виходячи із заданого діапазону показань і умов вимірювання.

Газові манометричні термометри призначені для вимірювання температур від  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $600^{\circ}\text{C}$ . Як робоче тіло застосовується азот.

Рідинні манометричні термометри призначені для вимірювання температур від  $-150^{\circ}\text{C}$  до  $300^{\circ}\text{C}$ . Як робоче тіло, яке заповнює термосистему, застосовують ртуть, пропиловий спирт, метаксилол та інші рідини.

Конденсаційні манометричні термометри призначені для вимірювання температур від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $300^{\circ}\text{C}$ . Термобалон термометра приблизно на  $\frac{3}{4}$  заповнений низькокиплячою рідиною (наприклад, пропилен, ацетон), а решта частини заповнена насиченою паром цієї рідини.

Манометричні термометри мають практично лінійну шкалу температур. Відрізняються простотою пристрою, можливістю дистанційної

передачі показань і автоматичного запису. Однією з важливих переваг є можливість їх використання в пожежо- та вибухонебезпечних приміщеннях. До недоліків необхідно віднести складність ремонту при розгерметизації системи, обмежену відстань дистанційної передачі і у багатьох випадках великі розміри термобалона. Газові і рідинні манометричні термометри мають клас точності 1; 1,5 і 2,5, а конденсаційні – 1,5; 2,5 і 4.

### 1.2.3 Для вимірювання температури широке застосування отримали 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  $t$ . Така властивість металів характеризується температурним коефіцієнтом  $\alpha$  опору (ТКО), який визначається як відношення приросту опору провідника, що виготовлений із цього металу, до приросту температури, що привела до його нагрівання і змінила його електричний опір, та опору провідника  $R$

$$\alpha = \frac{dR}{Rdt} \left( \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right). \quad (1.2)$$

Для провідників (металів) - ТКО додатній і їхній опір зростає із зростанням температури, а перетворювачі, які виготовлені із металевого дроту називають (в загальному) **терморезисторами**. У напівпровідників навпаки – ТКО від'ємний і їхній опір електричному струму спадає із ростом температури, а перетворювачі, що виготовлені із напівпровідникових матеріалів, називають **термісторами**.

Матеріали, які використовуються для виготовлення термометрів опору, повинні мати максимальний і постійний ТКО, лінійну залежність опору від температури, мати відтворюваність властивостей і інертність до впливів навколишнього середовища. Для виготовлення термометрів опору використовують мідь, нікель, платину, вольфрам, що мають позитивний температурний коефіцієнт. Термометри опору відносяться до одних із найбільш точних перетворювачів температури. Похибка виміру температури за допомогою ТО може складати  $0,001^{\circ}\text{C}$ . Для виготовлення напівпровідникових термоопорів (термісторів) застосовують окисли металів ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і ін.), що пресуються і спікаються при високій температурі. Вони мають малі розміри і великі значення ТКО.

В більшості провідникових і напівпровідникових тіл залежність активного опору  $R$  від температури можна узагальнити формулою:

$$R = C \cdot e^{kT}, \quad (1.3)$$

де  $C$  та  $k$  – коефіцієнти, значення яких залежить від матеріалу, з якого виготовлений терморезистор; крім цього,  $C$  залежить від геометричних розмірів терморезистора, а коефіцієнт  $k$  для напівпровідників - залежить і від температури;  $e$  – основа натуральних логарифмів;  $T$  – абсолютна температура, К (Кельвін).

На практиці, як правило, температуру вимірюють за шкалою Цельсія і, використовуючи співвідношення:  $T(K) = t(^{\circ}C) + 273.15$ , приведена залежність (1.3) активного опору від температури  $t(^{\circ}C)$  приймає вигляд:

$$R = C \cdot e^{k(273.15 + t)} = C \cdot e^{273.15k} \cdot e^{kt}. \quad (1.4)$$

Значення виразу:  $C \cdot e^{273.15k} = R_0$  – приймається за початковий опір тіла при температурі  $0^{\circ}C$  і відповідно:

$$R = R_0 \cdot e^{kt}. \quad (1.5)$$

Так як для провідникових термометрів коефіцієнт  $k$  не залежить від температури, то формулу (1.5) можна переписати в іншому вигляді, розклавши її в ряд Маклорена в залежності від температури:

$$\begin{aligned} R &= R_0 \cdot e^{kt} = f(0) + \frac{t}{1!} f'(0) + \frac{t^2}{2!} f''(0) + \frac{t^3}{3!} f'''(0) + \dots = \\ &= R_0 \left( 1 + \frac{k}{1!} t + \frac{k^2}{2!} t^2 + \frac{k^3}{3!} t^3 + \dots \right) = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \dots), \end{aligned} \quad (1.6)$$

де  $f(0)$  та  $f'(0)$ ,  $f''(0)$ ,  $f'''(0)$ , ... – значення функції (6) в нулі та її частинні похідні.

В первинному вимірювальному перетворювачі температури може використовуватись будь-який терморезистор або термістор, але в якості засобів вимірювання температури, тобто, засобів з нормованими метрологічними характеристиками (НМХ), використовують термометри опору (ТО). ТО це терморезистори з НМХ, які виготовлені із чистих металів (міді, платини, нікелю, вольфраму або заліза) і які відповідають наступним вимогам:

- мають достатньо великий і незмінний в часі ТКО, який прийнято визначати для ТО в інтервалі температур від  $0$  до  $100^{\circ}C$  по залежності:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100}, \text{ [для більшості чистих металів } \alpha \cong 4 \cdot 10^{-3} (\frac{1}{^{\circ}C})], \quad (1.7)$$

де  $R_0$  та  $R_{100}$  - опір ТО при  $0$  та при  $100^{\circ}C$ , Ом;

- мають монотонну без гістерезису характеристику перетворення  $R = f(t)$ ;

- мають високий питомий електричний опір, а метал ТО не вступає до взаємодії з вимірюваним середовищем.

Найбільше поширені провідникові ТО, які виготовляють із мідного дроту (використовуються для вимірювання температури від  $-50$  до  $180^{\circ}\text{C}$ ) або із платиного – для температур від  $-260$  до  $650^{\circ}\text{C}$ .

ТО мають при виготовленні нормоване (стандартизоване) значення  $R_0$  при  $0^{\circ}\text{C}$  і зображуються як ТСМ для мідного дроту та ТСП – для платиного. ТО являє собою дріт певної довжини і діаметром  $\cong 0,07\text{мм}$ , який намотаний на стержень із ізоляційного матеріалу (наприклад, слюди) і який є чутливим елементом. Чутливий елемент ТО розміщують в корпус (кожух) із нержавіючої сталі, який має різьбове з'єднання для його кріплення до металевих стінок технологічного обладнання та головку, в якій розміщують клеми під'єднання зовнішніх проводів. Для вимірювання температури в системах вентиляції і в приміщеннях, виготовляють спеціальні ТО, кожух яких перфорується, для швидкого доступу повітря до чутливого елемента.

Залежність опору ТО від температури називається **градуовальною характеристикою**. Для мідних ТО ця залежність має вигляд із двох членів формули (1.6):

$$R_m = R_{0m} \cdot (1 + \alpha \cdot t), \quad (1.8)$$

де  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ .

ТО із міді виготовляються із нормованим значенням опору  $R_{0m}$  при  $0^{\circ}\text{C}$  на 10, 50, та 100 Ом і їм присвоєні умовні позначення: 10М, 50М, 100М.

Для платинових ТО залежність опору від температури визначається трьома членами формули (1.6) для температур  $\geq 0^{\circ}\text{C}$ :

$$R_n = R_{0n} \cdot (1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2), \quad (1.9)$$

де  $\alpha = +3.968 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ ;  $\beta = -5.847 \cdot 10^{-7} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ .

При вимірюванні температур  $< 0^{\circ}\text{C}$  – градуовальна характеристика ТСП описується виразом із 4-х членів формули (1.6).

Платинові ТО теж мають нормовані значення  $R_{0n}$  при температурі  $0^{\circ}\text{C}$  і, по аналогії з мідними, в залежності від  $R_{0n}$  мають позначення: 1П, 5П, 10П, 50П, 100П, 500П.

Всі типи ТО виготовляються як взаємозамінні і для цього їхні типи, основні параметри та розміри регламентуються відповідним стандартом.

Основними параметрами для забезпечення взаємозамінності ТО є допуски на відхилення їхнього опору при температурі  $0^{\circ}\text{C}$  ( $R_0$ ) від номінального значення, що відповідає приведеним вище значенням для кожного ряду, та на коефіцієнт  $W_{100}$ , який визначається відношенням:  $R_{100}/R_0$ , тобто, відношенням опору ТО при температурі  $100^{\circ}\text{C}$  до його опору

при 0°C і який залежить від чистоти дроту, із якого виготовлений ТО. Наприклад, для ТСМ 50 коефіцієнт  $W_{100} = 1.426$ ; для ТСП 50 –  $W_{100} = 1.391$ ; для ТСП 100П  $W_{100} = 1,385$ .

Платинові ТО випускаються першого класу (використовуються як зразкові і еталонні, наприклад, допустиме відхилення опору  $R_{0n}$  такого ТО від номінального значення не повинно перевищувати  $\pm 0,05\%$ , а відношення опорів  $R_{100}/R_0$  повинно дорівнювати  $1,391 \pm 0,0007$ ) та другого класу (використовуються як технічні), а мідні випускаються тільки 2-го та 3-го класів і використовуються як технічні термометри з абсолютними похибками від  $\pm 0.3... 0.5^\circ\text{C}$  до  $\pm 1...2^\circ\text{C}$ .

В якості вимірювальних приладів, які використовуються у комплекті з ТО, використовуються зрівноважені і незрівноважені мости, логометри та сучасні вимірювальні перетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом. Луцьке НВО “Електротермометрія” випускає мідні термометри серії ТСМ (50М), платинові - серії ТСП (50П) різних модифікацій на різні межі вимірювань та різних конструктивних особливостей. Виготовляються мідні та платинові термометри типів ТСМУ-0288(0289) та ТСПУ-0288(0289) з нормувальними перетворювачами з вихідним уніфікованим сигналом по струму 4...20 мА, а також мідні та платинові типів ТСМУ-0388 і ТСПУ-0388 з гальванічною розв’язкою між джерелом живлення та виходом і мають десятирозрядний послідовний інтерфейсний вихід. ТО поставляються з комплектом монтажних частин під трубний та кабельний монтаж. Діаметр захисної гільзи всіх ТО може становити 8 і 10 мм.

НВФ «АГАТ-1» (м. Харків) випускає ТО серії ДТ1 КВАНТ із уніфікованими вихідними сигналами, які випускаються у звичайному чи вибухозахищеному, пило- і водо захищеному та вібростійкому виконаннях і які використовуються також на об’єктах ядерної енергетики. Довжина заглибної в об’єкт частини ТО може становити: 80; 100; 120; 160; 200; 250; 320; 400; 500 і більше мм (обумовлюється замовленням). У разі потреби вітчизняні ТО теж можуть виготовлятися з цифровою індикацією (позначення - ДТЦ1) за місцем (по аналогії з ТФ2) або з виносним блоком цифрової індикації.

Межі основної допустимої похибки ТО можуть становити 0,25; 0,4; 0,5; 0,6 або 1%. Середнє напрацювання ТО на відмову – до 150 000 год. Кліматичне виконання (по замовленню) дозволяє застосовувати їх за умови зміни температури навколишнього середовища в межах від  $-40^\circ\text{C}$  до  $+125^\circ\text{C}$ .

Перевагою термометрів опору є: висока точність вимірювання (зазвичай біля  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ), легкість здійснення автоматичного запису і дистанційної передачі показань і можливість приєднання до одного вторинного приладу за допомогою перемикача декількох однотипних термометрів. До недоліків цих приладів відноситься: потреба в сторонньому джерелі струму, низький діапазон вимірювань (в порівнянні з термопарами),



не можуть вимірювати високі температури.

**1.2.4 Дія термоелектричних термометрів** заснована на властивості металів і сплавів створювати термоелектрорушійну силу (термо-е.р.с), що залежить від температури місця з'єднання (спаю) кінців двох різнорідних провідників (термоелектродів), що утворюють чутливий елемент термометра – термопару. Маючи у своєму розпорядженні закон зміни термо-е.р.с. термометра від температури і визначаючи значення термо-е.р.с. електровимірювальним приладом, можна знайти шукане значення температури в місці вимірювання.

Термоелектричний термометр, що складається із двох спаяних і ізольованих по довжині термоелектродів, захисного чохла і головки із затискачами для підключення сполучної лінії, є первинним вимірювальним перетворювачем. Як вторинні прилади, що працюють із термоелектричними термометрами, застосовуються магнітоелектричні мілівольтметри і потенціометри.

Термоелектричні термометри, що одержали практичне застосування, розділяються по матеріалам термоелектродів на дві групи: з благородних (платина, платинородій) і неблагородних металів або сплавів (хром-алюмель, хромель-копеловий сплав). Найбільш поширеними термопарами є хромель-алюмелієві ( $-50\dots+1000^{\circ}\text{C}$ ) і хромель-копелєві ( $-50\dots+600^{\circ}\text{C}$ ). Термометри типів ТПП і ТПР із термоелектродами із благородних металів і сплавів застосовуються головним чином для вимірювання температури вище  $1000^{\circ}\text{C}$ , тому що вони мають велику термостійкість. Незважаючи на відносно малі значення, що розвиває термо-е.р.с. термометри типу ТПП завдяки винятковій сталості термоелектричних властивостей і великому діапазону вимірювання одержали широке поширення головним чином як лабораторні, зразкові і еталонні.

Термоелектричні термометри широко застосовуються в енергетичних установках для вимірювання температури перегрітої пари, димових газів, металу труб котлоагрегатів і т.п. Позитивними властивостями їх є: великий діапазон вимірювання, висока чутливість, незначна інерційність, відсутність стороннього джерела електричного струму і легкість здійснення дистанційної передачі показань.

Недоліком термопар є невеликі значення електрорушійної сили, що виникає в електричному ланцюзі, тому є необхідність у відповідному вимірювальному приладі, який коштує значно дорожче самої термопари, а також невелика чутливість.

**1.2.5 Пірметри** застосовуються для вимірювання температури тіл у діапазоні  $-30\dots6000^{\circ}\text{C}$ . Дія цих приладів заснована на залежності теплового випромінювання нагрітих тіл від їхньої температури і фізико-хімічних властивостей. На відміну від термометрів первинний перетворювач

пірометра не підпадає під вплив високої температури і не змінює температурне поле, тому що перебуває поза вимірювальним середовищем.

З підвищенням температури нагрітого тіла інтенсивність його теплового випромінювання у вигляді електромагнітних хвиль різної довжини швидко зростає. При нагріванні до  $500^{\circ}\text{C}$  тіло випромінює невидимі інфрачервоні промені великої довжини хвилі, однак подальше збільшення температури викликає появу видимих променів меншої довжини, завдяки яким тіло починає світитися. Спочатку розпечене тіло має темно-червоні кольори, що у міру росту температури і появи променів, що поступово зменшуються за довжиною хвилі, переходить у червоний, жовтогарячий, жовтий і, нарешті, білі кольори, що складається з комплексу променів різної довжини хвилі.

Одночасно зі збільшенням температури нагрітого тіла і зміною його кольору сильно зростає інтенсивність часткового (монохроматичного або одноколірного) випромінювання (яскравість) для даної ефективної довжини хвилі, а також помітно збільшується інтенсивність сумарного випромінювання (радіація) тілом енергії, що дозволяє використовувати ці властивості для вимірювання температури нагрітих тіл.

Найбільшу здатність випромінювання і поглинання енергії має так назване абсолютно чорне тіло, у природі не існуюче, що представляє собою уявлюваний ідеальний випромінювач. Це тіло поглинає всі падаючі на нього промені, тобто має коефіцієнт поглинання, що дорівнює одиниці, і має найбільшу інтенсивність випромінювання. Фізичні тіла мають здатність відбивати частину падаючих на них променів і, отже, завжди мають коефіцієнт поглинання менше одиниці. Інтенсивність випромінювання і коефіцієнт поглинання при даній температурі залежать від складу речовини і стану його поверхні. Тіло, що має темну і шорсткувату поверхню, ближче по своїх властивостях до чорного тіла, чим тіло зі світлою і полірованою поверхнею.

У цьому зв'язку шкалу пірометра доводиться градувати по випромінюванню чорного тіла. Тому що випромінювальна здатність реальних тіл менше, ніж чорних тіл, то показання пірометра будуть відповідати не дійсній температурі реального тіла, а дають умовну температуру або, у цьому випадку, так звану температуру яскравості.

Пірометри, що вимірюють температуру яскравості по спектральній яскравості у видимій частині спектра, називають оптичними (квазімонохроматичні) візуальними пірометрами і фотоелектричними.

Звичайно в оптичних пірометрах є дві шкали, однією з яких користуються при не встановленому поглинаючому світлофільтрі, наприклад від  $800$  до  $1200^{\circ}\text{C}$ , а другий – при встановленому світлофільтрі від  $1200$  до  $2000^{\circ}\text{C}$ . Існуючі в цей час оптичні пірометри призначені для вимірювання температур в інтервалі від  $800$  до  $6000^{\circ}\text{C}$  і мають різні модифікації з різними межами вимірювання. Клас точності оптичних пірометрів 1,5-4,0.

Перевагами оптичних пірометрів є порівняно висока точність вимірювання, компактність приладу і простота роботи з ними. До числа їхніх недоліків варто віднести потребу в джерелі живлення, неможливість стаціонарного вимірювання температури і автоматичного її запису, а також суб'єктивність методу вимірювання, заснованого на спектральній чутливості очей спостерігача. На результатах вимірювання впливають наявність у навколишнім повітрі пилу, диму і великого змісту двоокису вуглецю. Крім того, усяке забруднення оптичної системи пірометрів також веде до збільшення похибки вимірювання.

Для вимірювання температур вище 3000°C методи пірометрії є практично єдиними, тому що вони безконтактні. Теоретично верхня межа вимірювання температури пірометрами випромінювання необмежена.

### **1.3 Системи автоматичного вимірювання та регулювання температури на базі мікропроцесорного вимірювача-регулятора ТРМ1**

**1.3.1 Система автоматичного регулювання (САР) – це така автоматична система, задача якої полягає у підтримці вихідної величини об'єкта на заданому рівні.**

Автоматичні системи можна класифікувати за багатьма ознаками:

- за призначенням (системи керування технологічними режимами, апаратами і машинами);
- за характером керованих величин (системи регулювання температури, густини середовища, тиску та ін.);
- за видом енергії, що використовується для керування (електричні, гідравлічні, пневматичні та ін.) і т.д.

За характером зміни задавального впливу автоматичні системи розділяють на три типи: системи стабілізації, програмні системи і слідкуючі системи.

В останній час в автоматичних системах вимірювання та регулювання температури використовуються мікропроцесорні вимірювачі-регулятори типу ТРМ1 та ін. російської фірми «ОВЕН». Вони знаходять своє використання в холодильній техніці, сушильних шафах, печах, пастеризаторах і іншому технологічному обладнанні де необхідне регулювання температури та інших фізичних параметрів.

### **1.3.2 Приклади систем автоматичного регулювання (САР) температури**

**1.3.2.1 Автоматичне регулювання температури в печі для виробництва високоякісної цегли.**

Робота такої системи полягає в тому, що регулювання температури здійснюється шляхом зміни подачі газоповітряної суміші. Якщо в печі

змінилася температура, то датчик (термопара) фіксує це і подає сигнал автоматичному регулятору ТРМ1, який у свою чергу виробляє сигнал управління і посиляє його на виконавчий механізм. Двигун починає обертатися в сторону, відповідну закриттю або відкриттю клапана (залежно від збільшення або зменшення температури), який через редуктор пов'язаний з вихідним валом двигуна. Зміна положення заслінки приводить до відповідної зміни витрати газоповітряної суміші, а отже і до зміни температури в печі.

1.3.2.2 Одним із ефективних напрямів використання сої у раціонах тварин є згодовування її у вигляді соєвого молока молодняку великої рогатої худоби. Принцип отримання соєвого молока на установці УПСМ ґрунтується на методі помелу сої у водному середовищі. Отримане молоко підлягає пастеризації парою, утвореною в парогенераторі. У процесі теплової обробки нейтралізуються інгібітори трипсину. Температура в ємності пристрою для одержання соєвого молока задається й контролюється регулятором температури ТРМ1 і датчиком ТСМ-50. Молоко видають за допомогою зливного крана чи молочного насоса.

1.3.2.3 На рис. 1.1 зображено САР водяним опаленням з керуванням засувкою.

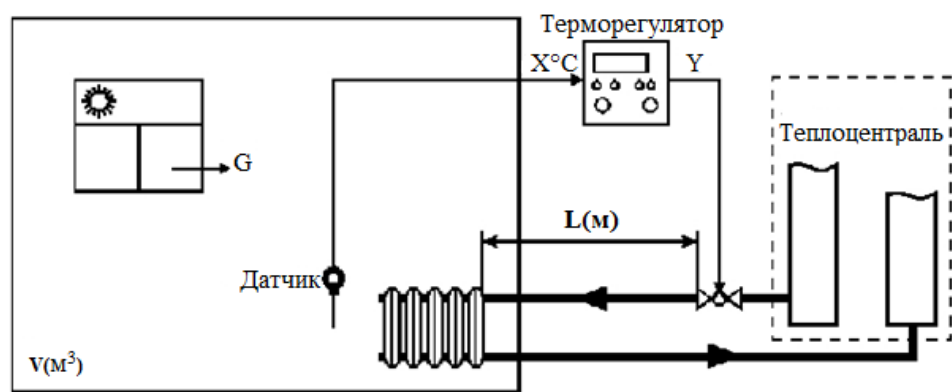


Рисунок 1.1 - Блок-схема САР водяним опаленням

Для опису вказаної системи автоматичного регулювання зазвичай використовується наступна структурна схема:

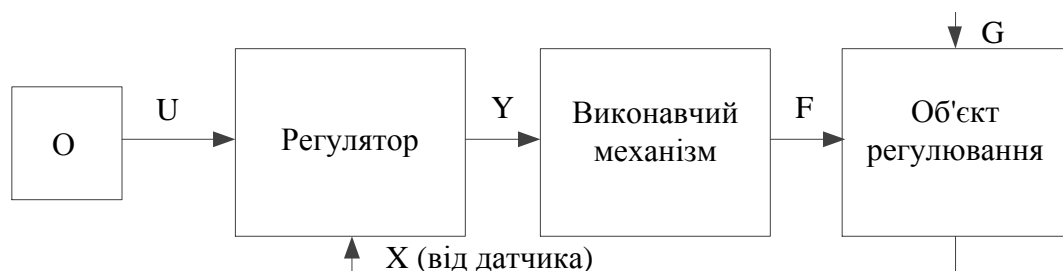


Рисунок 1.2 – Узагальнена структурна схема САР

О – оператор; U – уставка (величина, що програмно задається оператором);

X – контрольована величина (стан об'єкта); Y – сигнал управління;

F – функція виконавчого механізму; G – вплив зовнішніх факторів.

У процесі роботи регулятор (ТРМ1) порівнює поточне значення вимірюваної величини X (від датчика) з заданим значенням уставки U і виробляє управляючий сигнал Y для виконавчого механізму, який виконує задану функцію F. Наприклад, при регулюванні температури водяного опалення в приміщенні, уставкою U є необхідна температура повітря в приміщенні, контрольованою величиною X - поточна температура, управляючою величиною Y є включення-виключення електромеханічної засувки, яка відкриває-закриває подачу гарячої води від теплоценталі. Оператор може змінювати уставку протягом доби (наприклад, режим термічної обробки в печах, доосвітлення в теплицях, зміну температури приміщення та ін).

## **1.4 Керівництво щодо експлуатації приладів ТРМ1**

В даній лабораторній роботі використовується прилад модифікації **ТРМ1А\_Н.ТС.Р** (вимірювач-регулятор мікропроцесорний ТРМ1 в корпусі настінного кріплення, призначений для роботи з термоперетворювачами опору. Тип вбудованого вихідного пристрою - реле електромагнітне. Діапазон напруг живлення приладу 187... 242 В 50 Гц) та прилад модифікації **ТРМ1А\_Н.ТП.Р** (вимірювач-регулятор мікропроцесорний ТРМ1 в корпусі настінного кріплення, призначений для роботи з термопарами. Тип вбудованого вихідного пристрою - реле електромагнітне. Діапазон напруг живлення приладу 187... 242 В 50 Гц).

### **1.4.1 Призначення**

Вимірювач-регулятор мікропроцесорний ТРМ1 призначений спільно з первинним перетворювачем (датчиком) для вимірювання та регулювання (за наявності зовнішнього регулюючого виконавчого механізму або пристрою) температури та інших фізичних параметрів, значення яких вхідним датчиком може бути перетворено в сигнали активного опору, напруги постійного струму або постійний струм.

Прилад може бути використаний для вимірювання та регулювання технологічних процесів в різних галузях промисловості, комунального та сільського господарства.

Прилад дозволяє здійснювати наступні функції:

- вимірювання температури та інших фізичних величин (тиску, вологості, витрат, рівня й т.п.) за допомогою стандартних датчиків відповідно до модифікації вхідного пристрою;

- відображення поточного вимірювання на вбудованому світлодіодному цифровому індикаторі;
- регулювання вимірюваної величини по двохпозиційному (релейному) закону;

Параметри роботи приладу задаються користувачем і зберігаються при відключенні живлення в енергонезалежній пам'яті приладу.

### 1.4.2 Будова і робота приладу

#### Функціональна схема

Функціональна схема приладу наведена на рис. 1.1. Прилад має вхід для підключення первинних перетворювачів (датчиків), блок обробки даних, що складається з вимірювача фізичних величин, цифрового фільтра і логічного пристрою.

Логічний пристрій (ЛП) відповідно до запрограмованих користувачем функціональних параметрів формує сигнали управління вихідним пристроєм (ВП), що у залежності від модифікації приладу може бути дискретного чи аналогового типу.

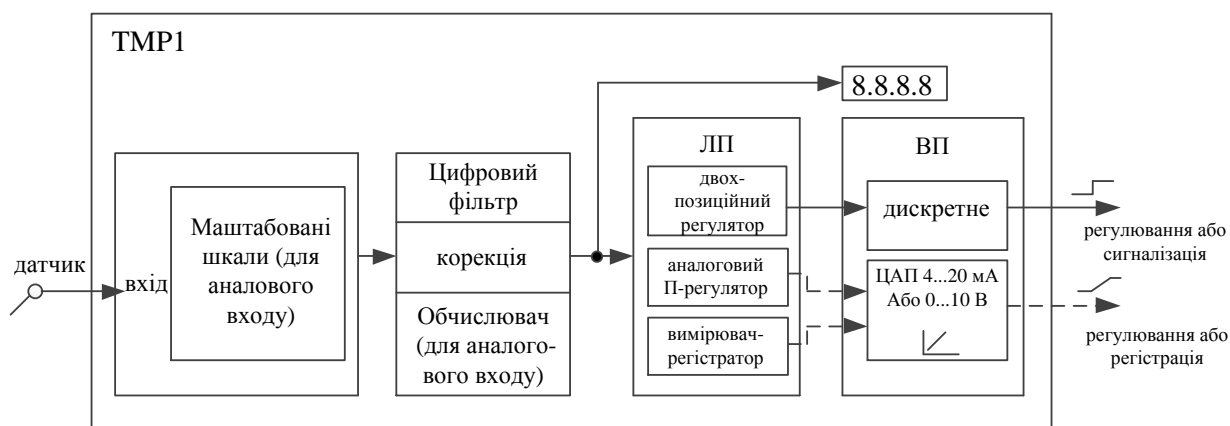


Рисунок 1.1 – Функціональна схема приладу TRM1

#### Типи вхідних пристроїв

Типи вхідних пристроїв (датчиків) встановлюється в програмованому параметрі **b0\_1** (п.2.3.2) відповідно зі значеннями кодів, наведеними нижче.

Параметр	Код датчика	Тип датчика	Заводська установка
b0_1	00	TSM 100M $W_{100} = 1,426$	
	01	TSM 50M $W_{100} = 1,426$	01
	02	TСП 100П $W_{100} = 1,385$	
	03	TСП 100П $W_{100} = 1,391$	
	04	ТХК(L)	04
	05	ТХА(K)	
	07	TСП 50П $W_{100} = 1,385$	
	08	TСП 50П $W_{100} = 1,391$	

В лабораторній роботі в приладі модифікації **ТРМ1А\_Н.ТС.Р** використовується тип датчика ТСП 100П  $W_{100}$ , з діапазоном вимірювання від  $-199$  до  $+650$  °С, роздільною здатністю 0,1.

Робота таких датчиків заснована на температурній залежності електричного опору металів. Датчик фізично виконаний у вигляді котушки з тонкої мідної або платиного дроту на каркасі з ізоляційного матеріалу, укладеної в захисну гільзу. Термоперетворювачі опору характеризуються двома параметрами:  $R_0$ -опір датчика при  $0$  °С і  $W_{100}$  - відношення опору датчика при  $100$  °С до його опору при  $0$  °С.

У приладі використовується трьохпровідна схема підключення термоперетворювачів опору. До одного з виводів терморезистора  $R_t$  під'єднуються два провoda, а третій підключається до іншого виводу  $R_t$  (рисунок 2). Така схема дозволяє компенсувати опір з'єднувальних проводів. При цьому необхідно дотримуватися умови рівності опорів всіх трьох проводів.

Термоперетворювачі опору можуть також підключатися до приладу з використанням двохпровідної лінії (в лабораторній роботі не реалізується).

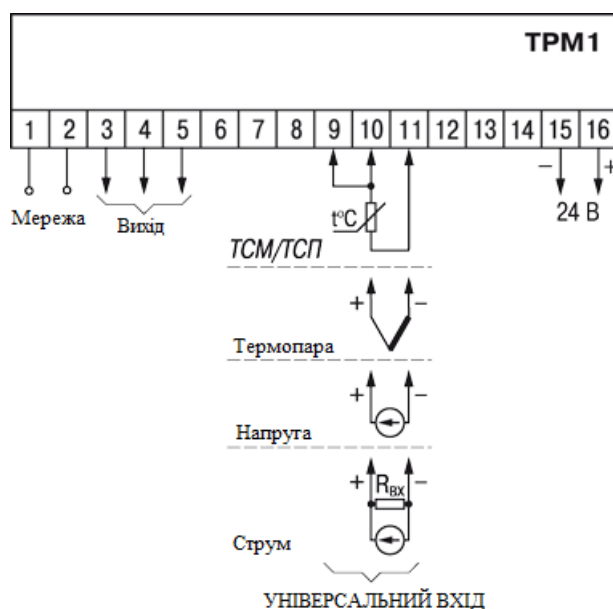


Рисунок 1.2 – Схема підключення приладу ТРМ1

В приладі модифікації **ТРМ1А\_Н.ТЦ.Р** використовується тип датчика ТХА(К), з діапазоном вимірювання від  $-50$  до  $+1000$  °С, роздільною здатністю 1,0.

Примітка: ХА(К) – термопара хромель-алюмель.

Термопара (термоелектричний перетворювач) складається з двох з'єднаних на одному з кінців провідників, виготовлених із металів, що володіють різними термоелектричними властивостями. Сполучені кінці, звані робочим спаєм, опускають у вимірюване середовище, а вільні кінці (холодний спай) термопари підключають до входу ТРМ1 (див.рисунок 2). Якщо температури робочого і холодного спаїв різні, то термопара виробляє

термоЕРС, яка і подається на аналізатор. Оскільки термоЕРС залежить від різниці температур двох спаїв термопари, то для отримання коректних показань необхідно знати температуру “холодного” спаю (її вільних кінців), щоб компенсувати її в подальших обчисленнях.

У приладі передбачена схема автоматичної компенсації температури вільних кінців термопари. Датчиком температури “холодного” спаю служить напів-провідниковий діод, встановлений поруч з приєднувальним клемником.

Підключення термопар до приладу повинно здійснюватися за допомогою спеціальних компенсаційних (термоелектродних) проводів, виготовлених з тих же самих матеріалів, що і термопара. Допускається також використовувати проводи з металів з термоелектричними характеристиками, які в діапазоні температур 0...100°C аналогічні характеристикам матеріалів електродів термопари. При з'єднанні компенсаційних проводів з термопарою і приладом необхідно дотримуватись полярності. У разі порушення вказаних умов можуть мати місце значні похибки при вимірюванні.

### Корегування результатів

Обчислені приладом значення можуть бути відкореговані з метою усунення початкової похибки перетворення вхідних датчиків. Ці похибки виявляються після проведення метрологічних випробувань та усуваються шляхом введення корегувальних значень.

У приладі закладені два параметри, що дозволяють здійснювати зсув і зміну нахилу вимірювальної характеристики приладу на задану величину (рис. 1.3).

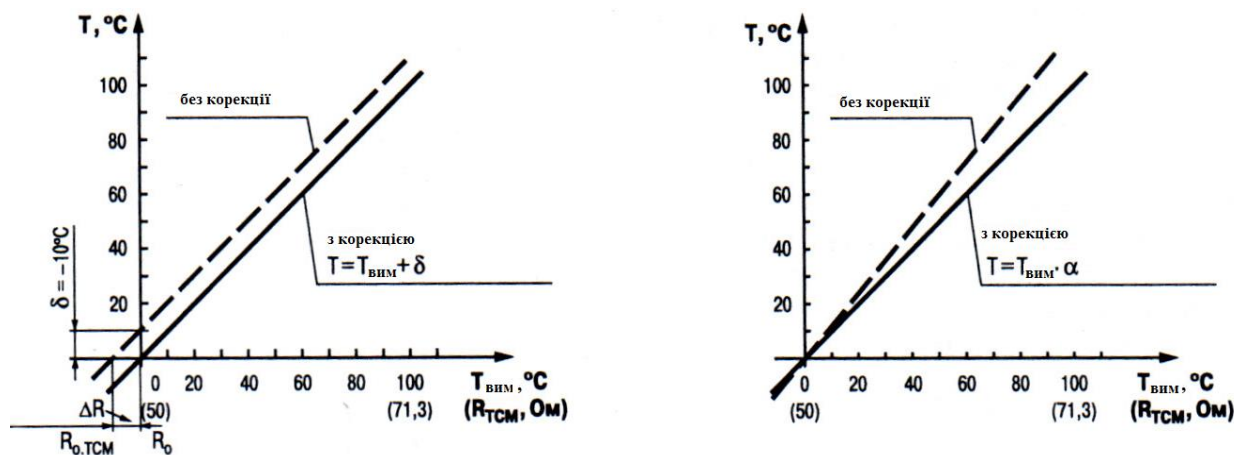


Рисунок 1.3 – Корегування вимірювальних характеристик приладу ТРМ1

### Зсув характеристики

До кожного обчисленого значення вимірюваної величини додається значення, задане параметром **b1\_1**. Цей параметр використовується для компенсації похибок, що вносяться опорами підвідних проводів, а також при



відхиленні у термоперетворювача опору значення  $R_0$ .

#### **Нахил характеристики**

Скоректоване “зсувом” значення множиться на поправочний коефіцієнт, що задається параметром **b1\_2**. Цей коефіцієнт близький до одиниці і знаходиться в межах 0.900 ... 1.100. Використовується, як правило, для компенсації похибок самих датчиків (наприклад, при відхиленні значення  $W_{100}$  у термоперетворювачів опору).

#### **Логічний пристрій (ЛП)**

У приладі ТРМ1 є логічний пристрій, що може працювати в одному з режимів:

- пристрій порівняння;
- П-регулятор;
- реєстратор.

Режим роботи ЛП встановлюється відповідним кодом у параметрі **A1\_1**. При установці нуля в цьому параметрі ЛП не працює, переходить у стан "Відключено". При цьому вихідний пристрій переходить в пасивний стан: реле розмикається.

В лабораторній роботі використовується режим „пристрій порівняння”.

При роботі в режимі „пристрій порівняння” ЛП працює по одному з представлених на рисунку 4 типів логіки:

- **тип логіки 1** (прямий гістерезис) застосовується у разі використання приладу для управління роботою нагрівача (наприклад, ТЕНа) або сигналізації про те, що значення поточного вимірювання  $T_{\text{пот}}$  менше уставки  $T$ . При цьому вихідний пристрій, підключений до ЛП, спочатку включається при значеннях  $T_{\text{пот}} < T - \Delta$ , вимикається при  $T_{\text{пот}} > T + \Delta$  і знову включається при  $T_{\text{пот}} < T - \Delta$ , здійснюючи тим самим двохпозиційне регулювання по уставці  $T$  з гістерезисом  $\pm \Delta$  ;

- **тип логіки 2** (зворотний гістерезис) застосовується у разі використання приладу для управління роботою охолоджувача (наприклад, вентилятора) або сигналізації про перевищення значення уставки. При цьому вихідний пристрій спочатку включається при значеннях  $T_{\text{пот}} > T + \Delta$ , вимикається при  $T_{\text{пот}} < T - \Delta$  ;

- **тип логіки 3** (П-подібна) застосовується при використанні приладу для сигналізації про вхід контрольованої величини в задані межі. При цьому вихідний пристрій включається при  $T - \Delta < T_{\text{пот}} < T + \Delta$  ;

- **тип логіки 4** (U-подібна) застосовується при використанні приладу для сигналізації про вихід контрольованої величини за задані межі. При цьому вихідний пристрій включається при  $T_{\text{пот}} < T - \Delta$  і  $T_{\text{пот}} > T + \Delta$ . Завдання уставки ( $T$ ) і гістерезису ( $\Delta$ ) проводиться при програмуванні параметрів регулювання приладу (див. далі).

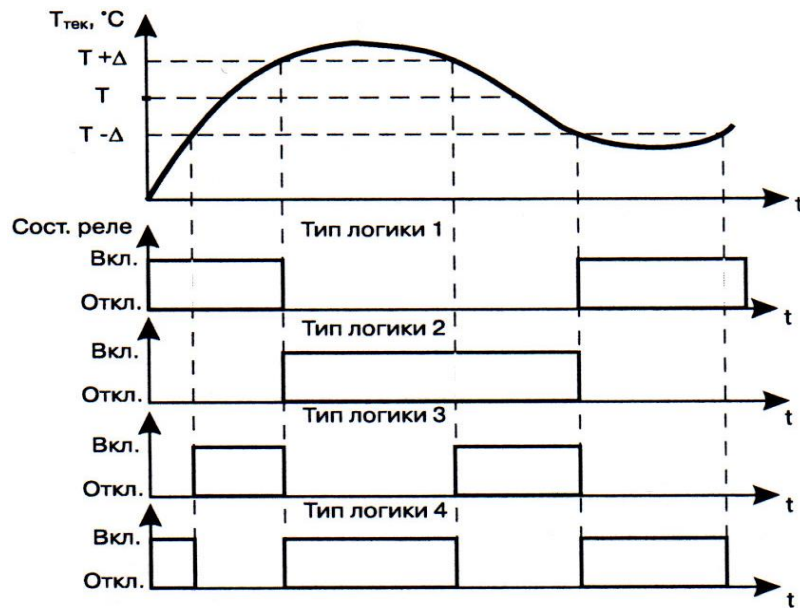


Рисунок 1.4 - Робота приладу в режимі “пристрій порівняння”

### Типи вихідних пристроїв

Виходи призначені для передачі вихідного управляючого сигналу на виконавчі механізми, або для передачі даних на реєструючий пристрій.

В даних приладах використовується дискретний вихід - електромагнітне реле з максимальний струм комутації 8 А при напрузі 220 В 50 Гц.

### Конструкція приладу

1. Прилад конструктивно виконаний у пластмасовому корпусі, призначеному для щитового, настінного кріплення або кріплення на DIN-рейку.

2. На рис. 1.5 наведено зовнішній вигляд лицьової панелі приладу ТРМ1.

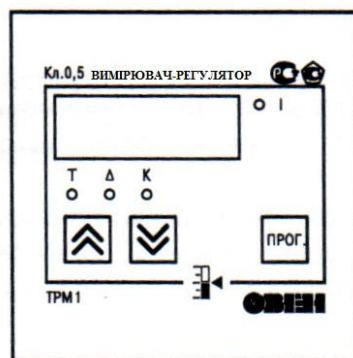


Рисунок 1.5 – Лицьова панель приладу ТРМ1

На лицьовій панелі розташовані елементи управління та індикації.

3. **Чотирирозрядний цифровий індикатор** в режимі РОБОТА відображає значення вимірюваної величини, а в режимі ПРОГРАМУВАННЯ

- значення програмованих параметрів приладу.

4. Чотири світлодіода червоного свічення сигналізують про різні режими роботи:

- **світлодіод “Г”** сигналізує про виведення на індикацію поточного вимірювання (безперервна засвічення) і про аварію по входу (миготлива засвічення);

- **світлодіоди “Т” і “Δ”** засвічуються в режимі УСТАНОВКА ПАРАМЕТРІВ і сигналізують про те, який параметр вибрано для встановлення: Т - значення уставки, Δ - значення гістерезису;

- **світлодіод “К”** сигналізує про включення вихідного пристрою.

5. **Кнопка “▲”** призначена: - для перегляду заданого значення уставки ЛП; - для вибору параметра і збільшення його значення.

6. **Кнопка “▼”** призначена: - для вибору параметра і зменшення його значення.

7. **Кнопка “ПРОГ”** призначена для входу в режим перегляду і установки робочих параметрів, а також для запису нових встановлених значень в енергонезалежну пам'ять приладу.

#### **Режими роботи приладу**

При експлуатації приладу його функціонування здійснюється в одному з режимів: РОБОТА або ПРОГРАМУВАННЯ.

#### **Режим РОБОТА**

1. Режим РОБОТА є основним експлуатаційним режимом, у який прилад автоматично входить при включенні напруги живлення. У даному режимі ТРМ1 проводить опитування вхідного датчика, обчислює за отриманими даними поточні значення вимірюваної величини, відображає їх на цифровому індикаторі і видає відповідний сигнал на вихідну пристрій.

2. У процесі роботи прилад контролює справність вхідного датчика і в разі виникнення аварії по входу прилад сигналізує про це миготінням світлодіода “Г” і виведенням на цифровий індикатор повідомлення у вигляді горизонтальних прочерків. Робота вихідного пристрою, при цьому блокується. Аварійна ситуація виникає також при виході вимірюваної величини за допустимий діапазон контролю.

Після усунення несправності робота приладу автоматично відновлюється.

3. У режимі РОБОТА прилад управляє зовнішніми виконавчими пристроями відповідно із заданим режимом роботи ЛП. Візуальний контроль за роботою вихідного пристрою дискретного типу може здійснюватися оператором по світлодіоду “К”, розташованому на передній панелі приладу. Свічення світлодіода сигналізує про переведення ЛП і пов'язаного з ним виходу в стан “ВКЛЮЧЕНО”, а погашення - в стан “ВІДКЛЮЧЕНО”.

У режимі РОБОТА можливий перегляд заданого значення уставки ЛП, шляхом натискання та утримання кнопки “▲”.

## **Режим ПРОГРАМУВАННЯ**

1. Режим ПРОГРАМУВАННЯ призначений для завдання й запису в енергонезалежну пам'ять приладу необхідних при експлуатації робочих параметрів вимірювання та регулювання.

Програмування приладу здійснюється кнопками, розташованими на передній панелі. Задані значення параметрів зберігаються в пам'яті приладу при вимиканні живлення.

При вході в режим ПРОГРАМУВАННЯ вихідний пристрій переводиться в стан, визначений у параметрі **b0\_5** (0 – “відключено”, 1 – “включено”). Якщо протягом 20 с в режимі ПРОГРАМУВАННЯ не проводиться операцій з кнопками, прилад автоматично повертається в режим РОБОТА.

2. У приладі встановлено два рівні програмування. На першому рівні здійснюється перегляд і зміна значень параметрів регулювання: уставки **T** і гістерезису **Δ**. Вхід на перший рівень програмування здійснюється короткочасним (близько 1с) натисканням на кнопку “ПРОГ”. Послідовність роботи з приладом на першому рівні програмування наведена в методичних вказівках до виконання лабораторної роботи (п.4.2).

Примітка: Якщо протягом 20 с в режимі ПРОГРАМУВАННЯ не проводяться операції з кнопками, прилад автоматично повертається в режим РОБОТА.

3. На другому рівні програмування здійснюється перегляд і необхідна зміна функціональних параметрів приладу. Функціональні параметри приладу розділені на групи **A** і **b**. У групі **A** знаходяться параметри, що визначають логіку роботи приладу. У групі **b** - параметри, що відповідають за налаштування вимірювальної частини приладу. Вхід на другий рівень програмування здійснюється натисканням і утриманням кнопки "ПРОГ" більше 6 с. Послідовності процедури програмування приладу на другому рівні для обох груп параметрів наведені в методиці виконання завдання лабораторної роботи (п.3).

### **1.5 Завдання та методика виконання лабораторної роботи**

1. Схема лабораторного стенда наведена на рис.1.6.

2. Ознайомитися з керівництвом щодо експлуатації приладу ТРМ1 та об'єктом контролю.

До першого (1) приладу ТРМ1 підключається термодетектор опору РК (це здійснюється включенням перемикача SA1 в положення 1), а до другого (2) приладу ТРМ1 підключена термопара ТЕ.

У вимкненому стані приладів ТРМ1 контакти 3 і 4 вмонтованого реле замкнуті, як це показано на схемі.

Напряга живлення на лабораторний стенд подається ввімкненням рубильника. При подачі напруги контакти 4 і 5 вмонтованого реле

приладів ТРМ1 замкнуться. На цифровому індикаторі приблизно на 3 секунди з'явиться код датчика, який установлений по мовчанню (залежить від модифікації), і засвітяться всі 4 світлодіоди, після чого прилад перейде в режим РОБОТА. При справності датчика і лінії зв'язку на цифровому індикаторі відобразиться значення вимірюваної величини (температури). Якщо після подачі живлення на індикаторі з'явилися прочерки або показання приладу не відповідають реальним значенням вимірюваної величини, то це свідчить про несправність датчика або лінії зв'язку, а також неправильність їх підключення (наприклад, встановлення перемикача SA1 в положення 2).

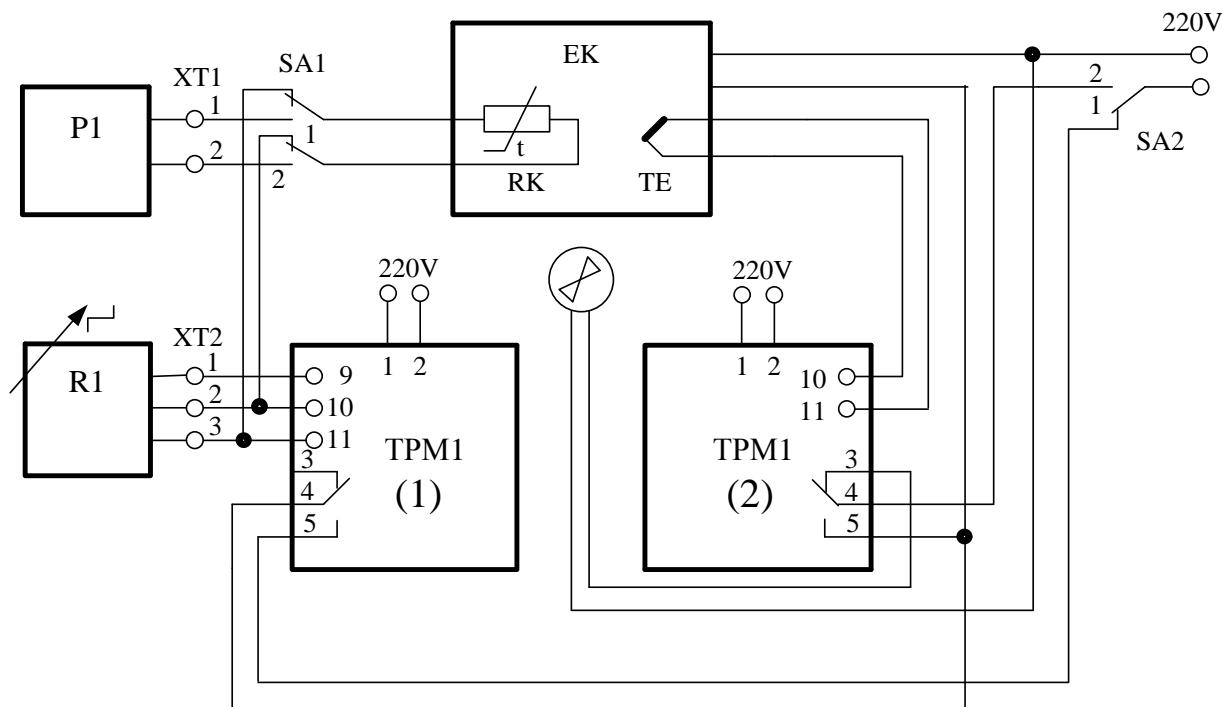


Рисунок 1.6 - Схема лабораторного стенда

P1 – мультиметр; R1 – магазин опорів; ЕК – нагрівальний елемент; РК – термоперетворювач опору; ТЕ – термопара; ТРМ1 – мікропроцесорний вимірювач-регулятор.

3. Дослідити систему автоматичного регулювання температури нагрівача за допомогою **першого** приладу **ТРМ1**, логічний пристрій ЛП якого працює в режимі „пристрій порівняння” згідно одного з 4-х типів логіки за вказівкою викладача, використовуючи трьохпровідну схему підключення **термоперетворювача опору**. Побудувати графік роботи.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань

Вар.01		Вар.02		Вар.03		Вар.04		Вар.05		Вар.06		Вар.07		Вар.08	
A1-1:01		A1-1:02		A1-1:03		A1-1:04		A1-1:01		A1-1:02		A1-1:03		A1-1:04	
T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ
25	0,5	30	0,6	35	0,7	40	0,8	45	0,9	50	1,0	55	1,1	60	1,2

A1-1 – режим роботи ЛП; 01 – тип логіки  
 T – установлена температура; Δ – гістерезис.

Для виконання п.3 натиснути кнопку “ПРОГ” на першому приладі ТРМ1. Натискання необхідно здійснювати короткочасно (близько 1с). При першому натисканні прилад переходить в режим установки значень параметра T (кнопками “▲” і “▼” – задається значення).

**Примітка:** Якщо кнопку “▲” або “▼” натиснути і не відпустити то значення встановлюються швидше.

При другому натисканні кнопки “ПРОГ” прилад переходить в режим установки значень гістерезиса Δ (кнопками “▲” і “▼” – задається значення).

При третьому натисканні кнопки “ПРОГ” прилад повертається в режим РОБОТА.

**Примітка:** Якщо протягом 20 с не проводяться операції з кнопками, прилад автоматично повертається в режим РОБОТА.

Установити перемикач SA2 в положення 1, що подасть напругу живлення на нагрівач, якщо його температура нижче уставки T.

Далі отримати поточні значення вимірюваної величини і візуально проконтролювати роботу вихідного пристрою по світлодіоду "K" на лицьовій панелі першого приладу ТРМ1.

4. Отримані значення п. 3 відкорегувати з метою усунення похибок, що вносяться опорами підвідних проводів та самим датчиком шляхом введення корегувальних значень. Побудувати графіки зсуву і зміни нахилу вимірювальної характеристики приладу на задану величину.

Таблиця 3.2 – Варіанти завдань

Вар.01		Вар.02		Вар.03		Вар.04		Вар.05		Вар.06		Вар.07		Вар.08	
b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2
-1,0	0,90	-2,0	0,91	-3,0	0,92	-4,0	0,94	1,0	0,96	2,0	0,98	3,0	1,0	4,0	1,1

b1-1 – корекція “зсув характеристики”

b1-2 – корекція “нахил характеристики”

Виконання п. 4. Для перегляду та зміни функціональних параметрів приладу необхідно натиснути і утримувати кнопку “ПРОГ” більше 6 с: на індикаторі з’являться риси. Після повторного натискання кнопки “ПРОГ” з’явиться буква “A”, що символізує групу параметрів A. За допомогою кнопки “▲” можна перейти в групу параметрів b і навпаки. Далі, подвійне натискання кнопки “ПРОГ” переводить логічний пристрій в режим: A1-1. Наступне натискання кнопки “ПРОГ” переводить у вибір логіки роботи пристрою порівняння кнопками “▲” і “▼”:

- 01 – прямий гістерезис (для нагрівання);

- **02** – зворотній гістерезис (для охолодження);
- **03** – П-зворотня характеристика;
- **04** – U-зворотня характеристика.

Відповідно кнопками “ПРОГ”, “▲” і “▼” здійснюється установка вимірювальної частини приладу:

- в параметрі **b0-1** задається код датчика:

- 00 – TCM 100M  $W_{100} = 1,426$  ;
- 01 – TCM 50M  $W_{100} = 1,426$  ;
- 02 – ТСП 100П  $W_{100} = 1,385$  ;
- 03 – ТСП 100П  $W_{100} = 1,391$  ;
- 04 – ТХК(L) ;
- 05 – ТХА(К) ;

- в параметрі **b1-1** здійснюється корекція «зсув характеристики» від -50 до +50 (сумується з вимірюваним значенням);

- в параметрі **b1-2** здійснюється корекція «нахил характеристики» від 0,9 до 1,1 (вимірюване значення множиться на заданий коефіцієнт).

**Примітка:** Якщо протягом 20 с не проводяться операції з кнопками, прилад автоматично повертається в режим РОБОТА.

Далі отримати поточні значення вимірюваної величини і візуально проконтролювати роботу вихідного пристрою. Побудувати графіки.

5. Дослідити систему автоматичного регулювання температури нагрівача за допомогою **другого (2)** приладу **TRM1**, логічний пристрій ЛП якого працює в режимі “пристрій порівняння” згідно типу логіки 1, використовуючи схему підключення **термопари**. Розрахувати абсолютну і відносну статистичну похибку вимірювання температури виключення і включення нагрівача.

Таблиця 1.2 – Варіанти завдань

Вар.01		Вар.02		Вар.03		Вар.04		Вар.05		Вар.06		Вар.07		Вар.08	
T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ
35	1	40	2	45	3	50	4	55	5	60	6	65	7	70	8

T – установлена температура; Δ – гістерезис

Виконання пункту 5. Подать напругу живлення на другий прилад TRM1. Далі установить перемикач **SA2** в положення **2**, що подасть напругу живлення на нагрівач, якщо його температура нижче уставки **T**.

Встановити логічний пристрій ЛП другого приладу TRM1 в режим “пристрій порівняння” згідно типу логіки 1.

В режимі ПРОГРАМУВАННЯ виконати установку значень параметрів регулювання: уставки **T** і гістерезису **Δ** згідно варіанту (див.табл.1.2).

Послідовно виміряти і записати п'ять температур виключення

(максимальне значення температури по індикатору другого приладу ТРМ1) і п'ять температур включення нагрівача (мінімальне значення температури по індикатору).

**Примітка:** При відключенні логічним пристроєм нагрівача автоматично включається вентилятор для його охолодження.

Виключити лабораторний стенд.

Розрахувати абсолютну і відносну статистичну похибку вимірювання температури виключення і включення нагрівача за наведеною методикою:

а) проводять **n вимірювань** фізичної величини  $x$ , внаслідок яких дістають ряд значень  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ;

б) обчислюють найбільш імовірне значення вимірюваної величини, яким є **середнє арифметичне** з результатів окремих вимірювань

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Середнє значення вимірюваної величини  $\bar{x}$  наближається до істинного  $x$  при дуже великому числі вимірювань. При кінцевому числі вимірювань  $n$  це виконується не точно, і результат вимірювань подається у вигляді **довірчого інтервалу**  $(\bar{x} - \Delta x) \leq x \leq (\bar{x} + \Delta x)$ , в якому буде знаходитися вимірювана величина  $x$  з ймовірністю  $p$ , що називається **довірчою ймовірністю**. Довірча ймовірність показує, яка частка вимірювань при великому їхньому числі потрапляє в довірчий інтервал;

в) знаходять відхилення результатів кожного вимірювання від середнього значення

$$\Delta x_1 = \bar{x} - x_1; \Delta x_2 = \bar{x} - x_2; \dots; \Delta x_n = \bar{x} - x_n.$$

Підносять кожне з них до квадрату і обчислюють суму квадратів відхилень від середнього

$$\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2 + \dots + (\Delta x_n)^2;$$

г) задаються довірчою ймовірністю вимірюваної величини  $p$ ;

д) за значеннями довірчої ймовірності  $p$  і числа вимірювань  $n$  з таблиць знаходять значення коефіцієнта Стюдента  $t_{p,n}$ . (Наприклад, при надійності  $p = 0,95$  і числі вимірювань  $n = 5$  дістанемо  $t_{p,n} = 2,77$ );

е) визначають **оцінку середнього квадратичного відхилення середнього арифметичного** за формулою

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}};$$

ж) визначають **абсолютну похибку** за формулою

$$\Delta x = t_{p,n} \cdot S.$$



Видно, що абсолютна похибка  $\Delta x$  (або довірчий інтервал) тим менше, чим менше коефіцієнт Стюдента, який, у свою чергу, можна зменшити збільшенням числа вимірювань  $n$ , завданням меншої довірчої ймовірності  $p$  чи зменшенням похибок окремих вимірювань.

Таблиця 1.3 – Значення коефіцієнта Стюдента  $t_{p,n}$

n	p = 0,9 90%	p = 0,95 95%	p = 0,99 99%
3	2,92	4,30	9,96
<b>5</b>	2,13	<b>2,77</b>	4,60
10	1,83	2,26	3,25

ж) розраховують **відносну похибку**, що характеризує точність вимірювань:

$$\delta = \frac{\Delta x}{\bar{x}}$$

и) **остаточний результат** подається у вигляді значень величин, що визначають довірчий інтервал і відносної похибки:

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x)_p; \quad \delta\% = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\%.$$

6. У вказаному діапазоні зміни температур (таблиця 1.4). зняти **градувальну характеристику термоперетворювача опору**. Розрахувати його характеристику градування для діапазону проведених вимірювань, використовуючи формулу (9).

Таблиця 1.4 – Варіанти завдань

Вар.01	Вар.02	Вар.03	Вар.04	Вар.05	Вар.06	Вар.07	Вар.08
t, °C	t, °C	t, °C	t, °C	t, °C	t, °C	t, °C	t, °C
30-80	35-85	40-90	45-95	50-100	55-105	60-110	65-115

30-80 – діапазон температур, °C

Побудувати графіки:

- реальної градувальної характеристики;
- розрахункової градувальної характеристики у вказаному діапазоні вимірювання (точки наносити через кожні 5 °C);
- зробити висновки.

Для виконання пункту 6 установить перемикач **SA1** в положення **2**, що переключить термоперетворювач опору від першого приладу ТРМ1 до мультиметра.

Мультиметр включити в режим “вимірювання опору” і підключити до лабораторного стенда.

В режимі ПРОГРАМУВАННЯ виконати установку на другому приладі ТРМ1 значення уставки  $T$  відповідно кінцевому значенню діапазону температур згідно варіанту (див.табл.1.4. Наприклад, для першого варіанту  $T = 80$ ) і гістерезису  $\Delta$  рівного 1. Перевести другий прилад ТРМ1 в режим РОБОТА.

Далі, провести вимірювання опору термоперетворювача з кроком 5 градусів в межах вказаного діапазону). На кожному кроці записувати одночасно значення температури по індикатору другого приладу ТРМ1 і опору по мультиметру.

Виключити лабораторний стенд.

Побудувати графіки:

а) реальної градуовальної характеристики термоперетворювача опору в координатах ( $t, ^\circ\text{C} - R, \text{Om}$ ) у вказаному діапазоні зміни температур (точки наносити через кожні  $5 ^\circ\text{C}$ );

б) розрахункової градуовальної характеристики у вказаному діапазоні вимірювання, використовуючи формулу

$$R_n = R_{0n} * (1 + \alpha * t + \beta * t^2),$$

де  $\alpha = +3.968 * 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ;  $\beta = -5.847 * 10^{-7} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ;

в) зробити висновки.

### Контрольні питання

1. Які існують методи вимірювання температури?
2. Які відомі температурні шкали і який між ними зв'язок?
3. Термометри розширення. Принцип дій, призначення, переваги і недоліки?
4. Манометричні термометри. Принцип дій, призначення, переваги і недоліки?
5. Термометри опору. Принцип дій, призначення, переваги і недоліки?
6. Термоелектричні термометри. Принцип дій, призначення, переваги і недоліки?
7. Пірометри Принцип дій, призначення, переваги і недоліки?
8. Розкрити суть роботи системи автоматичного регулювання температури.
9. Навести приклад системи автоматичного регулювання (САР) температури.

## Лабораторна робота №10

### 1 ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ТА МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ВАЛУ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

**Мета роботи** – вивчення основних принципів роботи частотно-регульованого електроприводу, визначення швидкості обертання з використанням елементів промислової автоматики, визначення основних параметрів асинхронного двигуна змінного струму.

#### Короткі теоретичні відомості

Однією з найбільш характерних рис розвитку сучасною автоматизованого електроприводу є перехід від систем регульованого електроприводу на базі двигунів постійного струму до регульованих електроприводів змінного струму, серед яких переважно розповсюджені:

- асинхронний частотно-регульований привід на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором і напівпровідникового перетворювача частоти (ПЧ) інвертованого типу;
- синхронний регульований привід на базі вентильного двигуна, синхронної машини зі збудженням від постійних магнітів або з електромагнітним збудженням (для більш потужних приводів), з електронним комутатором і датчиком положення роторі.

Перша система електроприводу більш універсальна і знаходить застосування практично в усіх областях. Друга застосовується головним чином у двох випадках: для прецизійних електроприводів, що працюють в режимі позиціонування, при якому здійснюється управління процесом відпрацювання заданого положення робочого органу, і для високошвидкісних електроприводів, в тому числі великої потужності. Доцільність використання вентильних двигунів для систем позиціонування обумовлена їх високою перевантажувальною здатністю, що забезпечує хорошу динаміку процесу управління. Для високошвидкісних механізмів (понад 3000 об/хв) вона обумовлена конструктивними особливостями синхронних машин, які можуть бути виконані на великі частоти обертання. В інших випадках найчастіше перевагу надають частотно-регульованим асинхронним приводам, які зайняли провідні позиції в автоматизації виробництва за такими міркуваннями:

- плавному і економічному регулюванню швидкості в широкому діапазоні;
- високій точності підтримки швидкості;
- легкості перелаштування параметрів під конкретні умови експлуатації;

- значному зниженню шуму і вібрації двигуна;
- хорошій електромагнітній сумісності.

### **1.1 Типи перетворювачів частоти**

В електроприводах змінного струму знаходять застосування перетворювачі частоти наступних типів:

- перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму н автономним інвертором напруги (АІН) або струму (АІС);
- перетворювачі з безпосереднім зв'язком з мережею - безпосередні перетворювачі частоти (БПЧ).

Автономні інвертори дозволяють регулювати частоту вихідної напруги як вверх, так і вниз від номінального значення частоти мережі. У БПЧ частота регулюється тільки вниз від номіналу.

Перетворювачі частоти з АІН. У таких перетворювачах напруга мережі спочатку випрямляється, а потім інвертується в змінну напругу необхідної частоти, тобто відбувається двоступеневе перетворення енергії за схемою змінний струм - постійний струм - змінний струм. Перетворювач частоти являє собою комбінацію випрямляча і автономного інвертора з проміжною ланкою постійного струму.

На практиці знайшли застосування два основних структурних варіанти перетворювачів частоти з АІН, які відрізняються методом регулювання напруги:

- 1) амплітудне регулювання напруги за допомогою керованого випрямляча (рис. 1.1, а);
- 2) широтно-імпульсна модуляція, здійснювана в АІН, який в цьому випадку виконує функції регулятора напруги і частоти (рис. 1.1, б).

При амплітудному регулюванні напруги перетворювач частоти складається з керованого випрямляча, фільтру і автономного інвертора (регулювання напруги і частоти здійснюється окремо). Керований випрямляч в приводі з частотним керуванням працює точно так само, як і в приводі постійного струму.

Автономний інвертор являє собою реверсивний перемикач, формуючий періодичні прямокутні різнополярні імпульси, апроксимуючі синусоїду напруги з випрямленої напруги.

За другим варіантом структури перетворювач частоти з АІН здійснюється формування вихідної напруги за методом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) напруги в самому інверторі (рис. 1.2). При цьому інвертор не тільки змінює частоту вихідного напруги, але і регулює його середнє значення, що дозволяє відмовитися від регульованого випрямляча в колі постійного струму і використовувати більш простий нерегульований діодний випрямляч.

Принцип дії інвертора з ШІМ - ілюструє рис.1.2. Період синусоїдного сигналу розбивається на велику кількість (не менше 24) малих інтервалів

тривалістю  $\Delta t$ . На кожному інтервалі створюються два різнополярних імпульсу тривалістю  $\Delta t_1$  і  $\Delta t_2$ .

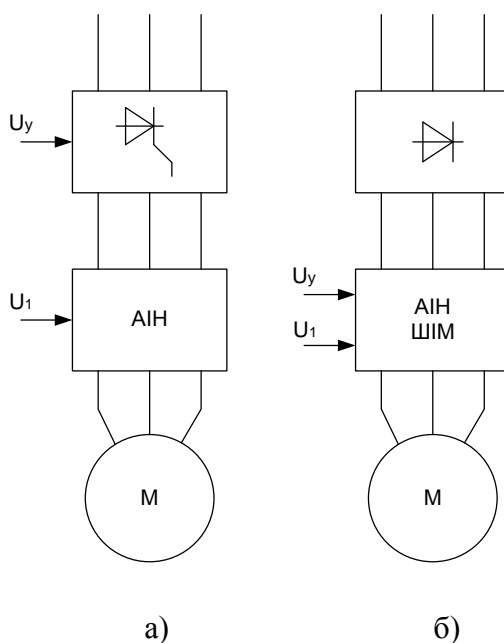


Рисунок 1.1 – Перетворювачі частоти з АІН

Якщо тривалість позитивного і негативного імпульсів однакова, то середнє значення напруги на інтервалі  $\Delta t_1$  рівне нулю. В іншому випадку отримують позитивну або негативну вихідну напругу.

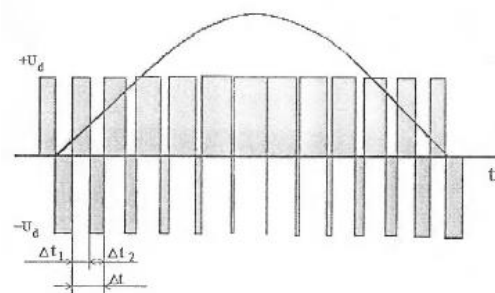


Рисунок 1.2 – Вихідна напруга інвертора з ШІМ

Вибір закону керування  $U/f$  робить вирішальний вплив на характеристики, і потужності електродвигуна. Більшість сучасних ПЧ дозволяють задавати необхідну залежність вихідної напруги від частоти в аналітичній або табличній формі з наступною лінійною інтерполяцією в реальному часі. Найбільш часто використовуються залежності, наведені на рис. 1.3:

- лінійна, для моменту навантаження, не залежного від швидкості (крива 1);
- квадратична, для навантаження типу вентиляторної (крива 2).

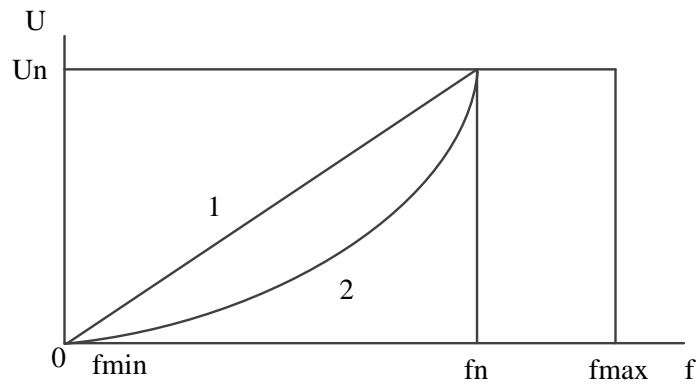


Рисунок 1.3 – Залежності закону керування

$U_n$  - номінальна напруга двигуна;

$f_{min}$  - попередньо обрана мінімальна частота яку ПЧ виробляє у включеному стані навіть при відсутності вхідного сигналу задає сигнал;

$f_n$ - номінальна (базова) частота двигуна (точка зламу характеристики), при якій вихідна напруга ПЧ досягає свого максимального значення;

$f_{max}$  - попередньо обрана максимальна частота, яку ПЧ виробляє при максимальному значенні керуючого сигналу, рівного зазвичай 10В або 20мА.

Всі ключові точки характеристик ( $U_n$ ,  $f_{min}$ ,  $f_n$ , и  $f_{max}$ ) можна змінювати програмним шляхом.

Механічні характеристики для розглянутих законів регулювання з постійним моментом  $M_c = const$  і моментом, що залежать від швидкості,  $m_c = var$  представлені відповідно на рис. 1.4,а і 1.4, б.

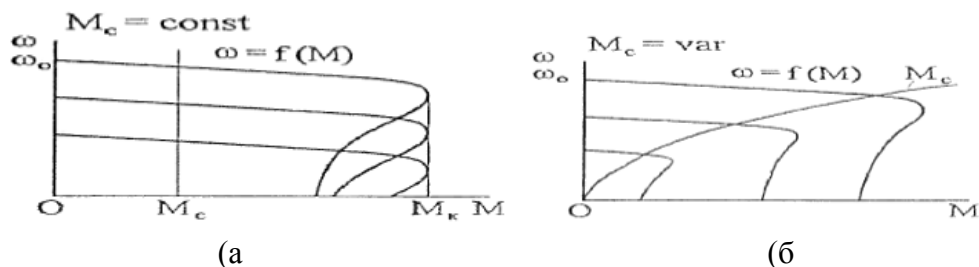


Рисунок 1.4 – Механічні характеристики

ПЧ надає дві можливості управління двигуном вище його номінальної частоти:

- 1) з постійною (номінальною) напругою на статорі;
- 2) з напругою, збільшується пропорційно частоти.

При першому способі (рис. 1.5) Нижче частоти  $f_n$  двигуна розвиває постійні момент ( $U/f = const$ ). Збільшення вихідної частоти вище  $f_n$  відбувається при постійній напрузі, тобто це область управління двигуном шляхом ослаблення поля, коли зі збільшенням швидкості розвиваючий ним момент падає. При другому способі (рис. 1.6) область роботи з постійним

моментом  $U/f = \text{const}$  розширюється, наприклад до 87Гц ( $50\text{Гц} \cdot \sqrt{3}$ ) при з'єднанні обмоток статора за схемою трикутника.

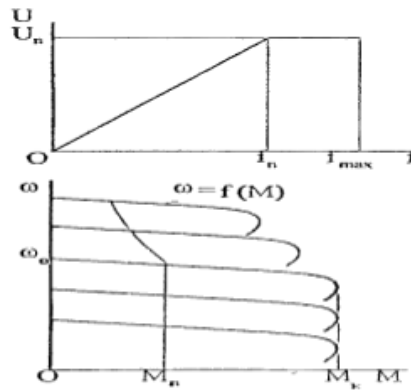


Рисунок 1.5 – Регулювання кутової швидкості більшої за номінальну (перший спосіб)

Тоді на частоті 50Гц напруга (220в) і намагнічування двигуна будуть номінальними. На частотах вище 50 Гц двигун буде працювати в режимі перенавантаження. Завдяки цьому потужність двигуна на частоті 87Гц збільшується в  $\sqrt{3}$  разів у порівнянні з номінальною.

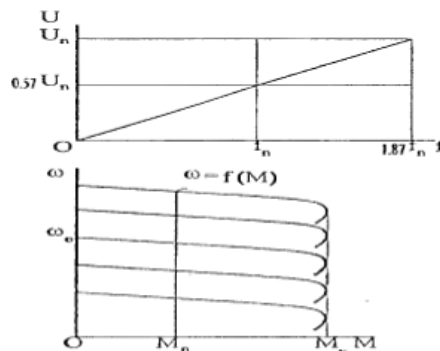


Рисунок 1.6 – Регулювання кутової швидкості більшої за номінальну (другий спосіб)

## 1.2 Перетворювач частоти серії 8200 Vector 0,25 кВт

Частотні перетворювачі спроектовані для роботи в електричних установках і машинах. Призначені для використання в промислових і професійних цілях, відповідно до En610000332. Використовуються для управління різними приводами з асинхронними стандартними моторами, колекторними двигунами і сервомоторами з асинхронною сіткою, що гасить, і замкнутим або розімкненим зворотним зв'язком, установки в промисловий процес, складки з іншими компонентами для створення процесу.

Призначення контактів модуля введення/виведення Standard та типова схема підключення модуля управління до частотного перетворювача зображено на рис. 1.7. Лабораторний стенд зібрано саме за типовою схемою включення частотного перетворювача.

Всі можливі налаштування на роботу частотного перетворювача можна змінити з допомогою меню користувача доступ до якого можна отримати використовуючи панель управління.

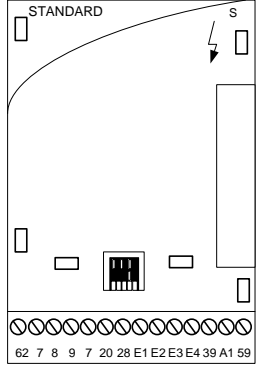
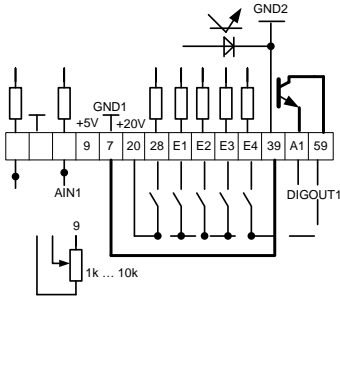
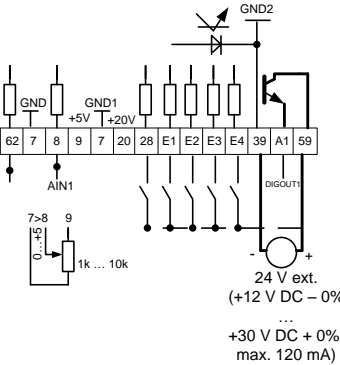
Стандартний модуль введення/виведення	Живлення через внутрішнє джерело X3/20 (+20V DC, макс. 40mA)	Живлення через зовнішнє джерело +24 20V DC (+12V DC – 0%...+30 V DC + 0%, макс. 120mA)
		
- мінімальні вимоги до з'єднання для роботи		

Рисунок 1.7 - Призначення контактів модуля введення/виведення Standard

	<table border="1"> <tr> <td>A</td> <td>Функціональні кнопки</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Дисплей стану</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Дисплей діаграм</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Стовпчик функцій 1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Стовпчик функцій 2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Набір активних параметрів</td> <td rowspan="4">Значення може бути змінене, якщо воно мигає</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Номер коду</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>Номер елемента коду</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>Значення параметра</td> </tr> </table>	A	Функціональні кнопки		B	Дисплей стану		C	Дисплей діаграм		D	Стовпчик функцій 1		E	Стовпчик функцій 2		F	Набір активних параметрів	Значення може бути змінене, якщо воно мигає	G	Номер коду	H	Номер елемента коду	I	Значення параметра	
A	Функціональні кнопки																									
B	Дисплей стану																									
C	Дисплей діаграм																									
D	Стовпчик функцій 1																									
E	Стовпчик функцій 2																									
F	Набір активних параметрів	Значення може бути змінене, якщо воно мигає																								
G	Номер коду																									
H	Номер елемента коду																									
I	Значення параметра																									

Всі органи управління та їх функціональні можливості зведено до таблиці 1.1.










Частотний перетворювач може бути налаштований установкою параметрів. Можливі налаштування для функцій написані в кодах, коди пронумеровані і починаються з літри «С». Таблиця кодів має короткий огляд всіх кодів, які показані у зростаючому порядку.

Кожен код містить параметри, необхідні для налаштування і оптимізації двигуна. Для полегшення налаштування перетворювача деякі коди мають додаткові елементи, що містять параметри.

Основні параметри, які необхідні для роботи частотного перетворювача зведені до таблиці 1.2.



Таблиця 1.1 - Швидке встановлення за допомогою меню користувача

Дія	Клавіші	Результат	Примітки	Приклад	
1	Підключення клавіатури	<b>DISP</b> XX.XX Hz	Функція активна <b>DISP</b> . Показаний перший код в меню користувача (C00517/1, значення по замовчуванню: C0050 = вихідна частота)		
2	Заборона управління приводом	<b>STOP</b> <b>RDY</b> <b>IMP</b>	Тільки для переносу параметрів настройок (C0002)		
3	Установка параметрів	 <b>Code</b>			
4		 XXXX	Вибір коду	<b>0012</b>	
5		 <b>SubCode</b> 001	Для кодів без підкодів: перехід до <b>Para</b> (крок 7).		
6		 XXX	Вибір підкоду		
7		 <b>Para</b>		<b>5.00c</b>	
8		 XXXXX	Установка параметрів	<b>1.00c</b>	
9		<b>ENTER</b> <b>STOre</b>	Підтвердження введення параметра якщо  мигає		
			Підтвердження введення параметра якщо  не мигає; <b>ENTER</b> не активний		
10			Для введення інших параметрів почніть з кроку 3		

Таблиця 1.2 - Коды показані в порядку зростання

Код		Можливі налаштування		Важливе
№	Назва	Заводські	Вибір	
C0001 ←	Вибір уставки (режим роботи)	0	0 установка через AIN1 X3/8	При C001 = 0 ... 3 управління завжди можливо через контакти управління або ПК / пульт C0001 = 3 уставки через модуль підключений до AIF, у протилежному
			1 установка через пульт чи модуль підключений до AIF	
			2 установка через AIN1 X3/8	
			3 установка через модуль підключений до AIF	

				випадку установка не сприймається	
C0005 ←	Конфігурація аналогових вхідних сигналів	0	0 робота керована через X3/8 чи X3/1U, X3/1I	Зміна C0005 копіюється в параметр s0412. Вільна конфігурація C0412 скидає C0005 в значення 255.	
			1 робота керована через X3/8 з сумуванням установки через частотний вхід X3/E1		
			2 робота керована через частотний вхід X3/ E1 з сумуванням установки через X3/8		
			3 робота керована через частотний вхід X3/ E1 з обмеженням моменту обертання через X3/8		
			4 установка моменту обертання через X3/8 з обмеженням швидкості в C0011		Активне тільки при C0014 = 5 (момент ний режим)
			5 установка моменту обертання через X3/8 з обмеженням швидкості через частотний вхід X3/E1		
			6 робота керована: установка через X3/8 з дискретною ОС по швидкості через X3/E1		
			7 робота керована: установка через частотний вхід X3/E1 з аналоговою ОС через X3/8		
			200 всі аналогові і дискретні вхідні сигнали йдуть із модуля зв'язку PROFIBUS FIF		Встановлює C0410/x в 200 і C0412/x в 200
			255 Вільна конфігурація в C0412		Тільки показ
C0007 ←	Фіксована конфігурація цифрових входів	0	E4   E3   E2   E1	CW - обертання за годинниковою стрілкою CCW -	
			0		CW/CCW DCB JOG2/3 JOG1/3
			1		CW/CCW RAR

			JOG2/3 JOG1/3	обертання проти годинникової стрілки
		2	CW/CCW QSP JOG2/3 JOG1/3	CW/CCW =
		3	CW/CCW RAR DCB JOG1/3	реверс DCB -
		4	CW/CCW QSP RAR JOG1/3	гальмування постійним струмом
		5	CW/CCW DCB TRIP JOG1/3 уставка	QSP = Швидкий стоп PAR =
		6	CW/CCW RAR TRIP JOG1/3 уставка	параметр налаштування (PAR1 PAR2)
		7	CW/CCW RAR DCB TRIP уставка	PAR1 = низький рівень, PAR2 =
		8	CW/CCW QSP RAR TRIP уставка	високий рівень - Термінал повинен бути заданий
		9	CW/CCW QSP TRIP JOG1/3 уставка	у функції "PAR" в PAR1і PAR2
		10	CW/CCW TRIP вверх вниз уставка	- Конфігурація з "PAR" можлива тільки якщо C0988 = 0
		11	CW/CCW DCB вверх вниз	TRIP уставка =
		12	CW/CCW RAR вверх вниз	зовнішня помилка
		13	CW/CCW QSP вверх вниз	JOG1/3, JOG2/3 = вибір
		14	CCW/ CW/ DCB JOG1/3 QSP QSP	фіксованих швидкостей JOG1: JOG1/3 = високий, JOG2/3
		15	CCW/ CW/ RAR JOG1/3 QSP QSP	= низький
		16	CCW/ CW/ JOG2/3 JOG1/3	JOG2: JOG1/3 = низький,

			QSP	QSP	JOG2/3
17			CCW/ RAR JOG1/3 QSP	CW/  QSP	=  високий JOG3: JOG1/3 = високий, JOG2/3
18			CCW/ RAR JOG1/3 QSP	CW/  QSP	=  високий
19			CCW/ DCB JOG1/3 QSP	CW/  QSP	Вгору/вниз = мотор - потенціометр H/Re - ручний/видален ий
20			CCW/ TRIP QSP уставка	CW/ JOG1/3 QSP	PCTRL1 – I - OFF - вимикання
21			CCW/ верх QSP	CW/ вниз QSP	інтегральної складової контролера
22			CCW/ верх QSP	CW/ JOG1/3 QSP	DFIN1 – ON - частотний вхід 0 .. 10кГц
23			H/Re CW/CCW вниз	верх	
24			H/Re верх	RAR вниз	
25			H/Re верх	DCB вниз	
26			H/Re верх	JOG1/3 вниз	
27			H/Re верх	TRIP вниз уставка	
28			JOG2/3 PCTRL1- DFIN1-ON	JOG1/3	
				I-OFF	
29			JOG2/3 PCTRL1- DFIN1-ON	DCB	
				I-OFF	
30			JOG2/3 PCTRL1- DFIN1-ON	QSP	
				I-OFF	

			31	DCB QSP PCTRL1- DFIN1-ON  I-OFF	
			32	TRIP QSP PCTRL1- DFIN1-ON уставка I-OFF	
			33	QSP RAR PCTRL1- DFIN1-ON  I-OFF	
			34	CW/QSP CW/ PCTRL1- DFIN1-ON  QSP I-OFF	
			35	JOG2/3 JOG1/3 RAR DFIN1- ON	
			36	DCB QSP RAR DFIN1- ON	
			37	JOG1/3 QSP RAR DFIN1- ON	
			38	JOG1/3 RAR TRIP DFIN1- ON  уставка	
			39	JOG2/3 JOG1/3 TRIP DFIN1- ON  уставка	
			40	JOG1/3 QSP TRIP DFIN1- ON  уставка	
			41	JOG1/3 DCB TRIP DFIN1- ON  уставка	
			42	QSP DCB	

				TRIP DFIN1-ON уставка	
			43	CW/CCW QSP TRIP DFIN1-ON уставка	
			44	верх вниз RAR DFIN1-ON	
			45	CW/CCW QSP RAR DFIN1-ON	
			46	H/Re RAR QSP JOG1/3	
			47	CW/QSP CW/ H/Re JOG1/3 QSP	
			48	PCTRL1- DCB PCTRL1- DFIN1-ON I-OFF I-OFF	
			49	PCTRL1- JOG1/3 QSP DFIN1-ON I-OFF	
			50	PCTRL1- JOG1/3 PCTRL1- DFIN1- I-OFF I-OFF ON	
			51	DCB RAR PCTRL1- DFIN1-ON I-OFF	
			255	Вільна конфігурація в кодї C0410	Тільки показ
C0010	Мінімальна вихідна частота	0.00	0.00 650.00 <b>14.5</b>	(Гц)	C0010 не ефективно з біполярним пристроєм
C0011	Максимальна	50.00	7.50	(Гц)	

	вихідна частота		650.00 87	вибору (- 10В ... +10 В) C0010 не ефективно на AIN2 <b>Вибір діапазону швидкостей 1:6 для мотор - редукторів Lenze:</b> Установка абсолютно потрібна для роботи з мотор -редукторів Lenze
C0012	Час розгону головне налаштування	5.00		Частота змінюється 0Гц...C0011
C0013	Час гальмування головне налаштування	5.00		Частота змінюється C0011...0Гц
C0014 ←┘	Режим управління	2	2 V/f – лінійна характеристика управління $V \sim f$ 3 V/f – квадратична характеристика управління $V \sim f^2$	Характеристика з постійною додатковою напругою $V_{\min}$
			4 Векторне управління 5 Управління моментом з обмеженням швидкості без сенсора - установка моменту в C0412/6 - обмеження швидкості в установці 1 (NSET1-N1), при C0412/1 заданому.	
C0018 ←┘	Несуча частота	2	0 2 кГц	
			1 4 кГц	
			2 8 кГц	
			3 16 кГц	
C0037	JOG1	20.00	-650 (Гц) 650.00	JOG = установки
C0038	JOG2	30.00	-650 (Гц)	Додаткові JOG

			650.00	C0440
C0039	JOG3	40.00	-650 (Гц) 650.00	
C0040* ↙	Заборона управління		0 Перетворювач заблокований (CINH)	Дозволено лише при X3/8 = HIGH
			1 Перетворювач розблокований (CINH)	
C0070	Коефіцієнт підсилення регулятора процесу	1,00	0,00 (0,01%) 300,00	0,00 – пропорційна складова виключена
C0071	Час інтегрування регулятора процесу	100	10 (1) 9999	9999 – інтегральна складова виключена
C0072	Час диференціювання регулятора процесу	0,0	0,0 (0,1) 5,0	0,0 – диференційна складова виключена
C0074	Вплив регулятора процесу	0,0	0,00 (0,1%) 300,00	
C0084	Опір статора двигуна	0.000	0.000 (0.001Ом) 64.000	
C0087	Нормальна швидкість двигуна	1390	300 (об/хв) 16000	
C0088	Нормальний струм двигуна		0,0 (0,1А) 480,0	в залежності від перетворювача 0.0...2.0 номінальних струму перетворювача
C0090	Нормальна напруга двигуна		50 (1В) 500	в залежності від перетворювача
C0091	cos двигуна		0,4 (0,1) 1,0	в залежності від перетворювача
C0092	Індуктивність статора двигуна	0.0	0.0 (0,1мГн) 2000.0	

### 1.3 Універсальний програмований лічильник імпульсів СІ8

Універсальний програмований восьмирозрядний лічильник імпульсів СІ8 призначений для лічби:

- кількості поступаючі на його входи імпульсів як в прямому, так і в



зворотному напрямку та переведення його у фізичну величину (шляхом множення на заданий множник);

- частоти і тривалості імпульсів, що подаються на його входи;
- часу напрацювання устаткування;
- середньої і сумарної витрати рідини (спільно з імпульсними чи частотними датчиками).

Прилад має два вбудовані входні пристрої ключового типу для ввімкнення-вимкнення зовнішнього технологічного обладнання при досягненні заданих уставок.

Функціональна схема приладу наведена на рис. 1.8. Прилад має три входи для підключення зовнішніх керуючих сигналів, які через селектор входів подаються на входи блока обробки даних.

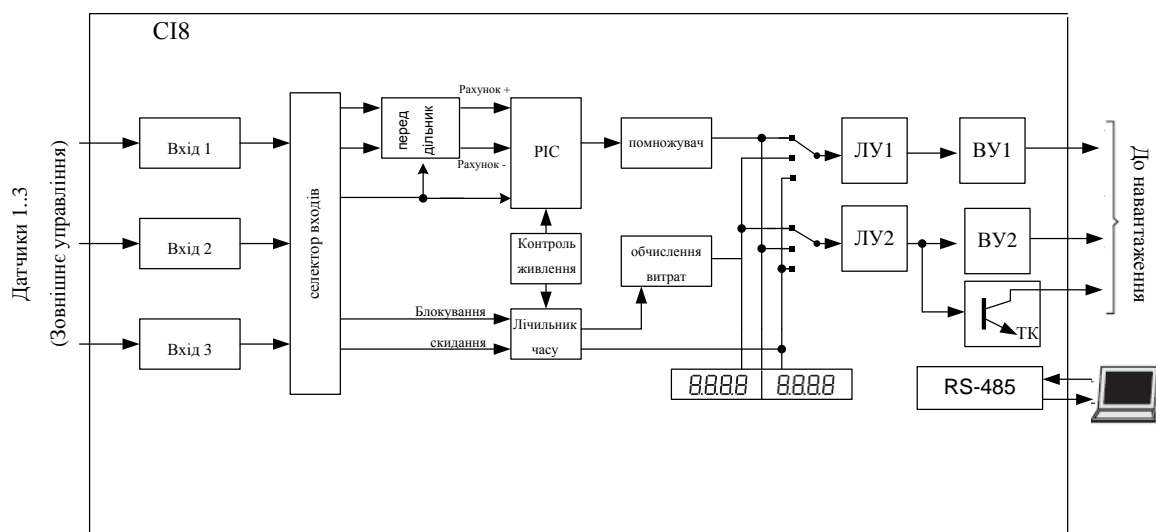


Рисунок 1. 8 – Функціональна схема лічильника CI8

Прилад конструктивно виконаний у пластмасовому корпусі, призначеному для щитового або настінного кріплення.

На рис. 1.9 наведено зовнішній вигляд лицьової панелі приладу.

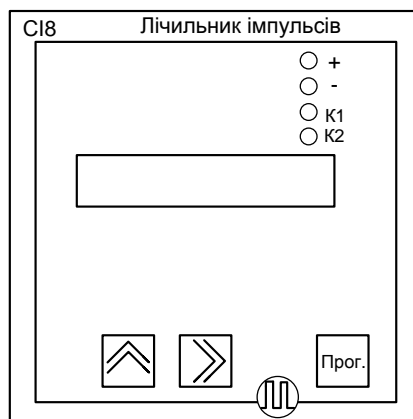




Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд лицьової панелі приладу


Восьмирозрядний цифровий індикатор служить для відображення відлічуваного значення або функціональних параметрів приладу. Чотири світлодіода червоного свічення сигналізують про направлення лічби та стану вихідних пристроїв:

- «+» - Напрям лічби - прямий;
- « - » - Напрям лічби - зворотній;
- «K1» - включено перший вихідний пристрій;
- «K2» - включено другий вихідний пристрій.

Кнопка  призначена для входу в режим перегляду і установки робочих параметрів, для переходу до установки значення параметра після його вибору, а також для запису нового встановленого значення в енергонезалежну пам'ять і виходу в режим РОБОТА.

Кнопка  призначена:

- в режимі РОБОТА – для перегляду значення першого тіньового джерела при її утриманні;
- в режимі ПРОГРАМУВАННЯ – для вибору параметра зі списку, зміни знака числа або його значення.

Кнопка  призначена:

- в режимі РОБОТА – для перегляду значення другого тіньового джерела при її утриманні;
- в режимі ПРОГРАМУВАННЯ – для переходу до параметра, який виконує повернення до "Меню груп параметрів" або режим РОБОТА, або до встановлення положення коми при завданні значення множника або вибору розряду при встановленні значення параметра.

При експлуатації приладу його функціонування здійснюється в одному з режимів: РОБОТА або ПРОГРАМУВАННЯ.

### **Програмування**

Режим ПРОГРАМУВАННЯ призначений для зміни та запису в енергонезалежну пам'ять приладу необхідних при експлуатації робочих параметрів.

Задані значення зберігаються при вимиканні живлення в незалежній пам'яті приладу.

Програмовані параметри розділені на групи відповідно до їх призначення. Перелік параметрів і їх опис наведено у Додатку В.



У кожній групі параметрів є параметри **SEc** і **out**.

Параметр **Sec** призначений для установки захисту від несанкціонованої зміни значень параметрів. При **SEc** = 1 вхід в режим ПРОГРАМУВАННЯ можливий тільки через відповідний даній групі код. При наборі неправильного коду можливий лише перегляд раніше

встановлених значень. При  $SEc = 0$  дозволяється зміна параметрів без набору коду.

Доступ до параметра **SEc** незалежно від його значення можливий тільки при вході в групу через код.

Параметр **out** служить для виходу з групи в меню верхнього рівня.

Вибір потрібного параметра всередині групи здійснюється кнопкою , перехід до параметра **out** здійснюється кнопкою .


Вихід на індикатор поточного значення обраного параметра проводиться натисненням кнопки .



**Меню верхнього рівня** містить список назв груп параметрів:


"GrouP\_A", "GrouP\_b", "GrouP\_C", "GrouP\_d", "GrouP\_E",




а також назви операцій:

- Скидання лічильника імпульсів **c\_rES**
- Обнулення лічильника часу **t\_rES**.

Для входу в меню верхнього рівня з режиму РОБОТА натисніть і утримуйте кнопку  до появи на цифровому індикаторі **c\_rES** (рис. 1.10).

Користуючись кнопкою , виберіть назву потрібної групи параметрів, або операції. Параметр **out** служить для виходу з меню назад в режим РОБОТА. Натискання кнопки  дозволяє перейти до параметра **out** з будь-якої точки меню.

Натисніть кнопку . Якщо був обраний **out**, прилад повернеться в режим РОБОТА. У іншому випадку на цифровому індикаторі з'явиться запрошення набрати код доступу "Pln\_0000".

Встановіть, якщо потрібно, відповідний код та натисніть кнопку . При встановленні коду вибір розряду виконується кнопкою , а установка його значення кнопкою .

Група "**GrouP\_A**" (рис. 1.11) містить уставки логічних пристроїв **U1**, **U2(t1)** **U1**, **U2(t1)**, **U3**, і **U4(t2)**. Положення десяткового дробу в параметрах **U1**, **U2**, **U3** і **U4** визначається його положенням у параметрі F.

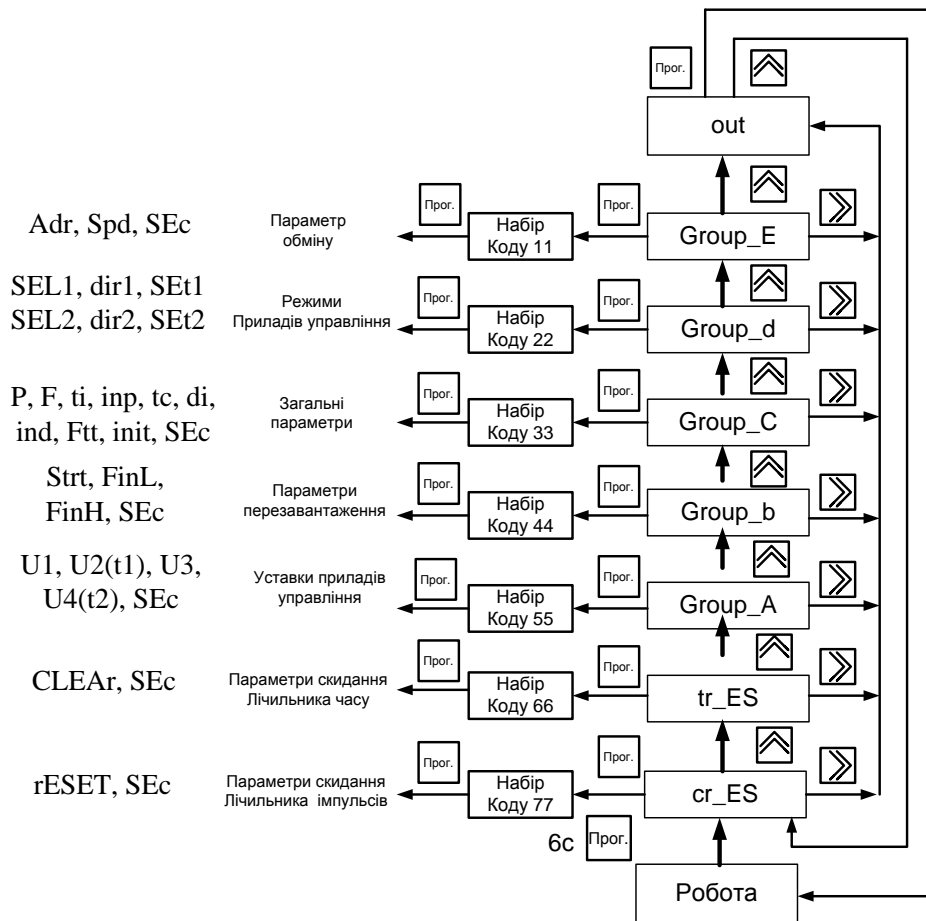


Рисунок 1.10 – Меню верхнього рівня

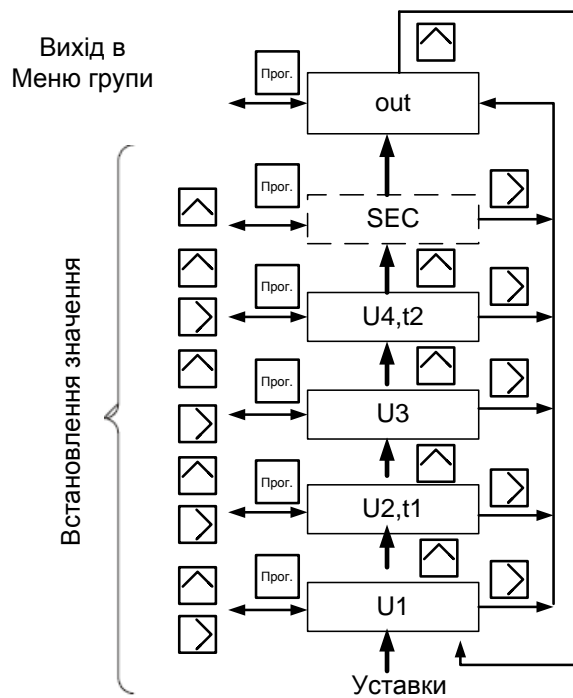






Рисунок 1.11 – Група "GroupP\_A"




Встановіть потрібне значення параметрів **U1**, **U2**, **U3** і **U4**.

Для цього:

- Кнопкою  встановіть знак уставки (при позитивному значенні розряд погашений, при негативному – блимає знак "-");
- Потім кнопкою  виберіть розряд, в якому буде виконуватися установка значення; (Обраний розряд при цьому мигає).
- Кнопкою  встановіть його значення;
- Натисніть на кнопку  для повернення до меню групи.

Якщо ЛП замість **U2** і **U4** використовують параметри **t1** і **t2**, встановіть їх значення в діапазоні від 1 до 99 сек.

Для цього:

- Кнопкою  виберіть розряд для установки;
- Кнопкою  встановіть його значення;
- Натисніть на кнопку  для повернення до меню групи.

Група "**Group\_b**" (рис. 1.11) містить параметри **FinL**, **FinH**, що задають межі рахунку та значення **Strt**, що завантажується в лічильник імпульсів для досягнення цих меж. Положення десяткової крапки в цих параметрах визначається її положенням у параметрі **F**. Встановіть потрібне значення параметрів **FinL**, **FinH** і **Strt**.

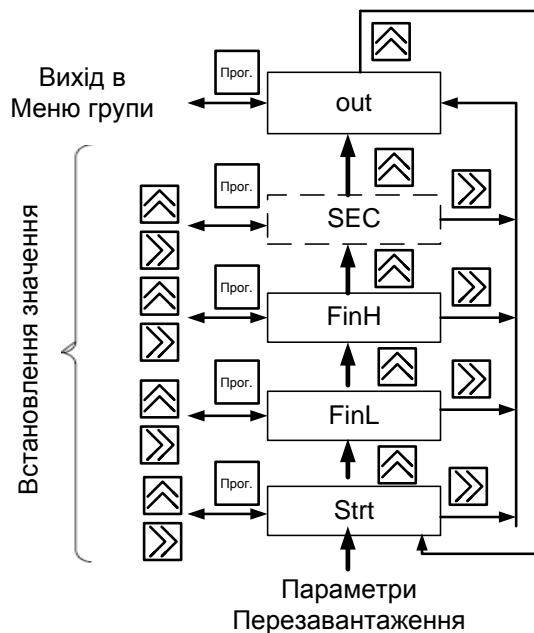







Рисунок 1.12 – Група "GroupP\_B"

Для цього:

- Кнопкою  встановить знак параметра (при позитивному значенні розряд погашений, при негативному блимає знак "-");
- Кнопкою  виберіть розряд у якому буде виконуватися установка значення;
- Кнопкою  встановить його значення;
- Натисніть на кнопку , щоб повернутися в меню групи.

При установці параметра **Strt** кнопка  служить не тільки для вибору розряду, а й для встановлення значення **oFF**.

Група "**GrouP\_C**" (рис. 1.12) містить параметри, **inP** і **tc**, що визначають режим роботи вхідного комутатора коефіцієнти попереднього подільника **P** і помножувача **F**, час вимірювання **ti** і початковий зсув **di** для витратоміра, а також режими роботи лічильника часу **Ftt**, індикації **ind** і скидання лічильника імпульсів при подачі живлення на прилад **init**.

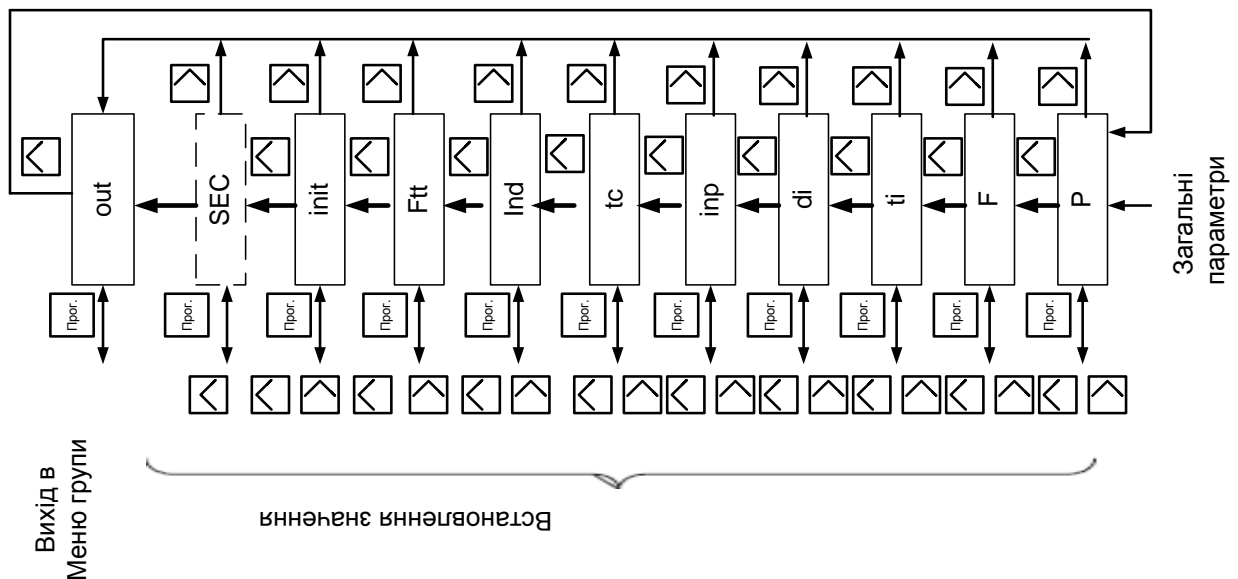







Рисунок 1.13 – Група "GroupP\_C"


Встановить значення коефіцієнта предделителя **P**.

Для цього:


- Кнопкою  виберіть розряд у якому буде виконуватися установка значення;
- Кнопкою  встановить його значення;


- Натисніть на кнопку , щоб повернутися в меню групи. Встановіть значення коефіцієнта помножувача F. Для цього:


- Кнопкою  встановіть положення коми і натисніть на кнопку  для переходу до порозрядного встановлення значення;

- Кнопкою  виберіть розряд у якому буде виконуватися установка значення;

- Кнопкою  встановіть значення в розряді;


- Натисніть на кнопку , щоб повернутися в меню групи. Встановіть значення часу вимірювання витрати – ті. Для цього:


- Кнопкою  виберіть розряд у якому буде виконуватися установка значення;

- Кнопкою  встановіть його значення;

- Натисніть на кнопку , щоб повернутися в меню групи.

Встановіть значення початкового зсуву для витратоміра **di**:

- Кнопкою  встановіть знак зсуву (при позитивному значенні розряд погашений, при негативному блимає знак "-");

- Кнопкою  виберіть розряд, в якому буде виконуватися установка значення;


- Кнопкою  встановіть його значення;

- Натисніть на кнопку , щоб повернутися в меню групи.

Встановіть значення параметрів **inP**, **ind** і **Ftt**, **Init**.

Для цього:

- Кнопкою  встановіть потрібне значення;

- Натисніть на кнопку , щоб повернутися в меню групи.

Група "**GrouP\_d**" (рис. 1.13) містить параметри **SEL1** і **SEL2**, які задають вхідну величину відповідно для ЛП1 і ЛП2, параметри **SEt1** і **SEt2**, що визначають логіку їх роботи і параметри **dir1**, **dir2**, що визначають

напрямок лічби при якому повинні спрацьовувати вихідні пристрої.

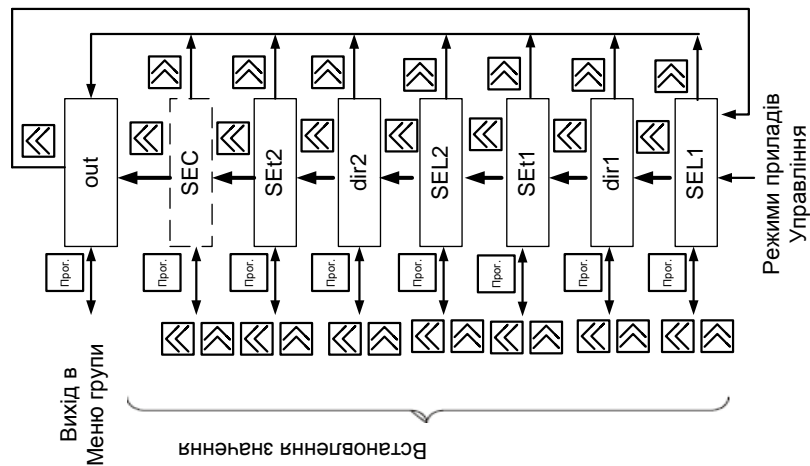




Рисунок 1.14 – Група "GroupP\_d"

Встановіть значення параметрів **SEL1**, **dir1**, **SEt1**, **SEL2**, **dir2** і **SEt2**.

Для цього:

- Кнопкою  встановіть потрібне значення;
- Натисніть на кнопку , щоб повернутися в меню групи.

Група "**GroupP\_E**" (рис. 1.14) призначена для завдання адреси пристрою в мережі **Adr**, його розрядності **ALEn**, швидкості обміну **SPd** і формату посилки **For** за наявності в пристрої інтерфейсу зв'язку RS-485.

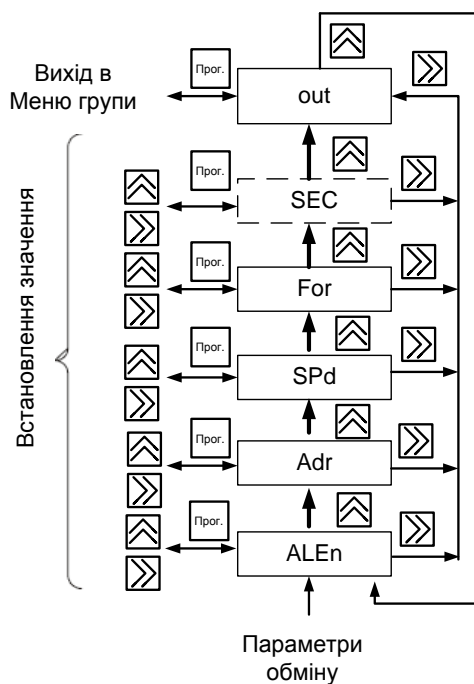



Рисунок 1.15 – Група "GroupP\_E"




Встановіть значення параметра **ALen**.


Для цього:

- кнопкою  встановіть потрібне значення;
- натисніть на кнопку, щоб повернутися в меню групи.

Встановіть значення параметра **Adr**.



Для цього:

- кнопкою  виберіть розряд, в якому буде виконуватися установка значення;

- кнопкою  встановіть його значення;
- натисніть на кнопку, щоб повернутися в меню групи.



Встановіть значення параметра **SPd**.

Для цього:

- кнопкою  встановіть потрібне значення;
- натисніть на кнопку , щоб повернутися в меню групи.

Встановіть значення параметра **For**.

Для цього:

- Кнопкою  виберіть потрібний формат;
- Натисніть на кнопку , щоб повернутися в меню групи.

Група **c\_rES** (рис. 1.15) призначена для установки в початковий стан лічильника імпульсів (попередній подільник при цьому обнуляється).

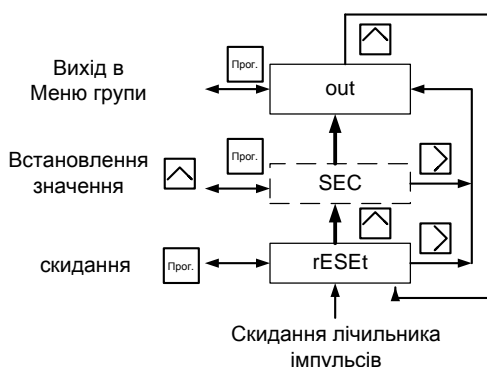



Рисунок 1.15 – Група "c\_rES"

При вході до групи з'являється параметр **rESet**. Для установки лічильника у початковий стан потрібно натиснути на кнопку  .

Виконання процесу супроводжується послідовним засвіченням точок на індикаторі.

Якщо встановлено захист від несанкціонованого скидання (параметр  $SEc = 1$ ), то доступ до параметра **rESet** дозволяється тільки після набору коду. У іншому випадку на індикаторі з'явиться параметр **out**, який буде єдиним у групі.

Група "**t\_rES**" (рис. 1.16) призначена для обнулення лічильника часу, наприклад у випадку використання приладу в якості лічильника напрацювання.

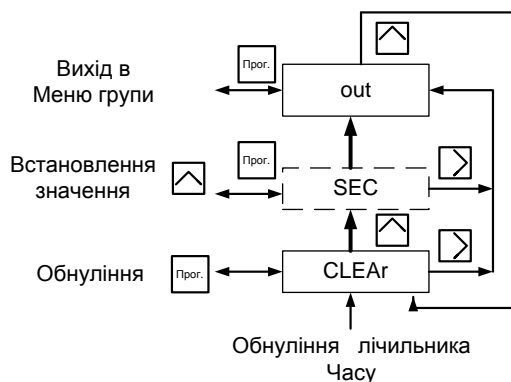


Рисунок 1.16 – Група "t\_rES"

При вході до групи з'являється параметр **CLEAR**. Для обнулення лічильника потрібно натиснути на кнопку **Прог**. Виконання процесу супроводжується послідовним засвіченням точок на індикаторі.

Якщо встановлено захист від несанкціонованого скидання (параметр  $SEc = 1$ ), то доступ до параметра **CLEAR** дозволяється тільки після набору коду. У іншому випадку на індикаторі з'явиться параметр **out**, який буде єдиним у групі.

## 1. Порядок виконання роботи

1.1 Перед початком виконання лабораторної роботи приведіть всі пристрої, що розташовані на лабораторному стенді в початковий стан. Для цього, якщо на лабораторний стенд подається напруга живлення, від'єднайте лабораторний стенд від мережі живлення. Приведіть всі перемикачі модуля керування частотним перетворювачем в положення «ВИКЛ.» (в нижнє положення). Ручку регулятора швидкості обертання переведіть в крайнє ліве положення. Переконайтеся в тому, що осцилограф підключений до виходу індуктивного сенсору.

1.2 Під'єднайте лабораторний стенд до джерела напруги ввімкнувши автоматичний вимикач (переведіть ручку автоматичного вимикача в верхнє положення). Переконайтеся в тому, що частотний перетворювач та лічильник імпульсів функціонують нормально. На індикаторі частотного

перетворювача повинно з'явитись меню основних функцій, де в області відображення станів з'явиться дві піктограми **RDY** (готовий) та **IMP** (заблокований). Це означатиме, що частотний перетворювач готовий до роботи, але вихід перетворювача заблокований. На індикаторі лічильника імпульсів повинен відобразитися нуль.

1.3 Для виконання роботи переконайтесь, що в меню частотного перетворювача в стовбці функцій 1, при виборі функції **Disp** відображається номер коду 0052. При цьому значення параметру має бути 0 V. Якщо номер коду, що відображається не відповідає значенню зазначеному вище, користуючись керівництвом користувача частотних перетворювачів серії 8200 Vector встановіть потрібне значення коду параметра для відображення.

1.4 Для виконання роботи переконайтесь, що в якості джерела, що постійно буде відображатись на індикаторі лічильника імпульсів вибраний витратомір. Для цього необхідно впевнитись, що параметр **Ind** лічильника дорівнює 2. Також, для коректної роботи лабораторного стенду параметри **F**, **P** та **ti** повинні дорівнювати 1. Якщо всі зазначені параметри лічильника імпульсів встановлено вірно на індикаторі буде відобразитись частота імпульсів, що надходить на вхід лічильника.

1.5 Переконайтесь, що ручка керування швидкістю обертання знаходиться в крайньому лівому положенні та розблокуйте частотний перетворювач. Для цього перемикач «ВКЛ./ВИКЛ.» блоку керування переведіть в верхнє положення після чого піктограма **IMP** в області відображення станів зникне. Це означатиме, що вихід частотного перетворювача розблокований, а перетворювач готовий до роботи. Покрутивши ручку регулятора швидкості обертання переконайтесь в тому, що двигун реагує на зміну положення ручки регулювання зміною швидкості обертання.

1.6 Ввімкніть осцилограф. Переконайтесь, що при не нульовій швидкості обертання на виході індуктивного сенсора присутні імпульси прямокутної форми, частота повторення яких пропорційна швидкості обертання. Також при не нульовій швидкості обертання на індикаторі лічильника імпульсів повинно відобразитись значення, що також пропорційне швидкості обертання.

1.7 Встановіть регулятор швидкості обертання в крайнє ліве положення.

1.8 Зчитайте з індикатора частотного-перетворювача значення напруги на обмотках двигуна. Зчитайте з індикатора лічильника імпульсів значення частоти імпульсів, що надходять з виходу індуктивного сенсора. Визначте по показам осцилографа період слідування імпульсів з виходу індуктивного сенсора. Розрахуйте значення швидкості обертання зпираючись на значення лічильника імпульсів та показів осцилографа

1.9 Змініть положення ручки регулятора швидкості обертання в бік збільшення швидкості.

1.10 Повторюючи пункти 1.8–1.10, виконайте приблизно 15 вимірювань до того моменту коли регулятор швидкості обертання досягне крайнього правого положення.

1.11 Результати вимірювань занесіть до таблиці 1.3.

1.12 Розрахуйте окремо значення швидкості обертання спираючись на показання лічильника імпульсів та осцилографа.

1.13 Приймаючи швидкість обертання, що визначена за показаннями лічильника імпульсів за дійсне значення розрахуйте абсолютну та відносну похибку вимірювання.

Таблиця 1.3 – Результати експериментальних досліджень та розрахунків

№ досл.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U, В$															
$f, Гц$															
$n, об./хв.$ (ліч.)															
$T, мс$															
$n, об./хв.$ (осц.)															
$\Delta, об./хв.$															
$\delta, \%$															

1.14 Побудуйте характеристику частотно-регульованого приводу  $U = f(xв.^{-1})$  та визначте графічно номінальне значення швидкості обертання двигуна.

1.15 Порівняйте експериментальне значення номінальної швидкості обертання двигуна з номінальною швидкістю обертання, яка зазначена в паспортних даних.

### Контрольні питання

1. Які є типи перетворювачів частоти та які з них застосовують на практиці?
2. Охарактеризуйте принцип дії інвертора з широтно-імпульсною модуляцією.
3. Параметри **sec** і **out**. Охарактеризуйте призначення кожного з них.
4. Дайте визначення поняття «автономний інвертор».
5. Охарактеризуйте перетворювач частоти серії 8200 vector 0,25 квт.
6. Для чого призначений універсальний програмований восьмирозрядний лічильник імпульсів сі8?
7. Які існують групи параметрів?
8. Призначення групи "t\_res".

## Лабораторна робота № 11

### 1 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗИСТИВНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

**Мета** – ознайомитися із будовою і принципом дії резистивних перетворювачів та їх метрологічними показниками.

#### Теоретичні відомості

Досить великим класом вимірювальних перетворювачів є резистивні перетворювачі, принцип дії яких заснований на перетворенні значення вимірюваної величини в зміну опору. Останнє може бути викликано різними ефектами в перетворюючому елементі, наприклад нагріванням або охолодженням, механічною напругою, дією світлового потоку (як у фотопровідних перетворювачах), зволоженням, осушенням, механічним переміщенням контактної щітки реостата.

Якщо через резистивний матеріал під час зміни вимірюваної величини протікає фіксований струм, то результатом буде зміна напруги уздовж матеріалу, яка відбиває зміну вимірюваної величини.

Одним із варіантів резистивного перетворювача є перетворювач потенціометричного типу, в якому зміна вимірюваної величини перетвориться в зміну відношення напруги унаслідок зміни положення контактної щітки на резистивному матеріалі, що живиться від зовнішнього джерела (рис.1.1). Певний механічний елемент перетворить зміну вимірювальної величини в переміщення щітки.

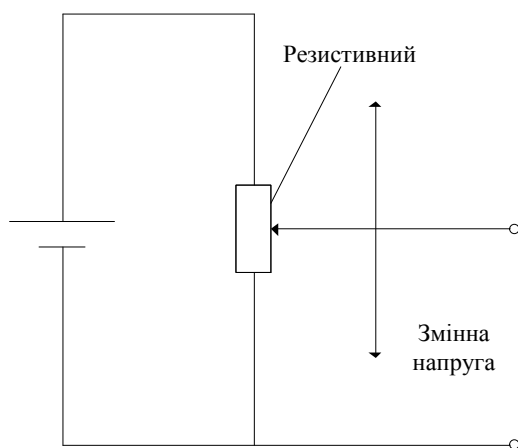


Рисунок 1.1 – Потенціометр

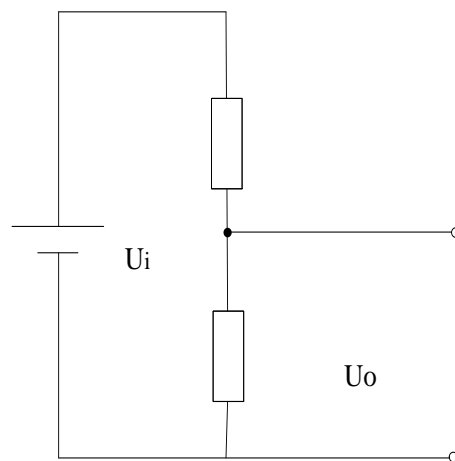


Рисунок 1.2 – Еквівалентна електрична схема

Потенціометр, зображений на рис.1.1, можна представити у вигляді еквівалентної електричної схеми, як це зроблено на рис. 1.2, його вихідна напруга визначається виразом:

$$U_0 = \frac{U_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad (1.1)$$

де  $U_0$  - напруга на вході;

Коли прикладена на вхід приладу напруга є постійною і вимірюване значення визначається положенням потенціометра, тоді вихідна напруга є безпосередньо функція вимірюваної величини.

У перетворювачах можуть використовуватись потенціометричні пристрої (з одним або декількома опорами в схемі) або вони самі є потенціометром. У останньому випадку потенціометричний елемент буде змінним. Деякі перетворювачі мають недротяні опори, такі, як металокерамічна підкладка або провідна пластикова плівка. Зустрічаються потенціометри, в яких повний діапазон щітки рівний  $270^\circ$ , тоді як інші конструкції мають діапазон в 10 чи 20 повних оборотів ( $3600$  або  $7200^\circ$ ).

Основною метрологічною характеристикою таких перетворювачів є статична характеристика перетворення (градуирована характеристика)  $R=f(x)$ , рис.1.3, лінія 1.

При лінійній залежності цю функцію можна представити у вигляді

$$R = R_0 + k_0 x, \quad (1.2)$$

де  $R_0$  - початкове зміщення, що визначає адитивну похибку;

$k_0 = dR/dx$  – коефіцієнт пропорційності між зміщенням  $x$  контактної щітки і змінної опору.

Відхилення  $\Delta k$  реального коефіцієнта  $k_p$  від номінального значення  $k_0$

$$\Delta k = k_p - k_0. \quad (1.3)$$

Приведе до появи мультиплікативної похибки  $\Delta R_M$ .

Таким чином при лінійному перетворенні адитивна  $\Delta R_A$  і мультиплікативна  $\Delta R_M$  похибки визначаються за такими формулами:

$$\begin{aligned} \Delta R_A &= R_0, \\ \Delta R_M &= R_y - R_x = \Delta k \cdot R_x, \end{aligned}$$

де  $R_x$  - істинне значення опору при зміщенні  $x$ ;

$R_y$  - виміряне значення опору.

Для електромеханічних перетворювачів, які працюють в діапазоні зміни вхідних величин  $x_0 \dots x_k$  важко забезпечити лінійність перетворення (1.2)  $x \rightarrow R$  в кожній точці діапазону  $x$ , тому в процесі вимірювань виникають варіації відхилень функції перетворення від лінійної для різних точок діапазону  $x$ .

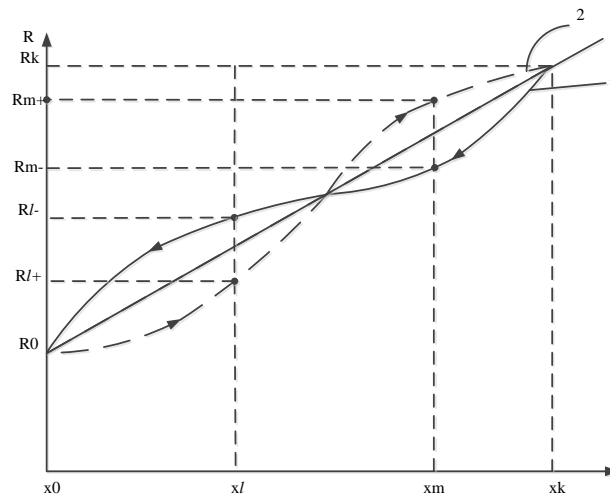


Рисунок 1.3 – Градуировані криві резистивного перетворювача: 1 – з лінійним перетворенням; 2, 3 – з нелінійним перетворенням і варіацією показників при зміні приросту

Такі варіації можна визначити для кожної точки перетворення  $x_1 \rightarrow R_1$ .

$$\Delta R_1 = R_y - R_{x_l}.$$

В загальному випадку ці похибки відрізняються в різних точках діапазону  $\Delta R_m \neq \Delta R_l$ .

І характеризуються похибкою не лінійності  $\delta_H$

$$\delta_H = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (R_{y_i} - R_{x_i})^2} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n \Delta R_1^2} \quad (1.6)$$

Слід відмітити, що за рахунок механічної недосконалості конструкції резистивного перетворювача: мертвий хід, люфт, ковзання та інше, варіації (5) залежить не тільки від положення контактної щітки, а і від напрямку підходу до точки вимірювань, криві 2 і 3 рис. 1.3.

$$R_{m+} \neq R_{m-}; \quad R_{l+} \neq R_{l-}; \quad (1.7)$$

Тому для визначення результату спостережень  $R_y$  в точках перетворення, наприклад  $x_l$  і  $x_m$ , необхідно визначити середнє значення  $R_y$  в цих точках

$$R_{ym} = R_m = |R_{m+} - R_{m-}| / 2,$$

$$R_{yl} = R_l = |R_{l+} - R_{l-}| / 2. \quad (1.8)$$

Таким чином, при наявності не лінійності і варіацій при зміні напрямку підходу, рівняння перетворення (1.2) можна представити у вигляді

$$R = R_0 + [(R_k - R_0)/(x_k - x_0)] \cdot x, \quad (1.9)$$

Де індекси «к» і «0» визначають початкові і кінцеві значення опору і зміщення.

## 1.2 Програма експериментальних досліджень

1.2.1 Скласти вимірювальну схему прямого перетворення кут оберту/опір,  $\alpha^0/R$  рис.1.4.

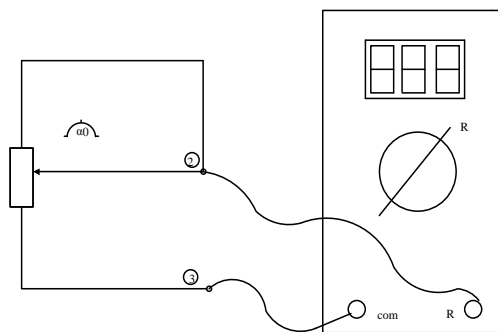


Рисунок 1.4 – Вимірювальна схема прямого перетворення кут оберту/опір

1.2.2 Змінюючи значення кута  $\alpha$  на  $15^\circ \dots 20^\circ$ , по показам цифрового приладу визначити значення опору  $R(\alpha)$ , при підході знизу (зростанні  $\alpha$ ) і зверху (спаданні  $\alpha$ ).

1.2.3 Скласти вимірювальну схему для резистивного перетворювача потенціометричного типу, рис.1.5.

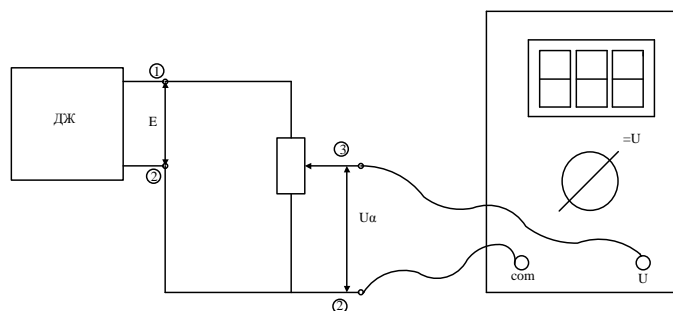


Рисунок 1.5 – Вимірювальна схема резистивного перетворювача потенціометричного типу

1.2.4 Встановити фіксоване значення напруги живлення  $E$  в межах (5...10) В.

1.2.5 При зміні кута обертання через  $15^\circ \dots 20^\circ$  визначити значення напруги  $U_+(\alpha)$  при зростанні кута і значення напруги  $U_-(\alpha)$  - при спаданні.



1.2.6 Для визначення випадкової складової  $\delta_k$  провести 15...20 спостережень  $U_i(\alpha)$  при оцінці фіксованого значення  $\alpha_0$ , що відповідає середині діапазону  $\alpha_0 = 180^\circ$  в режимі потенціометричного перетворювача.

### 1.3 Обробка результатів експериментальних досліджень

1.3.1 Побудувати на одному графіку залежності  $R_+(\alpha)$  і  $R_-(\alpha)$ , що отримані в п.1.2.2.

1.3.2 Згідно (1.8) визначити середнє значення  $R(\alpha)$  в кожній з точок діапазону спостережень.

1.3.3 Апроксимувати отриману залежність прямою лінією  $R_0(\alpha)$  відповідно до рівняння (1.9) і визначити максимальне відхилення  $R_{\max}(\alpha)$  за формулою:

$$R_{\max}(\alpha) = \text{Extr}|R(\alpha) - R_0(\alpha)| \quad (1.10)$$

І згідно (1.6) визначити похибку не лінійності.

1.3.4 Анологічно пунктам 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3 визначити залежність  $U_0(\alpha)$  і максимальне відхилення і похибку не лінійності.

1.3.5 По результатам спостережень (п.2.6) визначити середнє значення  $\bar{U}(\alpha_0)$  та його СКВ  $\delta_v$ , а також довірчий інтервал похибки  $\Delta_R$  при довірчій імовірності  $P=0.95$ , вважаючи що вона розподілена за нормальним законом розподілу.

1.3.6 Визначити коефіцієнти  $C_R$  і  $d_R$ ,  $C_U$  і  $d_U$ , які враховують адитивну і мультиплікативні похибки  $\Delta_a$  і  $\Delta_m$ , згідно виразу:

$$\alpha = C \pm d \left( \frac{\alpha}{\alpha_k} - 1 \right), \quad (11)$$

де  $\alpha$  - значення кута, отримано при перетворенні в точці діапазону;  
 $\alpha_k$  - кінцеве (нормуюче) значення кута.

### Контрольні запитання

1. Які основні області застосування резистивних перетворювачів?
2. Які основні типи резистивних перетворювачів?
3. Назвіть основні джерела похибок при перетворенні кут/опір та кут/напруга.
5. Чим обумовлена похибка не лінійності і як вона називається?
6. Як пов'язані адитивна і мультиплікативні похибки з конструкцією резистивного перетворювача?
7. Назвіть основні етапи визначення випадкової складової вимірювань кута при потенціометричному перетворенні.
8. До якого закону розподілу наближується експериментальний закон розподілу випадкової похибки перетворення кут/напруга?

## Лабораторна робота №12

### 1 ПОВІРКА ЛІЧИЛЬНИКА ВОДИ

**Мета роботи** – вивчення методів та засобів вимірювання витрат рідких та газових речовин. Методика повірки лічильника води.

#### Теоретичні відомості

##### 1. Класифікація приладів вимірювання витрат

Витратоміри, які застосовуються для вимірювання витрати рідин і газів, діляться на такі типи:

- тахометричні лічильники, що працюють за принципом вимірювання частоти обертання частин приладу, що знаходиться у вимірюваному середовищі,

- витратоміри постійного перепаду тиску, які вимірюють робочим тілом (поплавцем) гідродинамічний тиск середовища,

- витратоміри змінного перепаду тиску, що вимірюють перепад тиску на пристроях, які встановлені в вимірювальному потоці,

- індукційні витратоміри, що працюють на принципі вимірювання електрорушійної сили (е.р.с.), індукованої у магнітному полі при протіканні потоку рідини,

- ультразвукові витратоміри, що працюють на принципі вимірювання швидкості поширення ультразвуку у вимірювальному потоці.

- вібраційні витратоміри, що призначені для вимірювання масової витрати нафтогазової суміші.

- об'ємні витратоміри, принципом роботи яких заснований на відмірюванні певного об'єму речовини, який проходить через прилад і підсумовування результатів цього вимірювання.

- міткові витратоміри, принцип роботи яких базується на вимірі часу переміщення якоїсь характерної частини (мітки) потоку на контрольній ділянці шляху.

- теплові витратоміри, принцип дії яких заснований на нагріванні потоку речовини і вимірюванні різниці температур до і після нагрівача або на вимірюванні температури нагрітого тіла, яке поміщене в потік .

- трубки Піто, вимірюють динамічний тиск потоку рідини чи газу.

Крім даних типів витратомірів впроваджуються нові типи витратомірів: масові турбовитратоміри і витратоміри, які працюють на принципі ядерно-магнітного резонансу.

Класифікація методів вимірювання витратомірів представлена в додатку А.

## 1.1 Тахометричні лічильники

Тахометричними називаються витратоміри і лічильники, що мають рухливий, зазвичай обертальний елемент, швидкість руху якого пропорційна об'ємній витраті.

Принцип дії тахометричні витратоміра заснована на вимірюванні швидкості обертання або підрахунку оборотів вміщеній в потік крильчатки або турбіни. Різниця між тим і іншим рухомим елементом полягає в тому, що вісь обертання крильчатки розташована перпендикулярно, а турбіни - паралельно напрямку руху потоку. Всі тахометричні витратоміри (лічильники) є незалежними.

При вимірюванні швидкості руху рухомого елемента отримуємо витратомір, а вимірюючи загальне число його оборотів - лічильник. Найбільшого поширення набули лічильники води і газу, так як для цього треба лише з'єднати вал турбіни або іншого перетворювача витрати через зубчастий редуктор з розрахунковим механізмом.

Для створення тахометричного витратоміра швидкість руху елемента попередньо перетворюють у сигнал, пропорційний витраті і зручний для вимірювання, для чого необхідний двоступінчастий перетворювач витрат:

1. перший ступінь - турбінка (кулька або інший елемент), швидкість руху якої пропорційна об'ємній витраті;
2. другий ступінь - тахометричний перетворювач, який виробляє вимірювальний сигнал (частоту електричних імпульсів), пропорційний швидкості руху тіла.

Тахометричні витратоміри ще не отримали такого широкого розповсюдження, як лічильники кількості рідини і газу. Їх суттєвими перевагами є: швидкодія, висока точність і великий діапазон вимірювання.

Турбінні прилади найчастіше застосовуються для вимірювання витрати та кількості води, різних нафтопродуктів і інших рідин. Основним недоліком турбінних витратомірів є зношування опор, внаслідок чого вони непридатні для речовин, що містять механічні домішки. Крім того, вони не застосовні для дуже в'язких речовин, оскільки із збільшенням в'язкості речовини діапазон їх лінійної характеристики зменшується. Турбіни більш придатні для рідин, ніж для газів, завдяки своїй здатності, що змазує.

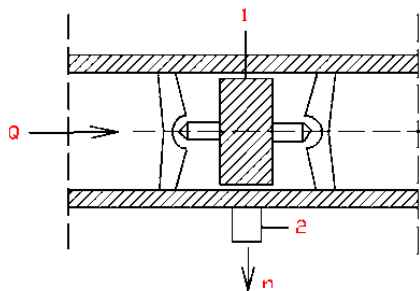


Рисунок 1.1 – Принципова схема турбінного тахометричного витратоміра  
(1 -турбіна; 2-тахометр)

Тахометричні витратоміри без рухомого розділового елемента найбільш точні. Їх застосовують тільки для вимірювання невеликих витрат при обмеженому тиску вимірюваної рідини.

Витратоміри цієї групи мають такі різновиди: роторні, поршневі, дискові, з овальними шестернями, лопатеві, гвинтові і т.д. Вони застосовуються частіше за інших. Складаються ці прилади з жорсткої камери, в якій при безперервному переміщенні одного або декількох розділових елементів (поршня, диска, роторів і т.п.) здійснюється відмірювання обсягів рідини.

Дані прилади можуть забезпечити більшу точність і більший діапазон вимірювання в порівнянні з турбінними лічильниками кількості речовини. Так похибка у деяких з них складає всього  $\pm (0,2-0,5)\%$ . Важливою перевагою камерних лічильників є їх придатність для вимірювання кількості рідини практично будь-якої в'язкості, в тому числі і дуже великої. Але вони мають істотний недолік - чутливість до забруднень і механічних домішок.

Тахометричні прилади керуються за допомогою ДСТУ 7156:2010 Метрологія. Витратоміри тахометричні кулькові.

## **1.2 Витратоміри постійного перепаду тиску**

Витратоміри постійного перепаду тиску (ротаметри, поплавкові витратоміри, поршневі витратоміри) - витратоміри рідини або газу з перетворювальним елементом у вигляді поплавка; площа прохідного отвору трубки в ході його переміщення по вертикалі, яке викликане зміною витрати, змінюється таким чином, що перепад тиску залишається постійним.

Застосовуються для вимірювання витрат однорідних потоків чистих і слабо забруднених рідин і газів, що протікають по трубопроводах і не схильних до значних коливань. Вони належать до витратомірів обтікання, до яких також належать витратоміри змінного перепаду тиску.

Принцип роботи витратомірів постійного перепаду тиску базується на залежності вертикального переміщення тіла — поплавця (поршня) від витрати речовини, що при цьому зміщенні у потоці і змінює площу прохідного отвору приладу таким чином, щоб забезпечити сталий перепад тиску між обома сторонами поплавця (поршня).

### **Ротаметр**

Ротаметр являє собою довгу конусну трубку, що розміщена вертикально, уздовж якої під дією рухомого знизу вгору потоку переміщається поплавець. Поплавець переміщається до тих пір, поки площа кільцевого отвору між поплавцем і внутрішньою поверхнею конусної трубки не досягне такого розміру, при якому перепад тиску між протилежними сторонами поплавця не стане рівним розрахунковому. При цьому сили, що діють на поплавець врівноважуються, і поплавець встановлюється на висоті, що відповідає певному значенню витрат.

У верхній частині поплавця часто роблять нахилені пази, котрі спричиняють його обертання. При обертанні поплавець центрується всередині трубки не торкаючись стінок, що збільшує його чутливість.

### Поплавковий витратомір

Поплавковий витратомір постійного перепаду тиску складається з поплавця і конусного сідла, розташованих в корпусі приладу. Конусне сідло виконує ту ж роль, що і конусна трубка ротаметра. Різниця полягає в тому, що довжина і діаметр сідла приблизно рівні, а у ротаметрів довжина конусної трубки значно більша за її діаметр.

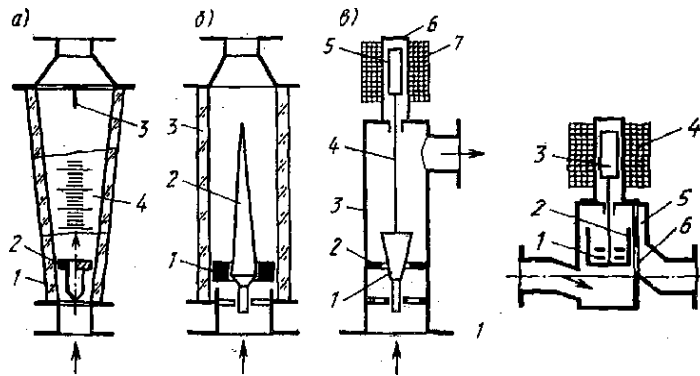


Рисунок 1.2 – Конструктивні схеми ротаметрів

### Поршневий витратомір

У поршневому (золотниковому) витратомірі чутливим елементом є поршень, який під дією перепаду тиску переміщається усередині втулки. Втулка має вхідний отвір і вихідний отвір. Вимірювана речовина поступає під поршень і, піднімаючи його, виходить через вікно чи отвір у втулці. Поршень за допомогою штока з'єднаний з сердечником передавального перетворювача. Чим більше витрат, тим вище піднімається поршень, відкриваючи все більшу частину отвору у втулці. Перепад тиску на поршні при цьому залишається сталим. Обравши певну форму вікна, можна отримати бажану (лінійну) залежність між витратою і переміщенням поршня.

Витратоміри постійного струму керуються за допомогою таких державних стандартів:

ДСТУ ISO 4006:2009 Вимірювання витрати та кількості плинного середовища в закритих трубопроводах. Словник термінів і познач (ISO 4006:1991, IDT);

ГОСТ 13045-81 Ротаметры. Общие технические условия.

### 1.3 Витратоміри змінного перепаду тиску

Витратоміри змінного перепаду тиску (поплавцево-пружинні, з поворотною лопаттю) – об'ємні витратоміри рідини або газу, в якому витрата визначається за перепадом тиску, що утворюється нерухомим пристроєм,

який встановлюється у трубопроводі, або є елементом трубопроводу. Їх робота базується на вимірюванні змін статичного перепаду тиску контрольованого середовища, що проходить крізь штучно звужений сегмент трубопроводу. Витратомір змінного перепаду тиску складається із звужувального пристрою (найчастіше діафрагма), який створює у струмені рідини або газу перепад тиску, величина якого залежить від величини витрати, і диференційного манометра, який вимірює цей перепад і відградуваний в одиницях витрати.

Принцип дії витратомірів заснований на тому, що якщо в трубопроводі, по якому протікає речовина, встановлюють пристрій, що створює місцеве звуження потоку, то внаслідок переходу частини потенційної енергії тиск у кінетичну середня швидкість потоку у звуженому перетині підвищується, в результаті чого статичний тиск в цьому перерізі стає менше статичного тиску перед звуження потоку. Різниця тисків тим більше чим більше витрати речовини. Отже, перепад тиску може служити мірою витрати речовини.

В даний час найбільш поширені стандартні звужуючі пристрої трьох типів: діафрагма, сопло і труба (сопло) Вентурі. Найбільш широке застосування знайшла стандартна діафрагма, що представляє собою тонкий диск з отвором круглого перерізу. При протіканні рідини по трубопроводу звуження потоку починається з діафрагми, а на деякій відстані після неї дією сил інерції перетин потоку стає мінімальним. Далі потік поступово розширюється до повного перерізу трубопроводу. Перед діафрагмою і після неї утворюються зони завихрення, на які витрачається частина енергії, внаслідок чого спостерігається втрата тиску. Розглянемо потік рідини, що проходить через діафрагму.

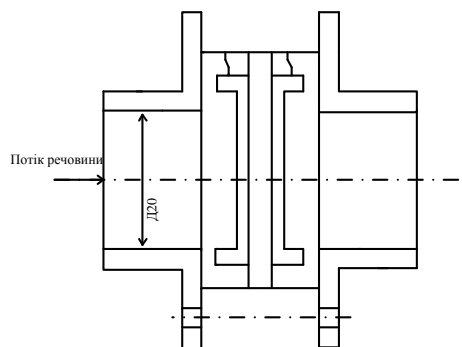


Рисунок 1.3 – Діафрагма

Виділимо два переріза. Перетин I-I, в якому відсутній вплив звужуючого пристрою на характер потоку і перетин II-II, в якому спостерігається стиснення струменя. Залежність між витратами рідини і перепадом тиску можна встановити, користуючись рівнянням Бернуллі і рівнянням нерозривності струменя. Для двох перерізів потоку I і II

горизонтального трубопроводу за умови, що тертя відсутнє, рівняння має наступний вигляд:

$$P_1 * V_1 * S_1 = P_2 * V_2 * S_2$$

Щільність рідини, що проходить через пристрій звуження потоку, практично можна вважати незмінним, отже,

$$V_1 * S_1 = V_2 * S_2$$

Стандартне сопло виконують у вигляді насадки, що має вхідну звужуючу частину, утворену дугами кіл з радіусами  $r$  і  $r_2$ , які дорівнюють  $0,2d$  і  $d/2$  і циліндричну частину діаметром  $d$ . Вихідна кромка сопла, як і у діафрагми, повинна бути гострою, без заокруглень і задирок. Вона захищена на виході нішею. Тиск також можна відбирати або за допомогою камер і кільцевих щілин або через окремі отвори.

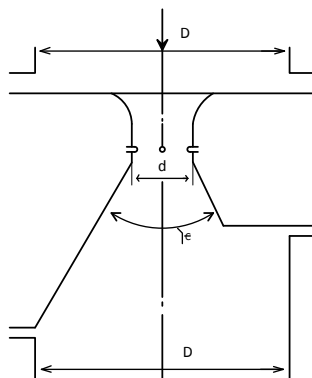


Рисунок 1.4 – Труба Вентурі з сопловим входом

Існують нормалізовані витратоміри труби Вентурі чотирьох конструктивних різновидів: труби Вентурі з сопловим і конусними входами, с довгими і короткими дифузорами.

На рисунку 1.4, зображена труба Вентурі з сопловим входом (сопло Вентурі) с довгим (знизу) и коротким (зверху) дифузорами.

Вхідна частина труби до місця відбору мінусового (меншого) тиску має той самий профіль, що і нормальне сопло. Довжина циліндричної частини складає зазвичай 0,5-0,7 см. Кут вхідного конусу дифузора повинен бути менше  $30^\circ$ .

Витрата визначається виразом:

$$Q = \frac{cS_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}} \sqrt{2 \frac{P_1 - P_2}{\rho}}$$

де  $C$  — експериментальний коефіцієнт, який відображає втрати всередині витратоміра;

$S_1$  и  $S_2$  — площі перетин трубопроводу и горловини;

$\rho$  - густина рідини або газу;

$P_1$  и  $P_2$  — статичний тиск на вході труби і в горловині.

Вимірювання витрати та кількості рідин і газів за допомогою стандартних пристроїв звуження потоку керуються такими міждержавними стандартами:

ГОСТ 8.586.1-2005. Частина 1. Принцип методу вимірювань та загальні вимоги;

ГОСТ 8.586.2-2005. Частина 2. Діафрагми. Технічні вимоги;

ГОСТ 8.586.3-2005. Частина 3. Сопла і сопла Вентурі. Технічні вимоги;

ГОСТ 8.586.4-2005. Частина 4. Труби Вентурі. Технічні вимоги;

ГОСТ 8.586.5-2005. Частина 5. Методика виконання вимірювань.

#### 1.4 Індукційні витратоміри

Індукційний витратомір (електромагнітний) - витратомір, принцип дії якого побудований на явищі електромагнітної індукції, у відповідності з яким при протіканні електропровідного середовища у магнітному полі, у ньому індукується ЕРС, що пропорційна до середньої швидкості середовища та індукції магнітного поля:

$$E = kBVl$$

де  $k$  — безрозмірний коефіцієнт, що визначається геометричними і конструктивними параметрами первинного перетворювача;

$l$  — відстань між електродами.

Розглянуті вище методи вимірювання витрати і кількості речовини характеризуються тим, що чутливий елемент приладу перебуває безпосередньо у вимірювальному середовищі, тобто піддається механічному і хімічному її впливу і спричиняє втрату тиску потоку. Безперервна дія вимірювального середовища на чутливий елемент робить із часом негативний вплив на точність, надійність і термін служби приладу.

Для вимірювання витрати хімічно агресивних (кислоти, луги), абразивних (пульпи) і інших рідин, які пошкоджують матеріал дотичних з ними частин витратоміра, описані вище методи і прилади взагалі непридатні.

Існує ряд приладів для вимірювання витрати рідини, чутливий елемент яких не має безпосереднього з нею контакту, що дозволяє застосовувати їх при агресивних середовищах. До числа таких приладів відносяться електромагнітні (індукційні) витратоміри.

Електромагнітні витратоміри застосовуються для вимірювання витрати електропровідних рідин. Застосовуються для вимірювання в



трубопроводах об'ємної витрати водопровідної води, різних розчинів (солей, кислот), пульп, розплавлених металів і інших електропровідних рідин, електрична провідність яких повинна бути не менше електропровідності водопровідної води.

Таким чином, електромагнітний витратомір являє собою невеликий гідродинамічний генератор змінного струму, що виробляє е.р.с., пропорційну середній швидкості потоку, а отже, і витратам рідини.

Вимір витрати рідини електромагнітним методом здійснюється при використанні як постійного магніту, так і магніту зі змінним магнітним полем. Зазначені способи створення магнітного поля мають свої позитивні і негативні сторони.

Схема електромагнітного витратоміра з постійним магнітним полем зображена на рис.1.5, а. Корпус 1- це відрізок труби, виконаний з немагнітного матеріалу і покритий зсередини електричною ізоляцією (гумою, емаллю, фторопластом і ін.), розташований між полюсами магніту 2. Магнітні силові лінії спрямовані перпендикулярно вектору швидкості руху рідини. Через стінку труби ізольовано від неї введені електроди 3, які перебувають у контакті з рідиною. Вся інформація надходить у вимірювальний пристрій 4.

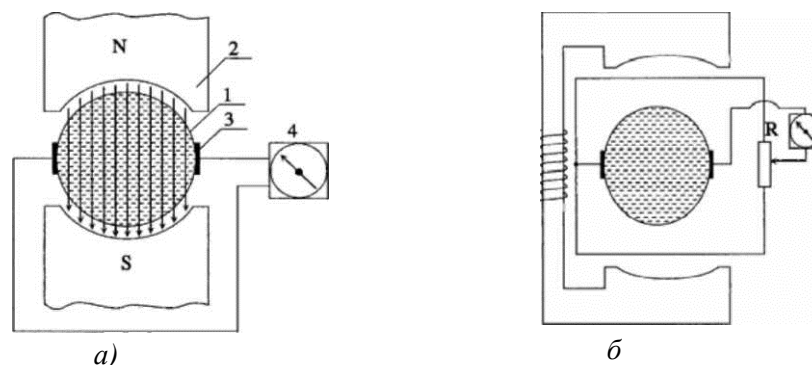


Рисунок 1.5 – Схема електромагнітного витратоміра  
а) – з постійним магнітним полем; б) – зі змінним магнітним полем

Переваги електромагнітних витратомірів:

- незалежність показань від в'язкості і густини вимірювального середовища;
- можливість застосування в трубах будь-якого діаметра;
- відсутність втрат тиску в потоці;
- необхідність у менших довжинах прямих ділянок труб;
- висока швидкодія.

До основних недоліків електромагнітних витратомірів можна віднести:

- непридатні для вимірювання витрати газу і пари;

-непридатні для вимірювання витрати рідин-діелектриків (спирт, нафтопродукти і т.п).

Електромагнітні витратоміри керуються такими стандартами, як : Метрологія. Витратоміри швидкісні, вихрові і електромагнітні. Загальні технічні вимоги та методи випробування . (На заміну ГОСТ 4.158-85; ГОСТ 28723-90; ГОСТ 28724-90).

### 1.5 Ультразвукові витратоміри

Розглянуті вище методи вимірювання витрати мають важливий недолік, пов'язаний з тим, що чутливі елементи (діафрагма, сопло, напірна трубка) перебувають безпосередньо у потоці, і піддаються впливу середовища на конструктивні частини чутливого елемента. З іншого боку, найбільш чутливі елементи, перебуваючи в потоці, впливають на його аеродинамічні характеристики, що приводить до появи додаткової похибки вимірювання.

В ультразвукових витратомірах використовуються різні ефекти, пов'язані із проходженням ультразвуку через середовище, що рухається: зміна швидкості ультразвуку в поздовжньому напрямку потоку; відхилення ультразвукової хвилі при поперечному проходженні в потоці; ефект Доплера і ін.

Найбільше поширення одержав метод вимірювання витрати, заснований на вимірюванні різниці часів проходження ультразвуку по напрямку і проти напрямку потоку середовища.

Показання частотного витратоміра не залежить від швидкості проходження ультразвуку в середовищі, що є важливою перевагою такого методу вимірювання витрати рідких і газоподібних середовищ.

В інших типах витратомірів ультразвукова хвиля направляєтся перпендикулярно осі труби і по величині відхилення ультразвукової хвилі від перпендикуляра визначається витрата або середня швидкість потоку. У міру збільшення середньої швидкості потоку  $V$  напрямок ультразвукового сигналу зі швидкістю усе більше відхиляється по напрямку швидкості потоку.

У фазових ультразвукових витратомірах використовується ефект Доплера, тобто вимірюється різниця фаз ультразвукових коливань, які розповсюджуються по потоку і проти нього. Недоліком таких витратомірів також є залежність показань від зміни швидкості ультразвуку в середовищі.

Об'єм води розраховується за формулою:

$$V=K_n K_m (1/t_1 - 1/t_2) T$$

де,  $V$  – об'єм пройшла води, м<sup>3</sup>;

$T$  - час роботи лічильника води, сек;

$t_1$  - час розповсюдження ультразвукового імпульсу у напрямку потоку, сек;

$t_2$  - час розповсюдження проти напрямку потоку, сек;

$K_H$  - гідродинамічний коефіцієнт;

$K_M$  - коефіцієнт, що враховує геометрію первинного перетворювача.

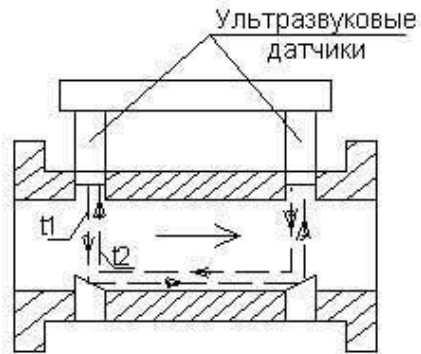


Рисунок 1.6 – Схема ультразвукового витратоміра

Ультразвукові витратоміри керуються такими нормативними документами: МИ 2983-2006 – Расходомеры-счетчики жидкости ультразвуковые UFM 500.

## 1.6 Вібраційні витратоміри

Вібраційний масовий витратомір ВМР призначений для вимірювання масової витрати нафтогазової суміші, безпосередньо протікає в трубопроводі. Вимірювальна система складається з первинного та вторинного перетворювачів.

Принцип дії вібраційного витратоміра заснований на вимірюванні часу згасання вільних коливань затисненої вимірювальної трубки з вантажем, в якій рухається газонафтова суміш. Коливання збуджуються електромагнітом, на який в необхідні моменти подається постійна напруга.

З обмотки індуктивного датчика знімається вихідна напруга, наведена при коливаннях вимірювальної трубки. Витрати рідини визначаються за коефіцієнтом загасання вільних коливань трубки, пропорційному масовим витратам рідини, що протікає по трубці.

Система забезпечує: поділ продукції свердловин за сортами, прийом гумових роздільників для очищення вихідних ліній свердловин від парафіну, автоматичний захист промислових колекторів при підвищенні тиску в них вище гранично допустимого, видачу в систему телемеханіки. В якості вимірювального приладу в установці застосовують вібраційні масові витратоміри, що вимірюють масу, яка надходить зі свердловин газонафтової суміші та витрату окремих складових її компонентів на потоці без попередньої сепарації.

## 1.7 Об'ємні витратоміри

Принцип дії об'ємних лічильників заснований на відмірюванні певного об'єму речовини, який проходить через прилад і підсумовування результатів цього вимірювання. До числа таких пристроїв відносяться: мірні баки, об'ємні лічильники. Мірний бак є найбільш простим і точним вимірювальним пристроєм, застосовуваним для визначення кількості рідини при перевірці витратомірів і лічильників, а також при випробуваннях відповідних установок.

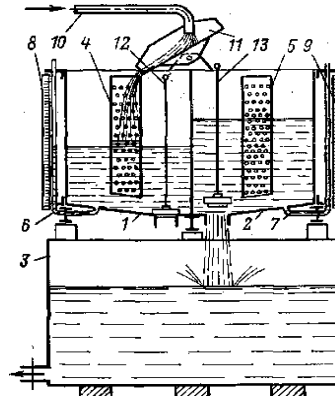


Рисунок 1.7 – Мірний бак

Схема мірних баків показана на рис.1.7. Пристрій складається зі спарених мірних баків 1 і 2 прямокутного, постійного по висоті перетину (іноді застосовуються два окремих циліндричних або прямокутних баки) і збірного бака 3. У середині мірних баків розташовані заспокоювачі 4 і 5 у вигляді патрубків з більшим числом отворів у стінках. Об'ємні мірні баки постачені вказівними скляними трубками 6 і 7, поруч із якими встановлені циферблати 8 і 9 з міліметровими шкалами. Вимірювана рідина, що надходить по трубопроводу 10, направляєється по черзі в кожний з мірних баків за допомогою перекидного пристрою 11. Для зливу рідини з мірних баків у збірний служать зливальні патрубки із запірними клапанами 12 і 13. Кожний мірний бак попередньо градується, тобто визначається залежність між висотою рівня рідини у вказівному склі і внутрішньому об'ємі бака. Об'ємні лічильники мають мірні камери зі стінками, що переміщуються, і які витісняють вимірювальний об'єм рідини, звільняючи камеру для наступної порції. До об'ємних лічильників зазначеного типу відносяться: однопоршневі, багато поршневі, кільцеві, з овальними шестірнями, ротаційні, сухі газові, мокрі газові і дискові.

Овальні шестерні, що перебувають між собою в безперервному зачепленні, при обертанні обкатують одна одну. Залежно від положення шестерень кожна з них по черзі є ведучою і веденою. Розмір зазорів між шестернями і стінками вимірювальної камери не перевищує 0,04-0,06 мм,

внаслідок чого похибка вимірювання через перетікання через них рідини невелика.

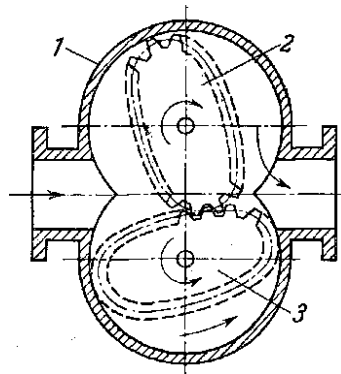


Рисунок 1.8 – Схема лічильника рідини з овальними шестернями

Кількість рідини, що пройшла через лічильник, розраховується по числу обертів однієї з його шестерень, зв'язаної з рахунковим стрілочко-роликковим показчиком. У підсумку за один оберт через лічильник проходить об'єм рідини, рівний чотирьом об'ємам мірних камер, які перекачують рідину. Вісь однієї із шестерень обертає розрахунковий механізм, розташований поза корпусом приладу. Лічильники рідини з овальними шестернями призначені для установки в горизонтальних трубопроводах, причому осі обертання шестерень розташовуються горизонтально, а круговий циферблат – вертикально з нульовою оцінкою шкали вгорі (на рис. 1.8 не показаний).

Ротаційні лічильники газу в основному застосовуються для вимірювання кількості горючих газів, принцип дії яких той же, що і лічильників рідини з овальними шестернями.

Ротаційний лічильник (рис. 1.9) містить вимірювальну камеру 1, у якій розташовані широкі обертові лопати 2 і 3 у формі вісімки, які приводяться у рух різницею тисків газу, що проходить через лічильник. Прилад має розрахунковий пристрій з роликковим показчиком, з'єднаний з однією з лопатою за допомогою магнітної муфти або за допомогою вихідної осі, пропущеної через сальник. Для контролю за роботою лічильника в нього вбудований водяний дифманометр, що вимірює перепад тиску газу в приладі.

Об'ємні витратоміри керуються за допомогою таких нормативних документів як:

ГОСТ 4.158-85 - Система показателей качества продукции. Счетчики, дозаторы и расходомеры скоростные, объемные. Расходомеры электромагнитные. Расходомеры, дозаторы и дозирующие установки вихревые. Номенклатура показателей.

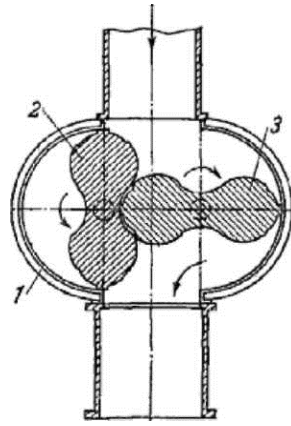


Рисунок 1.9 – Схема ротацийного лічильника

### 1.8 Міткові витратоміри

Міткові витратоміри — витратоміри, принцип роботи яких базується на вимірі часу переміщення певної характерної частини (мітки) потоку на контрольній ділянці шляху.

Мітка у потоці створюється спеціальним методом, котрий і обумовлює конструкцію пристрою для створення мітки та детектування проходження нею контрольної ділянки. Мітки бувають: радіоактивні; фізико-хімічні; іонізаційні; теплові; оптичні; електромагнітні; ядерно-магнітно-резонансні (ЯМР) та ін.

Міткові витратоміри конструктивно можуть виконуватись з одним або двома детекторами. У першому варіанті контрольною відстанню  $L$  є відстань від місця введення мітки до детектора, у другому — відстань між детекторами. Швидкість руху мітки розраховується за виразом:

$$V = \frac{L}{\Delta\tau},$$

де  $\Delta\tau$  — час подолання міткою відстані  $L$ .

Міткові витратоміри — це прилади, переважно, дискретної дії, тому їх використовують для лабораторних та дослідницьких цілей, а також при повірці та градуюванні витратомірів інших типів.

Довжина контрольної ділянки може становити від декількох міліметрів до декількох кілометрів. Вибір її довжини залежить від фізичної природи мітки (часу її існування), а також, від необхідної точності та швидкодії.

Міткові витратоміри можуть бути з одним або двома детекторами мітки. У першому випадку (рис. 1.10, а) контрольна відстань вважається від місця введення мітки 1 до детектора 2, у другому (рис. 1.10, б) - між двома детекторами 2 і 3.

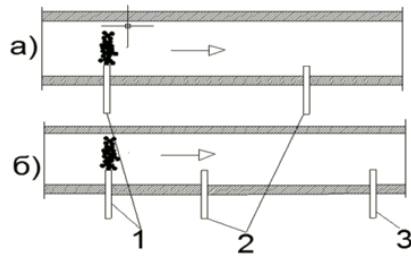


Рисунок 1.10 – Схема міткового витратоміра

Похибка вимірювання витрати для міткових витратомірів може становити від 0,1...0,2% до 2...3% у залежності від виду мітки, апаратури, що використовується та відповідності швидкості руху мітки до середньої швидкості потоку.

Довжина контрольної ділянки може становити від декількох міліметрів до декількох кілометрів. Вибір її довжини залежить від фізичної природи мітки (часу її існування), а також, від необхідної точності та швидкодії.

### 1.9 Теплові витратоміри

Принцип дії теплових витратомірів заснований на нагріванні потоку речовини і вимірюванні різниці температур до і після нагрівача (калориметричні витратоміри) або на вимірюванні температури нагрітого тіла, яке поміщене в потік (термоанемометричні витратоміри). Останні не мають самостійного застосування в технологічних вимірюваннях.

У трубопроводі встановлений нагрівач потоку, на рівних відстанях від центра нагрівача — термоперетворювачі  $i_1$  і  $i_2$  (при цьому нагрівання їх від випромінювання однакове), що вимірюють температуру потоку до  $i_1$  і після нагрівання  $i_2$ .

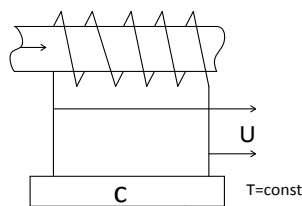


Рисунок 1.11 – Тепловий витратомір

Для нерухомого середовища розподіл температури в ній симетрично щодо осі нагрівача і тому різниця температур  $\Delta t = T_1 - T_2 = 0$ . При деякій малій швидкості потоку розподіл температури несиметричний і трохи зміщується по потоку. У місці термоперетворювача температура падає внаслідок надходження холодної речовини, а в місці термоперетворювача температура  $i_2$  або трохи зростає, або ж не змінюється, внаслідок чого при малих витратах

Аі збільшується з ростом витрати. При подальшому збільшенні витрати при постійній потужності нагрівача  $i_2$  стане зменшуватися, у той час як  $i_1$  практично постійна, тобто буде зменшуватися Аі. Таким чином, при більших витратах різниця температур Аі обернено пропорційна витраті.

Пошуки підвищення експлуатаційної надійності калориметричних витратомірів привели до створення теплових витратомірів, у яких нагрівач і термоперетворювачі розміщують на зовнішній стінці труби, і передача теплоти до потоку здійснюється через стінку труби і далі - через прикордонний прошарок.

Теплові витратоміри керуються нормативними документами такими як:

- ДСТУ ISO 14511:2009 Вимірювання витрати плинного середовища в закритих трубопроводах. Теплові масові витратоміри (ISO 14511:2001, IDT).

### 1.10 Трубки Піто

Трубка Піто - прилад для вимірювання динамічного тиску потоку рідини (суспензії) чи газу. Названа ім'ям її винахідника (1732) французького ученого Генрі Піто.

Виконана у вигляді Г-подібної трубки:

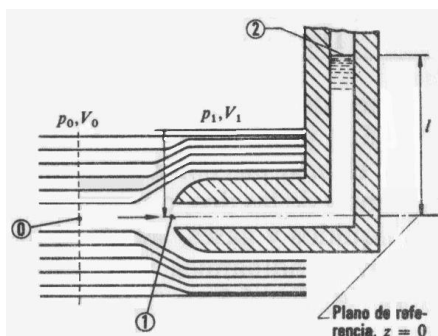


Рисунок 1.12 – Трубка Піто

Надлишковий тиск, що встановився в трубці приблизно рівний:

$$p_{??} \approx \xi \frac{\rho v_0^2}{2},$$

де  $\rho$  – густина рухомого середовища, що набігає;  $v_0$  – швидкість набігаючого потоку;  $\xi$  – коефіцієнт.

Напірна (пневмометрична, або трубка повного натиску) трубка Піто підключається до спеціальних приладів і пристроїв. Застосовується при визначенні відносної швидкості і об'ємної витрати в газоходах і вентиляційних системах в комплекті з диференціальними манометрами.



## 1.11 Лабораторний стенд для повірки лічильників води

У даній роботі для визначення вихідних характеристик використовується метод зразкових приладів, суть якого полягає в тому, що вимірювана величина порівнюється з величиною, відтвореною зразковим приладом. У даному випадку порівнюється об'єм відтворений мірником із показами лічильника.

*Структурна схема лабораторного стенду.* Структурна схема лабораторного стенду для повірки лічильників води представлена в додатку Б. Лабораторний стенд складається з таких основних частин:

1. Вмикач – слугує для включення насоса, шляхом підключення його до мережі 220В.

2. Бак – в даній роботі використовується пластиковий бак з об'ємом 10 л. Бак має три спеціальні контактні з'єднання для підключення пластикових труб відповідно до Додатку А. На внутрішній стінці баку, за допомогою спеціальних кріплень, розміщується насос.

3. Насос – розташований безпосередньо у воді і з'єднаний з трубою *T3*. В робочому режимі насос створює напір води, який рухаючись по трубі *T3*, через кран *K3*, потрапляє до лічильника, що є одною з умов повірки.

Технічні характеристики: виробник: Atman (At - 201); продуктивність: 650/год; потужність: 10 Вт; робоча напруга: 220 – 240 В; висота підняття води: 0.9 м.

4. Кран *K1* – слугує для відкриття, закриття труби *T1*. При відкритому положенні проводиться повірка лічильника в режимі без навантаження, тобто вода без будь-якого зовнішнього впливу, під дією власної сили тяжіння надходить до лічильника. При закритому положенні кран запобігає витоку води з труби *T1*, та не дає можливості потрапляння води з труби *T3* в трубу *T1*, в режимі повірки з навантаженням, що привело б до падіння тиску в трубі *T3*.

5. Кран *K3* – слугує для відкриття, закриття труби *T3*. При відкритому положенні проводиться повірка в режимі з навантаженням, тобто під дією насоса в трубі *T3* створюється напір води який безпосередньо подається на лічильник. При закритому положенні кран запобігає витоку води з труби *T3*, та не дає можливості потрапляння води з труби *T1* в трубу *T3*, в режимі повірки без навантаження.

6. Труба *T1* – слугує для сполучення баку та крану *K1*, призначена для проведення води в режимі без навантаження.

7. Труба *T2* - слугує для сполучення лічильника з мірником, призначена для проведення води в режимі без навантаженням.

8. Труба *T3* - слугує для сполучення баку та крану *K3*, призначена для проведення води в режимі з навантаженням.

9. Труба *T4*- слугує для сполучення баку та крану *K4*, призначена для повернення води в бак від лічильника, в режимі з навантаженням.

10. Кран *K2* – слугує для відкриття, закриття труби *T2*. При закритому Кран *K4* і відкритому Кран *K2* проводиться перевірка лічильника в режимі без навантаження, тобто вода від лічильника без будь-якого зовнішнього впливу, надходить до мірника. При закритому положенні кран запобігає витоку води з лічильника в режимі без навантаження, та не дає можливості потрапляння води з лічильника в трубу *T2* в режимі перевірки з навантаженням.

11. Кран *K4* – слугує для відкриття, закриття труби *T4*. При відкритому положенні проводиться перевірка лічильника в режимі з навантаженням, тобто вода від лічильника подається в бак. При закритому положенні кран запобігає витоку води з труби *T4*, та не дає можливості потрапляння води з труби *T2* в трубу *T4*, в режимі перевірки без навантаження.

12. Мірники – для проведення процедури перевірки необхідним є використання двох мірників: мірник 1 - 1л; мірник 2 - 10 л.

13. Лічильник модель ЛК – 15Х, характеристика наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика ЛК – 15Х

Параметр	Значення
Діаметр, мм	15
Температура води °С	Від 5 до 30
Номінальний тиск, МПа	1,0
Об'ємні витрати води, м <sup>3</sup> /год	
- мінімальний (Q <sub>min</sub> )	0,03/0,06
- перехідний (Q <sub>t</sub> )	0,12/0,15
- номінальний (Q <sub>n</sub> )	1,5
- максимальний (Q <sub>max</sub> )	3,0
Передаточний коефіцієнт (К), м <sup>3</sup> /імп	6,9228x10 <sup>-6</sup>
Вмістимість відлікового пристрою, м <sup>3</sup>	99999
Найменша ціна поділки, м <sup>3</sup>	0,0001
Границя допустимої відносної похибки, %	
- від Q <sub>min</sub> до Q <sub>t</sub>	+/-5
- від Q <sub>t</sub> до Q <sub>max</sub>	+/-2
Поріг чутливості, м <sup>3</sup> /год	0,015/0,03
Середній термін роботи, років	12
Маса лічильника, кг	0,65

## 1.12 Методика перевірки лічильників води

Порядок проведення перевірки.

Зовнішній огляд лічильників. Головним завданням цього пункту є відповідність лічильника поставленим вимогам:

- стан лакофарбового покриття;
- чіткість зображення написів на маркувальній табличці, а також цифр і відміток на циферблаті та роликах відлікового пристрою;

- відсутність плям, тріщин, що впливають на зчитування показань на циферблаті;
- відсутність забруднень на склі, які закривають циферблат і відліковий пристрій;
- наявність стрілки, що вказує напрям потоку води.

Визначення відносної похибки. Відносну похибку лічильників визначають при двох режимах повірочних витрат (без навантаження та з навантаженням), при кожній витраті необхідно виконати один вимір.

Формула для визначення відносної похибки:

$$\delta(\%) = \frac{V_L - V_{3M}}{V_{3M}} 100\%,$$

де  $V_L$  – об'єм води по лічильнику, що повіряється, м<sup>3</sup>;

$V_{3M}$  – об'єм води, що поступила в зразкову міру місткості установки, м<sup>3</sup>.

Відносна похибка не повинна перевищувати значення 5% при повірці в режимі без навантаження та 3% в режимі з навантаженням.

### 1.13 Хід роботи

Розроблений стенд проводить повірку лічильників води у двох режимах: без навантаження, що відповідає мінімальним витратам та з навантаженням, що відповідає номінальним витратам води.

#### 1. Визначення відносної похибки в режимі без навантаження.

1.1 Для цього потрібно перед початком роботи переконатись, що усі крани знаходяться у закритому стані, потім записати значення відлікового механізму лічильника.

1.2. Для реалізації режиму без навантаження потрібно розташувати мірник 1 у положення для проведення повірки і після цього відкрити крани  $K1, K2$ , що відкривають доступ воді з баку, через лічильник, в мірник 1.

1.3. Після наповнення мірника крани  $K1, K2$  закриваються і проводиться порівняння об'єму, що показав лічильник із об'ємом мірника, для цього необхідно визначити відносну похибку за формулою 5.1, де  $V$  зр об'єм, що показав мірник. У режимі без навантаження відносна похибка не повинна перевищувати значення 5%, якщо ж вона виходить за задані межі, то подальшу повірку проводити не потрібно – лічильник визнається таким, що не пройшов повірку.

#### 2. Визначення відносної похибки в режимі з навантаженням.

2.1. Для цього потрібно перед початком роботи переконатись, що усі крани знаходять у закритому стані.

2.2. Для реалізації режиму з навантаження потрібно розташувати мірник 2 у положення для проведення повірки і після цього відкрити крани

*K3, K2* і увімкнути вмикач, одночасно засікши час. Потім потрібно відслідковувати час за який мірник наповнюється на одну цілу поділку шкали (1,2,3...л) і вносити його у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристика залежності витрати від часу

Об'єм	Час
1 л	
2 л	
...	

2.3. Коли мірник наповниться необхідно вимкнути вмикач та закрити крани *K3, K2*. З отриманих значень потрібно визначити який об'єм води проходить через лічильник за одиницю часу (1хв)

2.4. Побудувати графік залежності витрати води від часу.

2.5. Для проведення подальшої перевірки з навантаженням потрібно записати значення відлікового механізму, відкрити крани *K3, K4*, увімкнути вмикач, на визначений інтервал часу 20 хв. По закінченню відведеного часу потрібно вимкнути вмикач та закрити крани *K3, K4*.

2.6. Знаючи який об'єм води проходить через лічильник за 1 хв. теоретично визначити об'єм води, який пройде через лічильник за 20 хв. і порівняти його з показами лічильника, тобто визначити відносну похибку. Відносна похибка повинна знаходитись в межах 3%, якщо ж вона виходить за задані межі, то – лічильник винається таким, що не пройшов перевірку.

При позитивних результатах перевірки пломби з відтиском повірочного клейма навішують в місцях, що перешкоджають доступу до механізму показчика сумарного обліку і регулюючого пристрою лічильника. Результати перевірки заносять в паспорт і засвідчують підписом державного повірника і відтиском клейма. Результати перевірки лічильника заносять в протоколи.

Лічильники, що не задовольняють вимогам діючого стандарту, до випуску і використання не допускають. Пломби з відтиском клейма знімають, а запис в паспорті гасять.

### **Контрольні питання**

1. Наведіть класифікацію приладів вимірювання витрат.
2. Тахометричні лічильники.
3. Витратоміри постійного перепаду тиску.
4. Витратоміри змінного перепаду тиску.
5. Індукційні витратоміри.
6. Ультразвукові витратоміри.
7. Об'ємні витратоміри.
8. Міткові витратоміри.
9. Теплові витратоміри.

## ЛІТЕРАТУРА

1. В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. Метрологія та основи вимірювань. Навч. посібн., К., “Знання – Прес”, 2003.
2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. Справочник. 4-е изд., перераб. и доп. // Л.: Машиностроение, 1989., 701 с.
3. Большаков В.Б., Косач Н.И., Марфенко И.В., Несвитайло В.А., Соколов Г.С., Панфилов О.Ф. Зависимость показаний электромагнитных расходомеров от физико-химических свойств измеряемой среды //Український метрологічний журнал.-1998.-Вип.2. – С.46-49.
4. Новицкий П.В., Кноринг В.Г., Гутников В.С. Цифровые приборы с частотными датчиками. – Ленинград: Энергия, 1998. – 424 с.
5. Кремлевский П.П. Расчет и конструирование расходомеров. – Ленинград: Машиностроение, 1978. – 223 с.
6. Пістун Е., Лесовой Л. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. – Львів: ЗАТ “Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв”, 2006. – 570с.
7. Сергеев О.Г., Латишев М.В., Тегеря В.В. Метрологія, стандартизація, сертифікація. Навчальний посібник. – М.: Логос, 2003.
8. Данилевич С.Б. Побудова раціональних методик повірки засобів вимірювань за допомогою методу імітаційного моделювання. – М.: Метрологія, 1996.
9. Новицкий П.В., Зограф І.А. Оцінка похибок результатів вимірювань .- Л.: Вища школа, 1985.
10. Основоположні стандарти в галузі метрології. – М.: Вид.-во стандартів, 1986.
11. У. Болтон Карманный справочник инженера-метролога – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2002.

12. И. Е. Ушаков. Законодательная метрология и технология разработки нормативной документации: Учеб. пособие – СПб.: СЗТУ, 2003.
13. Правиков Ю. М. Метрологическая экспертиза технической документации: методич. указания к практ. занятиям – Ульяновск: УлГТУ, 2005.
14. С. Г. Рабинович Погрешности измерений – М.: Энергия, 1978.
15. Э. А. Голубев, Л. К. Исаев Измерения. Контроль. Качество. ГОСТ Р ИСО 5725. Основные положения. Вопросы освоения и внедрения – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2005.
16. Бойко С. В., Воробьев А. Л., Колчина И. В. Разработка и аттестация методик выполнения измерений: Методические указания – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004.
17. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г. П. Богданов и др.; Под ред. В. А. Кузнецова – М.: Радио и связь, 1990.

*Навчальне видання*

**Володимир Юрійович Кучерук**  
**Володимир Миколайович Севастьянов**  
**Олександр Григорович Ігнатенко**  
**Вікторія Сергіївна Маньковська**  
**ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ**

Лабораторний практикум

Оригінал макет підготовлено В. Кучерук

Підписано до друку  
Формат 29,7 × 42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. Друк. арк.  
Наклад прим. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95  
ВНТУ К. 2201.  
Тел. (0432) 59-87-36.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-87-38.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.