

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**«РОЗРАХУНОК І ВИБІР АВТОМАТИЧНИХ ЕЛЕКТРОНИХ  
МОСТІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ»**

до виконання розрахункового завдання з дисципліни «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами» для студентів спеціальності: G1 – “Хімічні технології та інженерія” усіх форм навчання

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 1 від 19.02.2026 р.

Харків 2026

Методичні вказівки «Розрахунок і вибір автоматичних електронних мостів для вимірювання температури» до виконання розрахункового завдання з дисципліни «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами» для студентів спеціальності: G1 – “Хімічні технології та інженерія” усіх форм навчання / Уклад. В. О. Лобойко. – Харків: НТУ«ХПІ», 2026. – 24с.

Укладач: В. О. Лобойко

Рецензент І. Л. Красніков

Кафедра автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу

## ВСТУП

Технологічні вимірювання є невід'ємною частиною сучасних виробничих процесів. Ускладнення та інтенсифікація виробництва ставлять підвищені вимоги до методів і засобів вимірювання. Незважаючи на постійне вдосконалення приладної бази засобів контролю та керування, методи вимірювання майже не змінюються. В великій мірі точність отримання інформації залежить від правильності вибору методу вимірювання і від якості виконання розрахунку конструкції приладу.

Метою методичних вказівок є ознайомлення студентів з одним із способів вимірювання температури за допомогою термоперетворювача опору, а також закріплення теоретичних знань за даною темою з дисципліни «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами».

Наведено зразковий метод розрахунку і вибір автоматичного електронного моста для вимірювання температури.

# РОЗРАХУНОК І ВИБІР АВТОМАТИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ МОСТІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

## *1. Принцип дії, пристрій та технічні характеристики*

Автоматичні електронні мости застосовують для вимірювання, запису, сигналізації та автоматичного регулювання температури. Працюють вони у комплекті з термоперетворювачами опору. Крім того, автоматичні електронні мости застосовуються при вимірі технологічних параметрів, які перетворюються датчиками в опір електричного струму, наприклад, в автоматичних концентратомірах при вимірюванні концентрації розчинів по електропровідності, в автоматичних газоаналізаторах, при реостатній дистанційній передачі показань первинних приладів [1 - 4].

Автоматичний електронний міст складається з вимірювального блоку, зібраного за мостовою вимірювальною схемою, електронного фазочутливого підсилювача змінного струму, реверсивного електродвигуна, синхронного електродвигуна, шкали з вказівною стрілкою та пером для запису на діаграмному папері зміни температури в часі.

На рис. 1 показано принципову схему автоматичного електронного моста. В основу принципу його дії покладено нульовий метод вимірювання опору термоперетворювача. При зміні температури змінюється опір термоперетворювача, що спричиняє порушення рівноваги вимірювального блоку моста, і в його діагоналі АВ з'являється напруження розбалансу, яке надходить на вхід електронного підсилювача, де посилюється за напругою та потужністю. На виході електронного підсилювача підключений реверсивний електродвигун. Останній переміщає движок по опору реохорда і цим врівноважує вимірювальну схему моста. Одночасно реверсивний двигун переміщує стрілку за шкалою приладу та перо для запису зміни температури на діаграмному папері. Якщо автоматичний міст має автоматичний регулятор температури, то реверсивний електродвигун переміщує механізм регулятора, який виробляє керуючий вплив на виконавчий механізм.

Напрямок обертання реверсивного електродвигуна залежить від напрямку сигналу, отриманого від вимірювальної схеми, що відбувається при підвищенні або зниженні вимірюваної температури.

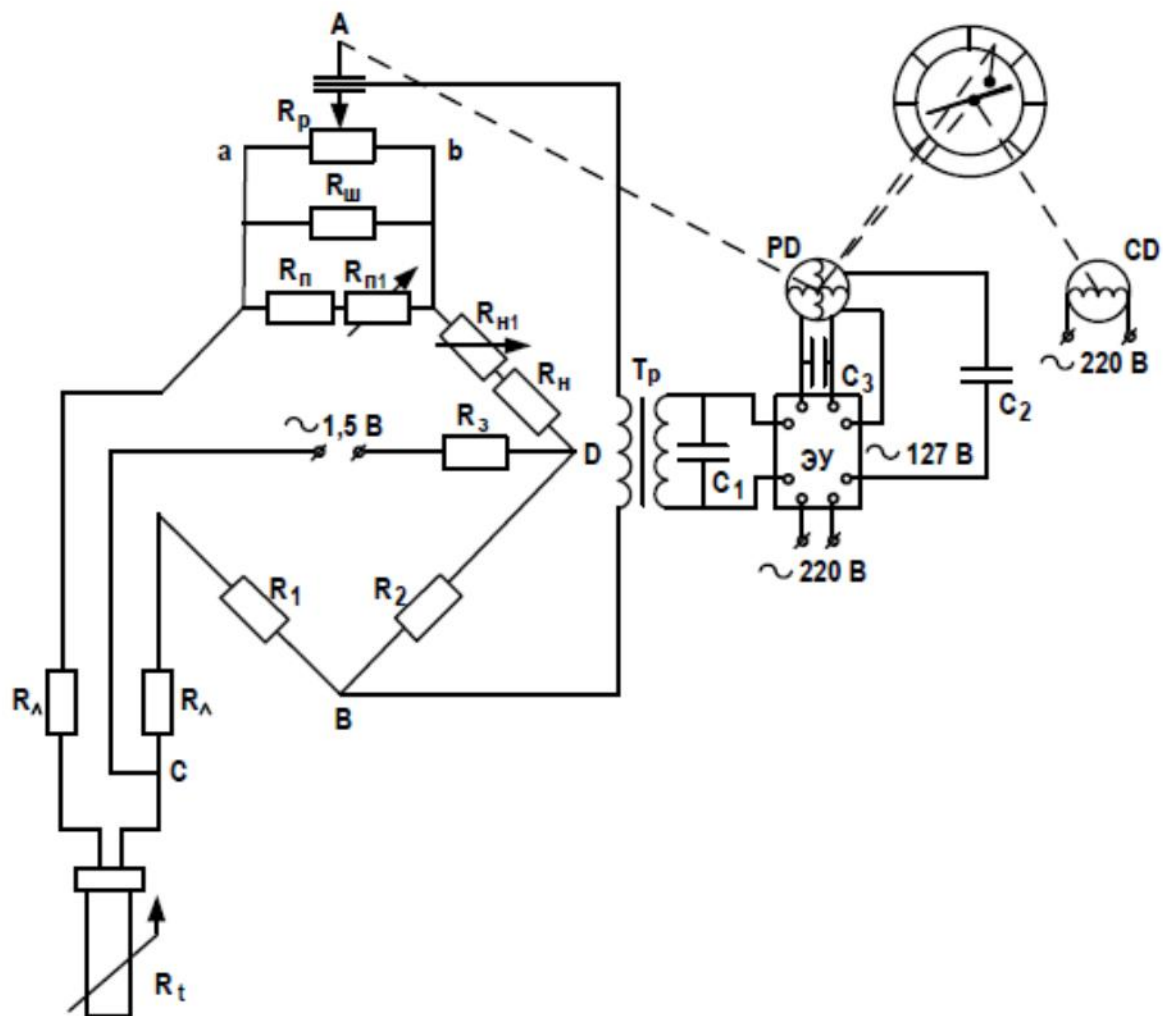


Рис. 1 – Принципова схема автоматичного електронного врівноваженого мосту

Призначення опорів резисторів схеми мосту таке:

$R_p$  – опір реохорду; становить 130 Ом із манганінового дроту та 270 Ом із сплаву ПЛВ-20;

$R_ш$  – опір шунту реохорда;

$R_n$  – опір кінця шкали приладу;

$R_{n1}$  – опір підстроювання кінця шкали при градуюванні приладу;

$R_n$  – опір початку шкали приладу;

$R_{n1}$  – опір підстроювання початку шкали при градуюванні приладу;

$R_1$  і  $R_2$  – опір плечей мосту;

$R_3$  – опір обмеження сили струму живлення вимірювальної схеми;

$R_n$  – опори припасування з'єднувальних дротів (ліній), що йдуть від термоперетворювача до електронного мосту (по 2,5 Ом кожне);

$R_t$  – опір термоперетворювача.

В автоматичних електронних мостах застосовується фазочутливий напівпровідниковий електронний підсилювач змінного струму типу У2-01, який відрізняється тим, що він не має вібраційного перетворювача частоти струму, як це має місце в підсилювачах для потенціометрів, реверсивний двигун типу Д-32 і синхронний двигун типу ДСД2-П1. Вимірювальна схема моста живиться змінним струмом напругою 1,5 В, частотою 50 Гц від силового трансформатора підсилювача, який подається до точок СД. Живлення силового ланцюга автоматичних електронних мостів проводиться від мережі змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц.

В даний час у промисловості застосовуються автоматичні електронні мости таких типів:

КСМ1 – що показують, із записом на прямокутній діаграмі: ширина діаграми 100 мм, розміри корпусу: висота 200 мм, ширина 160 мм, глибина 500 мм; маса 12,5 кг, споживана потужність 16 Вт;

КСМ2 – що показують, із записом на прямокутній діаграмі, одноточкові та багатоточкові, ширина діаграми 160 мм, розміри корпусу: висота 320 мм, ширина 240 мм, глибина 492 мм; маса 20 кг, споживана потужність 30 Вт;

КСМ3 – що показують, із записом на дисковій діаграмі діаметром 250 мм у полярних координатах, одноточкові, розміри корпусу: висота 320 мм, ширина 320 мм, глибина 395 мм; маса 16 кг, споживана потужність 35 Вт;

КСМ4 – що показують, із записом на прямокутній діаграмі що складається, шириною 250 мм; одноточкові та багатоточкові; розмір корпусу: висота 400 мм, ширина 400 мм, глибина 377 мм; маса 24 кг, споживана потужність 28-30 Вт;

ДИСК 250 – що показують, із записом на дисковій діаграмі діаметром 250 мм у полярних координатах, одноточкові; розміри корпусу: висота 320 мм, ширина 320 мм, глибина 260 мм; маса 12 кг, споживана потужність 25 Вт.

Автоматичні електронні мости випускаються без регулюючого пристрою, з дво- та трипозиційним електричним регулюючим пристроєм, з 10 і 100%-вим реостатним задатчиком, з пневматичним пропорційно-інтегральним регулюючим пристроєм, який складається з регулюючого блоку БР-2, блоку інтегрального БІ-2 та пневматичного реле. Термоперетворювач опору підключається до мосту за трипровідною схемою

На рис. 2 показано схеми зовнішніх підключень електронного автоматичного моста.

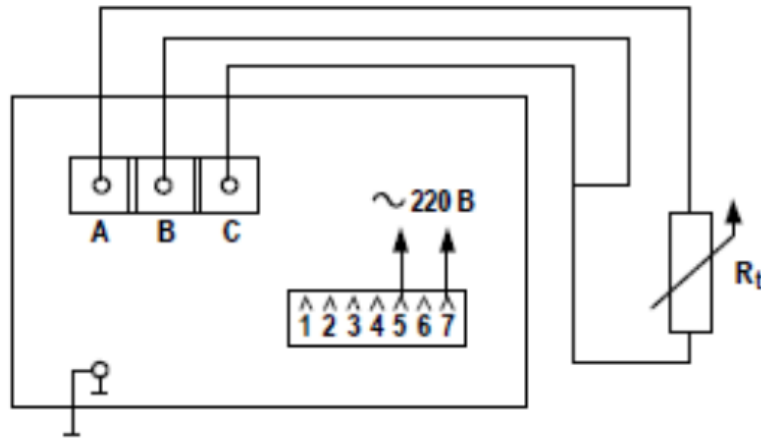


Рис. 2 – Схема зовнішніх підключень автоматичного електронного моста КСМ-3

У табл.1 наведено номінальні статичні характеристики та межі вимірювань автоматичних електронних мостів.

Таблиця 1 – Статичні характеристики та межі вимірювань автоматичних електронних мостів

Номінальна статистична характеристика (градування)	Межі виміру	Тип мосту				
		КСМ1	КСМ2	КСМ3	КСМ4	ДИСК 250
1	2	3	4	5	6	7
Гр. 21	(- 200) - (- 70)	+	+	-	+	-
	(- 120) - (+ 30)	+	+	-	+	-
	(- 70) - (+ 180)	+	+	-	+	-
	0 - 100	+	+	-	+	-
	0 - 150	+	+	-	+	-
	0 - 200	+	+	-	+	-
	0 - 300	+	-	-	+	-
	0 - 400	+	+	-	+	-
	0 - 500	+	+	-	+	-
	200 - 500	+	-	-	+	-

Продовження табл.1

10П	0 - 300	+	-	-	+	+
	0 - 400	+	+	-	+	+
	0 - 500	+	-	-	+	+
	0 - 650	+	+	+	+	+
	300 - 650	+	+	+	+	+
50П	(- 200) - (- 70)	-	+	+	-	+
	(- 120) - (+ 30)	-	+	+	-	+
	(- 70) - (+ 180)	-	+	+	-	-
	0 - 100	-	+	-	-	+
	0 - 150	-	-	-	-	+
	0 - 200	-	+	+	-	+
	0 - 300	-	-	-	-	+
	0 - 400	-	+	-	-	+
	0 - 500	-	+	+	-	-
	50 - 150	-	-	+	-	+
	200 - 500	-	-	-	-	+
100П	(- 200) - (- 70)	+	+	+	+	+
	(- 200) - (+ 50)	+	+	+	+	+
	(- 120) - (+ 30)	+	+	+	+	+
	(- 90) - (+ 50)	+	-	+	+	-
	(- 70) - (+ 180)	+	+	+	+	+
	(- 25) - (+ 25)	+	+	+	+	+
	0 - 50	+	+	-	+	+
100П	0 - 100	+	+	-	+	+
	0 - 150	+	-	+	+	-
	0 - 200	+	+	-	+	+
	0 - 300	+	-	-	+	+
	0 - 400	+	+	-	+	-
	0 - 500	+	+	+	+	-
	200 - 500	+	-	-	+	-
50М	(- 50) - 0	-	+	-	+	+
	(- 50) - (+ 50)	-	-	+	+	+
	(- 50) - (+ 100)	-	+	+	+	+
	0 - 50	-	+	+	+	+
	0 - 100	-	+	-	+	+
	0 - 150	-	-	-	+	+
	0 - 180	-	+	+	+	+
	50 - 100	-	-	+	+	+

Закінчення табл.1

100M	(- 50) - 0	+	-	-	+	+
	(- 50) - (+ 50)	+	+	-	+	+
	(- 50) - (+ 100)	+	+	+	+	+
	(- 25) - (+ 25)	+	+	-	+	+
	0 - 25	+	+	-	+	+
	0 - 50	+	-	-	+	+
	0 - 100	+	+	-	+	+
	0 - 150	+	-	+	+	+
	0 - 180	+	+	+	+	+
	1 - 100	+	-	+	+	+

*Примітка:*

Гр. 21, 10П, 50П, 100П – для платинових термоперетворювачів;  
50М, 100М – для мідних термоперетворювачів опору.

## 2. Розрахунок вимірювальної схеми автоматичного мосту

Для розрахунку вимірювальної схеми автоматичного електронного моста повинні бути задані наступні вихідні дані: тип моста, його номінальна статична характеристика, верхня та нижня межі вимірювання температури, клас точності приладу, опір реохорда, відстань від місця встановлення термоперетворювача опору до місця встановлення автоматичного електронного моста.

В основу розрахунку вимірювальної схеми покладено умову рівноваги електричного моста, суть якого полягає в тому, що добуток опорів навхрест лежачих пліч рівні між собою.

При верхній межі вимірювання датчик має максимальний опір і двигун реохорду повинен знаходитись у точці **a** (рис.1). Тоді рівняння рівноваги моста запишеться в наступному вигляді:

$$R_2 \cdot (R_{\text{max}} + R_{\text{л}}) = (R_1 + R_{\text{л}}) \cdot (R_{\text{н}} + R_{\text{пр}}) . \quad (1)$$

При нижній межі вимірювання датчик має мінімальний опір і двигун реохорда повинен знаходитися в точці **b**. Рівняння рівноваги моста в цьому випадку матиме вигляд:

$$R_2 \cdot (R_{\text{min}} + R_{\text{л}} + R_{\text{пр}}) = (R_1 + R_{\text{л}}) \cdot R_{\text{н}} , \quad (2)$$

де  $R_{пр}$  – наведений опір реохорду.

Для обчислення наведеного опору реохорда потрібно з рівняння (1) відняти рівняння (2). В результаті отримаємо

$$R_{пр} = \frac{R_2 \cdot (R_{tmax} - R_{tmin})}{R_1 + R_2 + R_{л}} \quad (3)$$

Опір установки верхньої межі шкали приладу  $R_{п}$  визначається за величиною наведеного  $R_{пр}$  і еквівалентного опору реохорда. Наведений опір реохорду складається з паралельно включених опорів  $R_p$ ,  $R_{ш}$  та  $R_{п}$ .

У свою чергу еквівалентний опір реохорду дорівнює

$$R_3 = \frac{R_p \cdot R_{ш}}{R_p + R_{ш}}$$

Таким чином

$$R_{пр} = \frac{R_3 \cdot R_{п}}{R_3 + R_{п}} \quad (4)$$

звідси

$$R_{п} = \frac{R_3 \cdot R_{пр}}{R_3 - R_{пр}} \quad (5)$$

Величина  $R_3$  у всіх автоматичних електронних мостів приведена до стандартного значення і дорівнює 90 Ом.

Величина опору  $R_1$  знаходиться з умови його рівності опору датчика в середній точці діапазону вимірювання, тобто

$$R_1 = R_{tmin} + R_{л} + \frac{R_{tmax} - R_{tmin}}{2} + \frac{R_{tmax} - R_{tmin}}{4} \quad (6)$$

Для збільшення чутливості вимірювальної схеми опір  $R_2$  береться рівним опору  $R_1$ .

Значення опору початку шкали  $R_{н}$  визначається з рівняння

$$R_{н} = \frac{R_2 \cdot (R_{tmin} + R_{пр} + R_{л})}{R_1 + R_{л}} \quad (7)$$

Величини змінних опорів підстроювання нижньої та верхньої меж шкали приладу  $R_{н1}$  і  $R_{п1}$  беруться рівними 10% від величин опорів  $R_{н}$  і  $R_{п}$ . Максимальна сила струму живлення визначається за формулою

$$I_{\max} = \frac{U}{R_{\min} + R_3 + R_{\text{пр}} + R_{\text{л}} + R_{\text{н}}} \quad (8)$$

де  $U$  – напруга струму живлення вимірювальної схеми.

З міркувань усунення самонагрівання датчика струмом живлення величина струму  $I_{\max}$ , що проходить через нього, не повинна перевищувати 8 мА. Відповідно до цього з формули (8) знаходиться величина опору обмеження струму живлення

$$R_3 = \frac{U}{I_{\max}} - (R_{\min} + R_{\text{пр}} + R_{\text{л}} + R_{\text{н}}). \quad (9)$$

Опір вимірювальної схеми  $\Delta R$  визначається з умови рівноваги моста при опорі термоперетворювача, що дорівнює початку шкали приладу, за формулою

$$\Delta R = \frac{R_{\text{н}} \cdot (R_1 + R_{\text{л}}) - R_2 \cdot (R_{\text{пр}} - R_{\text{л}})}{R_2} \quad (10)$$

Мінімальний розбаланс напруги (мВ) на виході вимірювальної схеми обчислюють за формулою

$$\Delta U = \frac{\delta \cdot I \cdot \Delta R}{100} \quad (11)$$

де  $I$  – сила струму живлення, мА;

$\delta$  – клас точності приладу, %.

Розрахунок реохорда проводиться так само, як і для автоматичного потенціометра.

### 3. Конструктивний розрахунок реохорду

Реохорд є круглою шиною, на яку намотаний манганіновий дріт опору.

Задаються питомою кількістю витків дроту  $n_{num}$ , т.т. числом витків, що припадають на 1% шкали мосту. Зазвичай питома кількість витків беруть рівним 12-16. Тоді загальна кількість витків дорівнюватиме

$$n = 100 \cdot n_{num} \quad (12)$$

Довжина намотки опору реохорду  $L_p$  дорівнює

$$L_p = \pi \cdot D \cdot \frac{\varphi}{360}, \quad (13)$$

де  $D$  – діаметр реохорду;

$\varphi$  – центральний кут робочої частини намотки (зазвичай він дорівнює  $315^\circ$ ).

Діаметр намотувального дроту  $d_{др} = L_p / n$ .

За довідковими даними (Додаток 6) знаходять діаметр манганінового дроту та його опір  $r$ , що відповідає довжині одного метру дроту. Тоді необхідна довжина намотувального дроту

$$L = \frac{R_p}{r}.$$

Діаметр шини реохорду, на яку намотується манганіновий дріт, визначається за формулою

$$d_{ш} = \frac{l - d_{др}}{\pi}, \quad (14)$$

де  $l$  – довжина одного витку дроту, що визначається за формулою

$$l = \frac{L}{n}.$$

#### 4. Зразковий розрахунок автоматичного мосту

**Завдання:** розрахувати вимірювальну схему рівноважного автоматичного електронного моста змінного струму типу КСМ-3 для вимірювання температури від 0 до 150°C. працюючого з платиновим термоперетворювачем опору, градуювання якого 100П. Клас точності приладу 0,5. Опір підгонки з'єднувальних проводів дорівнює 2,5 Ом кожне. Живлення вимірювальної схеми 1,5В, частота 50Гц.

Рішення:

1. Визначають опір шунту реохорду

$$R_{ш} = \frac{R_3 \cdot R_p}{R_p - R_3} = \frac{90 \cdot 130}{130 - 90} = 292,5 \text{ Ом.}$$

2. Визначають величини опорів плечей моста  $R_1$  та  $R_2$ . Для цього по градуювальній таблиці (Додаток 3) для термоперетворювача опору 100П знаходять

$$R_{t \min} \text{ при } 0 \text{ }^\circ\text{C} = 100 \text{ Ом;}$$
$$R_{t \max} \text{ при } 150 \text{ }^\circ\text{C} = 158,2 \text{ Ом.}$$

$$R_1 = R_{t \min} + R_{л} + \frac{R_{t \max} - R_{t \min}}{2} + \frac{R_{t \max} - R_{t \min}}{4} =$$
$$= 100 + 2,5 + \frac{158,2 - 100}{2} + \frac{158,2 - 100}{4} = 146,15 \text{ Ом.}$$

Опір  $R_2$  приймають рівним 146,15 Ом.

3. Наведений опір реохорду

$$R_{пр} = \frac{R_2 \cdot (R_{t \max} - R_{t \min})}{R_1 + R_2 + R_{л}} = \frac{146,15 \cdot (158,2 - 100)}{146,15 + 146,15 + 2,5} = 28,87 \text{ Ом.}$$

4. Визначають опір кінця шкали приладу (верхньої межі виміру)

$$R_{п} = \frac{R_3 \cdot R_{пр}}{R_3 - R_{пр}} = \frac{90 \cdot 28,87}{90 - 28,87} = 42,5 \text{ Ом.}$$

5. Опір початку шкали приладу

$$R_{н} = \frac{R_2 \cdot (R_{t \min} + R_{пр} + R_{л})}{R_1 + R_{л}} = \frac{146,15 \cdot (100 + 28,87 + 2,5)}{146,15 + 2,5} = 129,3 \text{ Ом}$$

6. Опір підстроювання початку і кінця шкали

$$R_{н1} = 129,3 \cdot 0,1 = 12,9 \text{ Ом,}$$

$$R_{п1} = 42,5 \cdot 0,1 = 4,25 \text{ Ом.}$$

7. Сила струму живлення вимірювальної схеми

$$I = \frac{U}{R_{\text{min}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{л}} + R_{\text{н}}} = \frac{1,5}{100 + 28,87 + 2,5 + 129,3} = 0,0057 \text{ А, или } 5,7 \text{ мА.}$$

Отримана величина  $I$  менше 8 мА, тому опір обмеження струму живлення у вимірювальній схемі не потрібний.

8. Мінімальний розбаланс напруги на виході вимірювальної схеми

$$\Delta U = \frac{\delta \cdot I \cdot \Delta R}{100} = \frac{0,5 \cdot 0,0057 \cdot 75,3}{100} = 0,0021 \text{ В, або } 2,1 \text{ мВ.}$$

$$\text{де } \Delta R = \frac{R_{\text{н}} \cdot (R_1 + R_{\text{л}}) - R_2 \cdot (R_{\text{пр}} - R_{\text{л}})}{R_2} =$$

$$= \frac{100 \cdot (146,15 + 2,5) - 146,15 \cdot (28,87 - 2,5)}{146,15} = 75,3 \text{ Ом}$$

### 5. Зразковий розрахунок реохорду

Приймають питому кількість витків реохорду  $n_{\text{пит}} = 13$  на 1 % шкали.

Тоді число витків намотки реохорду

$$n = 100 \cdot n_{\text{пит}} = 100 \cdot 13 = 1300 \text{ витків.}$$

Діаметр реохорду приймають рівним 125 мм. Тоді довжина намотки реохорду

$$L_p = \pi \cdot D \cdot \frac{\varphi}{360} = 3,14 \cdot 125 \cdot \frac{315}{360} = 343,4 \text{ мм.}$$

Діаметр намотувального дроту з ізоляцією

$$d_{\text{др}} = \frac{L_p}{n} = \frac{343,4}{1300} = 0,264 \text{ мм.}$$

Обирають манганіновий дріт діаметром 0,25 мм. Опір одного метру цього дроту  $r = 8,76 \text{ Ом}$ .

Загальна довжина намотувального дроту

$$L = \frac{R_p}{r} = \frac{130}{8,76} = 14,84 \text{ м.}$$

Довжина одного витка

$$l = \frac{L}{n} = \frac{14,84}{1300} = 0,0114 \text{ м.}$$

Діаметр шини реохорду

$$d_{ш} = \frac{l - d_{др}}{\pi} = \frac{0,0114 - 0,00025}{3,14} = 0,00355 \text{ м.}$$

Приймають діаметр шини 4 мм.



Градувальна характеристика мідних термоперетворювачів опору типу ТСМ градувань 100М та 10М\* для діапазону температур – 200 /+ 200°C

Температура, С	Опір термоперетворювача, Ом					
	0	2	4	6	8	9
<b>-200</b>	12,160	-	-	-	-	-
<b>-180</b>	20,610	19,730	18,850	17,980	17,120	16,70
<b>-160</b>	29,620	28,710	27,800	26,890	25,99,	25,53
<b>-140</b>	38,730	37,820	36,460	35,550	34,440	34,64
<b>-120</b>	47,690	46,800	45,900	45,000	44,100	43,65
<b>-100</b>	56,610	55,720	54,830	53,940	53,050	52,60
<b>-80</b>	65,420	64,540	63,660	62,790	61,910	61,47
<b>-60</b>	74,150	73,280	72,410	71,540	70,670	70,23
<b>-40</b>	82,810	81,950	81,080	80,220	79,350	78,92
<b>-20</b>	91,420	90,560	89,700	88,840	87,980	87,55
<b>-0</b>	100,000	99,144	98,288	97,432	96,576	96,14
<b>0</b>	100,000	100,856	101,712	102,568	103,424	103,85
<b>20</b>	108,563	109,419	110,275	111,131	111,988	112,41
<b>40</b>	117,124	117,980	118,836	119,696	120,548	120,97
<b>60</b>	125,684	126,540	127,396	128,252	129,107	129,53
<b>80</b>	134,242	135,098	135,954	136,810	137,686	138,1
<b>100</b>	142,800	143,656	144,512	145,368	146,224	146,65
<b>120</b>	151,357	152,213	153,069	153,942	154,780	155,21
<b>140</b>	159,913	160,769	161,625	162,481	163,336	163,76
<b>160</b>	168,470	169,326	169,999	171,037	171,893	172,32
<b>180</b>	177,026	177,882	178,738	179,594	180,449	180,87
<b>200</b>	185,583	-	-	-	-	-

\* – значення ділити на 10.

Градувальна характеристика платинових термоперетворювачів опору типу ТСП для діапазону температур – 260 /+ 1100 °С градувань 100 П, 10 П\* та 1 П\*

Температура, С	Опір термоперетворювача, Ом									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-260	0,406	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-250	1,022	0,919	0,827	0,745	0,673	0,610	0,555	0,507	0,465	0,430
-200	17,307	16,878	16,450	16,020	15,598	15,174	14,751	14,329	13,910	13,490
-150	38,799	38,374	37,950	37,520	37,100	36,676	36,252	35,827	35,400	34,970
-100	59,621	59,210	58,799	58,387	57,975	57,563	57,151	56,739	56,320	55,910
-50	79,983	79,580	79,157	78,771	78,368	77,963	77,559	77,155	76,750	76,340
0	100,000	100,390	100,790	101,190	101,580	101,980	102,380	102,770	103,170	103,560
50	119,710	120,100	120,490	120,880	121,270	121,660	122,050	122,440	122,830	123,220
100	139,110	139,490	139,880	140,260	140,650	141,030	141,420	141,810	142,190	142,570
150	158,220	158,600	158,980	159,350	159,730	160,110	160,490	160,870	161,250	161,630
200	177,030	177,410	177,770	178,150	178,520	178,900	179,270	179,640	180,010	180,390
250	195,550	195,920	196,280	196,650	197,020	197,390	197,750	198,120	198,480	198,850
300	213,780	214,140	214,500	214,860	215,220	215,580	215,940	216,310	216,660	217,030
350	231,710	232,070	232,420	232,780	233,130	233,490	233,840	234,200	234,550	234,910
400	249,350	249,710	250,050	250,410	250,750	251,100	251,450	251,800	252,150	252,500
450	266,710	267,050	267,390	267,730	268,080	268,420	268,760	269,110	269,450	269,800
500	283,760	284,100	284,430	284,770	285,110	285,440	285,780	286,120	286,460	286,790
550	300,510	300,840	301,170	301,510	301,830	302,170	302,5	302,830	303,160	303,490
600	316,960	317,280	317,610	317,930	318,260	318,580	318,910	319,230	319,560	319,880
650	333,090	333,410	333,730	334,050	334,370	334,690	335,010	335,330	335,650	335,970
700	348,930	349,240	324,550	349,860	350,180	350,490	350,810	351,120	351,430	351,740
750	364,470	364,770	365,080	365,390	365,700	366,000	366,310	366,620	366,920	367,230
800	379,710	380,020	380,320	380,620	380,920	381,220	381,520	381,820	382,120	382,430
850	394,670	394,960	395,260	395,560	395,850	396,150	396,440	396,740	397,030	397,330
900	409,330	409,620	409,910	410,200	410,490	410,780	411,070	411,360	411,650	411,940
950	423,690	423,980	424,260	424,550	424,830	425,120	425,040	425,690	425,970	426,230
1000	437,770	438,050	438,330	438,610	438,880	439,160	439,440	439,720	440,000	440,270
1050	451,550	451,820	452,100	452,370	452,640	452,910	453,180	453,460	453,730	454,000
1100	465,050	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\*– Значення ділити на 10 та 100, відповідно.

## Додаток 4

Градувальна характеристика для платинових термоперетворювачів опору типу ТСП для діапазону температур – 260 /+ 1100 градувань 500\* П, 50П та 5П\*

Температура, С	Опір термоперетворювача, Ом									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-260	0,203	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-250	0,511	0,460	0,414	0,373	0,336	0,305	0,278	0,254	0,233	0,215
-200	8,654	8,439	8,225	8,012	7,799	7,587	7,376	7,165	6,955	6,746
-150	19,390	19,180	18,970	18,760	18,550	18,330	18,120	17,910	17,700	17,480
-100	29,810	29,600	29,390	29,190	28,980	28,780	28,570	28,360	28,160	27,950
-50	39,990	39,790	39,580	39,380	39,180	38,980	38,770	38,570	38,370	38,170
0	50,000	50,190	50,390	50,590	50,790	50,990	51,190	51,380	51,580	51,780
50	59,850	60,050	60,240	60,440	60,630	60,830	61,020	61,220	61,410	61,610
100	69,5	69,740	69,940	70,130	70,320	70,510	70,710	70,900	71,090	71,280
150	79,110	79,300	79,480	79,670	79,860	80,050	80,240	80,430	80,620	80,810
200	88,510	88,700	88,880	89,070	89,250	89,440	89,630	89,820	90,000	90,190
250	97,770	97,960	98,140	98,320	98,510	98,690	98,870	99,060	99,240	99,420
300	106,880	107,070	107,250	107,430	107,610	107,790	107,970	108,150	108,330	108,510
350	115,850	116,030	116,210	116,390	116,560	116,740	116,920	117,100	117,270	117,450
400	124,670	124,850	125,020	125,200	125,370	125,550	125,720	125,900	126,070	126,250
450	133,350	133,520	133,690	133,860	134,040	134,210	134,380	134,550	134,720	134,890
500	141,880	142,050	142,210	142,380	142,550	142,720	142,890	143,060	143,230	143,390
550	150,250	150,420	150,580	150,750	150,910	151,080	151,250	151,410	151,580	151,740
600	158,480	158,640	158,800	158,960	159,130	159,290	159,450	159,610	159,780	159,940
650	166,540	166,710	166,860	167,020	167,180	167,340	167,500	167,660	167,820	167,980
700	174,460	174,620	174,770	174,930	175,090	175,240	175,400	175,560	175,710	175,870
750	182,230	182,380	182,540	182,690	182,850	183,000	183,150	183,310	183,460	183,610
800	189,850	190,010	190,160	190,310	190,460	190,610	190,760	190,910	191,060	191,210
850	197,330	197,480	197,630	197,780	197,920	198,070	198,220	198,370	198,510	198,660
900	204,660	204,810	204,950	205,100	205,240	205,390	205,530	205,680	205,850	205,970
950	211,840	211,020	212,130	212,270	212,410	121,560	212,700	212,840	212,980	213,120
1000	218,880	219,020	219,160	219,300	219,440	219,580	219,720	219,860	220,000	220,130
1100	232,520	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* – Значення множити або ділити на 10, відповідно.

Градуювальна таблиця платинового термоперетворювача опору типу ТСП  
для діапазону температур – 200 /+ 500 градуювання 21

Температура, °С	Опір, Ом	Температура, °С	Опір, Ом	Температура, °С	Опір, Ом
-200	8,15	40	53,22	280	94,75
-190	10,15	50	55,01	290	96,41
-180	12,13	60	56,80	300	98,07
-170	14,10	70	58,58	310	99,72
-160	16,05	80	60,36	320	101,37
-150	17,99	90	62,13	330	103,01
-140	19,92	100	63,89	340	104,64
-130	21,84	110	65,65	350	106,27
-120	23,75	120	67,41	360	107,90
-110	25,64	130	69,16	370	109,52
-100	27,53	140	70,90	380	111,13
-90	29,41	150	72,64	390	112,74
-80	31,28	160	74,37	400	114,35
-70	33,14	170	76,10	410	115,94
-60	35,00	180	77,82	420	117,54
-50	36,85	190	79,54	430	119,13
-40	38,69	200	81,25	440	120,71
-30	40,53	210	82,96	450	122,28
-20	42,36	220	84,66	460	123,86
-10	44,18	230	86,35	470	125,42
0	46,00	240	88,04	480	126,98
10	47,81	250	89,73	490	128,54
20	49,62	260	91,40	500	130,09
30	51,42	270	93,08	—	—

## Основні дані дротів високого опору

Діаметр дроту, мм	Площа перерізу, мм <sup>2</sup>	Манганін		Нікелін		Реотан	
		Опір 1 м дроту при 20°C, Ом	Вага 100 м, г	Опір 1 м дроту при 20 °С, Ом	Вага 100 м, г	Опір 1 м дроту при 20 °С, Ом	Вага 100 м, г
0,03	0,0007	606	0,58	566	0,62	662	0,62
0,05	0,0020	220	1,59	204	1,73	240	1,70
0,07	0,0039	112	3,1	104	3,39	122	3,35
0,08	0,0050	85,4	4,1	79,5	4,43	93,4	4,75
0,10	0,0079	54,8	6,4	51,0	6,91	59,8	6,8
0,15	0,0177	24,3	14,4	22,6	15,6	26,6	15,4
0,20	0,0314	13,7	25,6	12,7	27,6	15,0	27,3
0,25	0,0491	8,76	40,0	8,14	43,4	9,57	42,7
0,30	0,0707	6,04	57,5	5,66	66,2	6,64	61,5
0,35	0,0962	4,47	78,2	4,16	84,6	4,88	83,7
0,40	0,1257	3,42	102,3	3,18	111	3,79	110
0,45	0,1590	2,71	129,5	2,53	140	2,95	138
0,50	0,1964	2,20	159,8	2,04	173	2,40	171
0,60	0,2827	1,52	230,1	1,37	249	1,65	246
0,70	0,3848	1,12	313,3	1,04	339	1,22	335
0,80	0,5027	0,854	409,2	0,795	443	0,934	438
0,90	0,6362	0,675	517,8	0,629	560	0,734	554
1,00	0,7854	0,542	693,3	0,510	691	0,598	683

Варіанти розрахунково-графічних завдань з дисципліни «Контроль та управління ХТП»

Розрахунок автоматичного моста КСМ					
№ з/п	Діапазон вимірювання, °С	Градування	Опір підгонки, Ом	Опір реохорда, Ом	Напруга живлення мостової схеми, В
1					
2					
3	(-200) - (-70)	21	2	130	1.5
4	(-70) - 180	21	2	270	2
5					
6					
7	0 - 100	21	2.5	130	1.5
8	0 - 200	21	2.5	270	2
9					
10					
11	200 - 500	21	2.5	130	1.5
12	0 - 400	21	2	130	1.5
13					
14					
15	(-120) - 30	50П	2	270	2
16	0 - 300	50П	2	270	2
17					
18					
19	(-50) - 0	50М	2.5	130	1.5
20	0 - 100	50М	2.5	270	2
21					
22					
23	(-50) - 50	100М	2	130	1.5
24	0 - 25	100М	2.5	130	1.5
25	0 -180	100М	2.5	130	1.5

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, та ін. „ Промислові засоби автоматизації. Ч. 1. Вимірювальні пристрої ” / За заг. ред. А.К. Бабіченка: Навч. посібник. – Харків: НТУ „ХП”, 2002 р. – 615 с.
2. Проектування систем автоматизації технологічних процесів: Навч. посібник / В.І. Тошинський, М.О. Подустов та ін. – Харків: НТУ «ХП», 2006. – 412 с.
3. Лобойко В.О. та ін. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “ Контроль та керування хіміко-технологічними процесами ” для студентів очної та заочної форм навчання. – Х.: НТУ «ХП», 2021. – 36 с.
4. Методичні вказівки «Розрахунок і вибір автоматичних електронних потенціометрів для вимірювання температури» до виконання розрахункового завдання з курсів «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами» і «Автоматизація виробництв та прилади екологічного контролю та моніторингу» для студентів спеціальностей: 161 – “Хімічні технології та інженерія” та 101 – “Екологія” усіх форм навчання / Уклад. В. О. Лобойко, Р.М. Ворожбіян, – Харків: НТУ«ХП», 2024. – 23с.

## ЗМІСТ

Вступ .....	3
1. Принцип дії, побудова та технічні характеристики .....	4
2. Розрахунок вимірювальної схеми автоматичного мосту .....	9
3. Конструктивний розрахунок реохорду .....	11
4. Зразковий розрахунок автоматичного мосту .....	13
5. Зразковий розрахунок реохорду.....	14
Додаток 1 .....	16
Додаток 2 .....	17
Додаток 3 .....	18
Додаток 4 .....	19
Додаток 5 .....	20
Додаток 6 .....	21
Додаток 7 .....	22
Список джерел інформації .....	23
Зміст .....	24

Навчальне видання

Методичні вказівки

«Розрахунок і вибір автоматичних електронних мостів для вимірювання температури» до виконання розрахункового завдання з дисципліни «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами» для студентів спеціальності: G1 – «Хімічні технології та інженерія» усіх форм навчання

Укладач:

ЛОБОЙКО Вячеслав Олексійович

Відповідальний за випуск доц. Красніков І. Л.

Роботу до видання рекомендувала доц. Крилова В.А.

В авторській редакції

План 2026 р., поз. 152

Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,2

---

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК No 5478 від 21.08.2017 р.  
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

---

Електронне видання