

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

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

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 15.02.2024 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2024

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 ; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2024. –23 с.

Укладачі: В. О. Лобойко,
Р. М. Ворожбіян

Рецензент О. М. Дзевочко

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 термоелектричного перетворювача, а також закріплення теоретичних знань за даною темою з курсів «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами» і «Автоматизація виробництв та прилади екологічного контролю та моніторингу».

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

РОЗРАХУНОК І ВИБІР АВТОМАТИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПОТЕНЦІОМЕТРІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

1. Принцип дії, побудова та технічні характеристики

Автоматичні електронні потенціометри застосовуються для вимірювання, запису, сигналізації та автоматичного регулювання температури. Працюють вони в комплекті з термоелектричними термометрами (термопарами), радіаційними та фотоелектричними пірометрами. Крім того, автоматичні електронні потенціометри можуть застосовуватися з тими датчиками, які перетворюють вимірюваний параметр в напругу постійного струму [1 - 4].

Сутність методу вимірювання полягає в врівноважуванні (компенсації) вимірюваної ЕРС падінням напруги на опорі реохорду від стороннього джерела постійного струму, в якості якого застосовується стабілізоване джерело живлення напругою 1 В.

На рис. 1 показана принципова схема електронного потенціометра. Він складається з вимірювального блоку, виконаного у вигляді мосту, утвореного резисторами з опорами R_p , $R_{ш}$, $R_{п}$, $R_{в.п}$, $R_{н}$, R_1 , R_m , R_2 , джерела стабілізованого живлення ДЖС, електронного фазочутливого напівпровідникового підсилювача змінного струму ЕП типу У1-01, реверсивного електродвигуна РД, синхронного електродвигуна СД, шкали з вказівною стрілкою та пером для запису на діаграмному папері вимірюваної температури в часі.

Призначення опорів вимірювального блоку потенціометра наступне:

R_p -опір реохорду; у разі виготовлення з манганінового дроту становить для всіх типів потенціометрів 130 Ом; у разі виготовлення зі сплаву ПЛВ-20 — 270 Ом;

$R_{ш}$ -опір шунту реохорду;

$R_{п}$ -опір кінця шкали потенціометра;

$R_{в.п}$ -опір припасування кінця шкали;

$R_{н}$ -опір початку шкали потенціометра;

R_1 -опір встанови робочого струму;

R_m - опір автоматичної компенсації ЕРС термоелектричного термометра при зміні температури його вільних кінців від умов градування, виготовлений з мідного або нікелевого дроту;

R_2 - опір зниження напруги живлення вимірювальної схеми потенціометра з 5 до 1 В від джерела стабілізованого живлення.

Джерело стабілізованого живлення типа ДЖС з вимірювальної схеми живиться від силового трансформатора підсилювача напругою 6,3 В змінного струму. На виході джерела стабілізованого живлення напруга становить 5 В постійного струму. Для зменшення впливу паразитних напруг служать фільтри, що складаються з резисторів $R_{ф1}$, $R_{ф2}$ та конденсаторів $C_{ф1}$ і $C_{ф2}$ по 50 Ом та по 510 мкФ кожен відповідно.

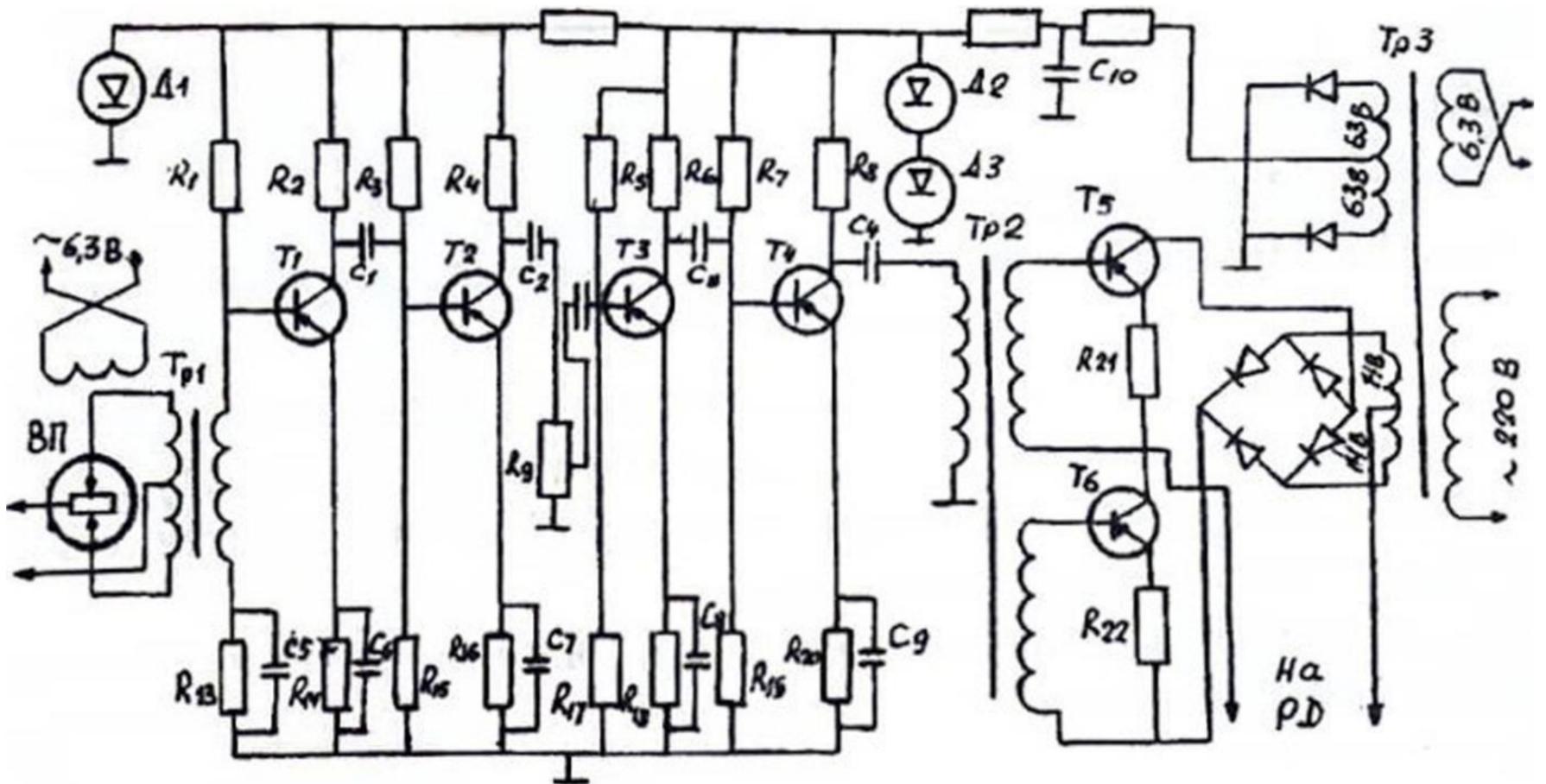


Рисунок 2-Принципова схема фазочутливого підсилювача типу П1-О1

Робота автоматичного електронного потенціометра складається з наступного. Під впливом вимірюваної температури в термоелектричному термометрі виникає ЕРС. При цьому в плечах вимірювального моста протікають струми I_1 , та I_2 , внаслідок чого між точками сід вимірювальної діагоналі виникає розбаланс напруги. При зміні температури термоелектричного термометра у ньому виникає якась невідома ЕРС E_x . У вимірювальній діагоналі с-d з'являється напруга розбалансу, яка надходить на фазочутливий підсилювач, де посилюється за напругою і потужністю, достатніх для приведення в обертання реверсивного двигуна. Ротор двигуна через редуктор механічно пов'язаний з движком реохорду і при своєму обертанні змінює опір реохорда, тим самим врівноважуючи вимірювальну схему потенціометра. Положення движка реохорда визначає значення вимірюваної ЕРС E_x термоелектричного термометра. Одночасно реверсивний двигун переміщує стрілку за шкалою приладу та перо на діаграмному папері. Якщо потенціометр має у своєму пристрої автоматичний регулятор, то реверсивний двигун переміщує механізм регулятора, який виробляє керуючий вплив виконавчому механізму регулятора. Напрямок обертання реверсивного двигуна залежить від напрямку фази сигналу, який надходить від вимірювальної схеми, що відбувається при підвищенні або зниженні вимірюваної температури.

Живлення силового ланцюга потенціометрів проводиться від мережі змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц.

Автоматичні електронні потенціометри бувають таких типів:

КСП1 — що показують, із записом на прямокутній діаграмі, одноточкові та багатоточкові; ширина діаграми 100 мм; розміри корпусу: висота 200 мм; ширина 160 мм; глибина 500 мм; маса 12,5 кг; споживана потужність 16 Вт;

КСП2 — 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;

КСПЗ — що показують, із записом на дисковій діаграмі в полярних координатах, одноточкові; розміри корпусу: висота 320 мм; ширина 320 мм; глибина 395 мм; маса 16 кг; споживана потужність 35 Вт;

КСП4 — що показують, із записом на прямокутній діаграмі, що складається, одноточкові і багатоточкові; ширина діаграми 250 мм; розміри 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 в полярних координатах, одноточкові; розміри корпусу: висота 320 мм, ширина 320 мм, глибина 260 мм; маса 12 кг; споживана потужність 25 Вт.

Автоматичні електронні потенціометри можуть виготовлятися без регулюючого пристрою, з двох- та трьохпозиційним електричним регулюючим пристроєм, з 10 та 100% -им реостатним задатчиком, з пневматичним пропорційно-інтегральним регулюючим пристроєм. Клас точності потенціометрів лежить у межах 0,25-0,5 %.

На рис. 3 показано схему зовнішніх підключень потенціометрів. У табл. 1 наведено номінальні статичні характеристики та межі вимірювання автоматичних електронних потенціометрів, що працюють у комплекті з термоелектричними термометрами. У табл. 2 наведено номінальні статичні характеристики та межі вимірювання автоматичних електронних потенціометрів, що працюють у комплекті з радіаційними пірометрами.

К термоэлектрическому термометру

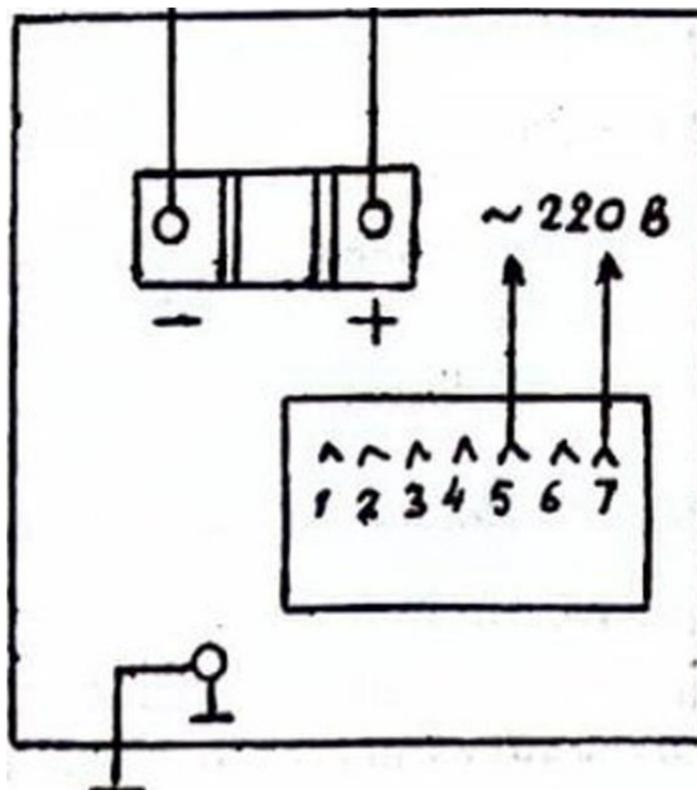


Рисунок 3-Схема зовнішніх підключень електронного електричного потенціометра

Таблиця 1-Номинальні статичні характеристики та межі вимірювання автоматичних електронних потенціометрів, що працюють у комплекті з термоелектричними термометрами

Номинальна статична характеристика (градування)	Межі виміру, °C	Тип потенціометра				
		КСП1	КСП2	КСП3	КСП4	ДИСК 250
1	2	3	4	5	6	7
ХК(L)	(-50)-(+50)	-	+	+	+	+
	(-50)-(+100)	+	+	-	+	-
	(-50)-(+150)	+	-	-	+	+
	(-50)-(+200)	+	+	+	+	+
	0-100	-	+	+	+	+
	0-150	+	-	+	+	-
	0-200	+	+	-	+	+
	0-300	+	+	-	+	+
	0-400	+	-	+	+	+
	0-600	+	+	+	+	+
	200-600	+	+	+	+	+
200-800	+	+	+	+	+	
ХА(K)	0-400	+	-	-	-	+
	0-600	+	+	-	+	+
	0-800	+	-	+	+	+
	0-900	+	+	-	+	+
	0-1100	+	-	+	+	+
	0-1300	+	+	+	+	+
	200-600	+	+	+	+	+

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
ХА(К)	200-1200	+	+	+	+	+
	400-900	+	+	+	+	+
	600-1100	+	+	-	+	+
	700-1300	+	+	+	+	+
ПП(S)	0-1300	+	-	-	+	+
	0-1600	+	+	+	+	+
	500-1300	-	+	+	+	+
ПР(В)	300-1000	-	-	+	-	+
	300-1600	-	+	+	-	-
	1000-1600	+	-	-	-	+
	1000-1800	-	+	+	+	+

Таблиця 2-Номінальні статичні характеристики та межі вимірювання автоматичних електронних потенціометрів, працюючих у комплекті з радіаційними пірометрами

Номінальна статична характеристика (градуювання)	Межі виміру, °С	Тип потенціометра			
		КСП1	КСП3	КСП4	A500
РК-15	400-1000	-	+	+	+
	600-1200	+	+	+	+
	700-1400	+	-	-	+
	700-1500	+	+	+	+
РК-20	600-1200	+	-	+	+
	700-1400	+	-	-	+
	700-1500	+	+	+	+
	800-1600	+	-	+	-
	900-1800	+	+	+	+
	1200-2000	+	+	+	-
РС-20	900-1800	+	+	+	+
	1200-2000	+	+	+	-
РС-25	1200-2000	+	-	+	-
	1500-2500	+	+	+	-

Примітка: у цих таблицях знак "+" означає, що прилад вимірює параметр у зазначених межах, а знак "-" означає, що прилад у зазначених межах параметр не вимірює.

2. Розрахунок вимірювальної схеми потенціометра

Для розрахунку вимірювальної схеми потенціометра повинні бути задані наступні вихідні дані: тип потенціометра, його номінальна статична характеристика, верхня та нижня межі вимірювання температури, межі вимірювання температури вільних кінців термоелектричного термометра, температура в корпусі потенціометра, опір реохорда, клас точності, тип термоелектричного термометра та його градуювання.

Вимірювальна схема потенціометра розраховується за мінімальною і максимальною ЕРС, що розвиваються термоелектричним термометром при заданих нижньому і верхньому межах вимірювання температури.

Розрахунок ведеться у наступному порядку. За градуювальною таблицею для даного термоелектричного термометра знаходять значення ЕРС для початку шкали E_{min} і кінця шкали E_{max} .

Визначають опір автоматичної компенсації температури вільних кінців термоелектричного термометра за формулою

$$R_M = \frac{E_{\theta_2} - E_{\theta_1}}{\alpha \cdot I_1 \cdot (\theta_2 - \theta_1)}, \quad (1)$$

де E_{θ_2} та E_{θ_1} – ЕРС термоелектричного термометру при заданих температурах вимірювання вільних кінців, які знаходять за таблицею (Додаток 1), мВ;

I_1 – сила струму, яку приймають рівною 1 – 2 мА;

α – температурний коефіцієнт опору мідного дроту, рівний $4,24 \cdot 10^{-3}$ 1/град;

θ_2 та θ_1 – температури вільних кінців термоелектричного термометру.

Визначають опір початку шкали R_n за умови, що движок реохорду знаходиться у точці a (див. схему на рис.1) та ЕРС, що вимірюється, E_{min} врівноважується падінням напруги між точками a і свід струму I_2 , тобто

$$E_{min} = I_2 \cdot R_n - I_1 \cdot R_M, \quad (2)$$

Звідки

$$R_n = \frac{E_{min} + I_1 \cdot R_M}{I_2},$$

де I_2 – сила струму, яка приймається рівною 2-4 мА.

Розраховують опір кінця шкали приладу R_n за наведеним опором реохорду $R_{пр}$ за умови, що движок реохорду повинен знаходитися у точці b , а різниця вимірюваних потенціалів $E_{max} - E_{min}$ врівноважується падінням напруги на наведеному опорі реохорду. На підставі цього наведений опір реохорду (Ом) розраховують за формулою

$$R_{np} = \frac{E_{max} - E_{min}}{I_2}. \quad (3)$$

Розраховував R_{np} , визначають опір межі вимірювання за формулою

$$R_n = \frac{R_{np} \cdot R_9}{R_9 - R_{np}}, \quad (4)$$

де R_9 – еквівалентний опір реохорду (Ом), що складається з паралельно ввімкнених опорів R_p та $R_{ш}$, визначається за формулою

$$R_9 = \frac{R_{ш} \cdot R_p}{R_{ш} - R_p}. \quad (5)$$

Для всіх приладів R_9 – стандартна величина, що дорівнює 90 Ом. Визначають опір шунта реохорду (Ом) за формулою

$$R_{ш} = \frac{R_p \cdot R_9}{R_p - R_9}. \quad (6)$$

Далі визначають опір підгонки верхньої межі вимірювання за формулою

$$R_{в.п.} = \frac{U_n - E_{max}}{I_2}, \quad (7)$$

де U_n – напруга живлення вимірювальної схеми, що дорівнює 1 В.

Опір R_1 установки робочого струму розраховують за формулою

$$R_1 = \frac{U_n}{I_1}. \quad (8)$$

Опір R_2 зниження напруги джерела живлення вимірювальної системи до 1 В визначають за формулою

$$R_2 = \frac{U_{д.жс} - U_n}{I_1 + I_2}, \quad (9)$$

де $U_{д.жс}$ – напруга, що подається на вимірювальну схему від стабілізованого джерела живлення.

Мінімальний розбаланс напруги, що подається на електронний посилювач на виході вимірювальної схеми (мВ), беруть рівним $0,05 E_{max}$ та визначають за формулою

$$U_{вих} = \frac{0,05 \cdot \delta \cdot E_{max}}{100}, \quad (10)$$

де δ – клас точності приладу.

3. Конструктивний розрахунок реохорду

Реохорд є круглою шиною, на яку намотаний манганіновий дріт опору. Задаються питомою кількістю витків дроту $n_{\text{пит}}$, т.т. числом витків, що припадають на 1% шкали потенціометра. Зазвичай питома кількість витків беруть рівним 12-16. Тоді загальна кількість витків дорівнюватиме

$$n = 100 \cdot n_{\text{пит}} \quad (11)$$

Довжина намотки опору реохорду L_p дорівнює

$$L_p = \pi \cdot D \cdot \frac{\varphi}{360}, \quad (12)$$

де D – діаметр реохорду;

φ – центральний кут робочої частини намотки (зазвичай він дорівнює 315 °С).

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

За довідковими даними (Додаток 5) 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

$$d_{\text{ши}} = \frac{l - d_{\text{др}}}{\pi}, \quad (13)$$

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

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

4. Зразковий розрахунок потенціометра

Розрахувати вимірювальну схему автоматичного електронного потенціометра типу КСПЗ для вимірювання температури від 0 до 400 °С. Потенціометр працює в комплекті з термоелектричним термометром градування ХК (L). Клас точності потенціометра 0,5%. Межі вимірювання температури вільних кінців термоелектричного термометра 0-60 °С. Температура у корпусі потенціометра 30°С. Опір температурної компенсації виконано з мідного дроту. ($\alpha = 4,24 \times 10^{-3}$ 1/град). Реохорд виконаний із манганінового дроту. Опір реохорда 130 Ом, значення сили струму на ділянці ланцюга $ABVI_1 = 1$ мА, а на ділянці ланцюга $ACVI_2 = 2$ мА (див. схему на рис. 1).

Рішення.

За градууювальною таблицею для хромель-копелевого (ХК) термоелектричного термометра знаходять значення ЕРС (Додаток 1) для 60 і 400°С, які відповідно дорівнюють 4,05 і 31,48 мВ.

Визначають опір автоматичної компенсації зміни температури вільних кінців термоелектричного термометра за умови приведення ЕРС вільних кінців до 0°С

$$R_{M_{0^{\circ}\text{C}}} = \frac{E_{\theta_2} - E_{\theta_1}}{\alpha \cdot I_0 \cdot (\theta_2 - \theta_1)} = \frac{4,05 - 0}{4,24 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot (60 - 0)} = 15,91 \text{ Ом.}$$

Визначають опір $R_{M_{30^{\circ}\text{C}}}$, що відповідає температурі в корпусі приладу

$$R_{M_{30^{\circ}\text{C}}} = R_{M_{0^{\circ}\text{C}}} \cdot (1 + \alpha \cdot \theta) = 15,91 \cdot (1 + 4,24 \cdot 10^{-3} \cdot 30) = 17,93 \text{ Ом.}$$

Опір установки початку шкали

$$R_H = \frac{E_{min} + I_1 \cdot R_M}{I_2} = \frac{0 + 0,001 \cdot 17,93}{0,002} = 8,96 \text{ Ом.}$$

Наведений опір реохорду

$$R_{np} = \frac{E_{max} - E_{min}}{I_2} = \frac{(31,48 - 0) \cdot 10^{-3}}{0,002} = 15,74 \text{ Ом.}$$

Опір верхньої межі шкали потенціометру

$$R_n = \frac{R_{np} \cdot R_{\text{э}}}{R_{\text{э}} - R_{np}} = \frac{15,74 \cdot 90}{90 - 15,74} = 19,1 \text{ Ом.}$$

Опір шунта

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

Опір припасування верхньої межі вимірювання

$$R_{в.н.} = \frac{U_n - E_{max}}{I_2} = \frac{1 - 0,03148}{0,002} = 484,3 \text{ Ом.}$$

Опір встановлення робочого струму

$$R_1 = \frac{U_n}{I_1} = \frac{1}{0,001} = 1000 \text{ Ом.}$$

Опір зниження напруги живлення вимірювальної схеми від стабілізованого джерела живлення до 1 В

$$R_2 = \frac{U_{\text{д.жс}} - U_n}{I_1 + I_2} = \frac{5 - 1}{0,001 + 0,002} = 1333,3 \text{ Ом.}$$

Мінімальний розбаланс напруги на виході вимірювальної схеми

$$U_{\text{вих}} = \frac{0,05 \cdot \delta \cdot E_{\text{max}}}{100} = \frac{0,05 \cdot 0,5 \cdot 31,48}{100} = 0,00787 \text{ мВ.}$$

Приймають питомукількість 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

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

Приймають діаметр шини 4 мм.

Градувальні характеристики
хромель-копелевої термопари ХК (L)
у діапазоні температур від - 50 до +800 °С (по СТ СЕВ 1059-78)

Температура робочого кінця, °С	Термоелектрорушійна сила, мВ				
	0	1	2	3	4
-50	-3,110	-	-	-	-
-0	-0,000	-0,064	-0,128	-0,192	-0,256
+0	0,000	0,064	0,128	0,192	0,256
50	3,350	3,420	3,490	3,560	3,630
100	6,898	6,970	7,043	7,116	7,189
150	10,624	10,700	10,777	10,854	10,931
200	14,570	14,651	14,732	14,813	14,894
250	18,690	18,773	18,856	18,939	19,022
300	22,880	22,964	23,048	23,132	23,216
350	27,130	27,217	27,304	27,391	27,478
400	31,480	31,567	31,654	31,741	31,828
450	35,870	35,958	36,046	36,134	36,222
500	40,270	40,358	40,446	40,534	40,622
550	44,670	44,758	44,846	44,934	45,022
600	49,090	49,178	49,266	49,354	49,442
650	53,480	53,567	53,654	53,741	53,828
700	57,820	57,906	57,992	58,078	58,164
750	62,120	62,206	62,292	62,378	62,464
800	66,420	-	-	-	-

Градувальна характеристика хромель-алюмелевої термопари ХА типу К
(нікельхром-нікельалюмінієвої)
у діапазоні температур від - 200 до + 1300 °С (по СТ СЕВ 1059-78)

Температура робочого кінця, °С	Термоелектрорушійна сила, мВ				
	0	1	2	3	4
-200	-5,892	-	-	-	-
-150	-4,913	-4,936	-4,959	-4,983	-5,006
-100	-3,553	-3,583	-3,613	-3,644	-3,674
-50	-1,889	-1,925	-1,960	-1,996	-2,031
-0	0,000	- 0,039	-0,079	-0,118	-0,157
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158
50	2,022	2,064	2,105	2,146	2,188
100	4,095	4,137	4,178	4,219	4,261
150	6,137	6,177	6,218	6,258	6,298
200	8,137	8,177	8,217	8,257	8,297
250	10,151	10,192	10,233	10,274	10,315
300	12,207	12,249	12,290	12,332	12,373
350	14,292	14,334	14,376	14,418	14,460
400	16,395	16,438	16,480	16,522	16,564
450	18,513	18,555	18,598	18,640	18,683
500	20,640	20,683	20,725	20,768	20,811
550	22,772	22,815	22,857	22,900	22,942
600	24,902	24,944	24,987	25,029	25,072
650	27,022	27,065	27,107	27,149	27,192
700	29,128	29,170	29,212	29,254	29,296
750	31,214	31,256	31,297	31,339	31,380
800	33,277	33,318	33,359	33,400	33,441
850	35,314	35,354	35,395	35,435	35,476
900	37,325	37,365	37,405	37,445	37,484
950	39,310	39,349	39,388	39,428	39,467
1000	41,269	41,308	41,347	41,385	41,424
1050	43,202	43,624	43,662	43,700	43,739
1100	45,108	45,146	45,184	45,222	45,260
1150	46,985	47,022	47,059	47,096	47,134
1200	48,828	48,865	48,901	48,937	48,974
1250	50,633	50,669	50,705	50,741	50,776
1300	52,398	-	-	-	-

Градувальна характеристика платинородій (10%) -
платинової термопари гр. ПП типу S у діапазоні температур
від 0 до + 1600 °С (по СТ СЕВ 1059-78)

Температура робочого кінця, °С	Термоелектрорушійна сила, мВ				
	0	1	2	3	4
0	0,000	0,005	0,011	0,016	0,022
50	0,299	0,305	0,312	0,318	0,325
100	0,645	0,652	0,660	0,667	0,675
150	1,029	1,037	1,045	1,053	1,061
200	1,440	1,448	1,457	1,465	1,474
250	1,873	1,882	1,891	1,899	1,908
300	2,323	2,332	2,341	2,350	2,368
350	2,786	2,795	2,814	2,824	2,833
400	3,260	3,270	3,279	3,289	3,298
450	3,743	3,753	3,772	3,781	3,791
500	4,234	4,244	4,254	4,263	4,273
550	4,732	4,742	4,752	4,762	4,772
600	5,237	5,247	5,257	5,268	5,278
650	5,751	5,772	5,782	5,793	5,803
700	6,274	6,285	6,295	6,306	6,316
750	6,805	6,816	6,827	6,837	6,848
800	7,345	7,356	7,367	7,377	7,388
850	7,892	7,903	7,914	7,926	7,937
900	8,448	8,459	8,470	8,482	8,493
950	9,012	9,023	9,035	9,046	9,058
1000	9,585	9,596	9,608	9,619	9,631
1050	10,165	10,177	10,189	10,200	10,212
1100	10,754	10,766	10,778	10,789	10,801
1150	11,348	11,360	11,372	11,384	11,396
1200	11,947	11,959	11,971	11,983	11,995
1250	12,550	12,562	12,574	12,586	12,610
1300	13,155	13,167	13,179	13,192	13,204
1350	13,761	13,773	13,785	13,798	13,810
1400	14,368	14,380	14,392	14,405	14,417
1450	14,973	14,985	14,997	15,010	15,022
1500	15,576	15,588	15,600	15,613	15,625
1550	16,176	16,188	16,200	16,212	16,224
1600	16,771	-	-	-	-

Градувальна характеристика платинородій (30%) - платинородієвої (6%)
термопари гр. ПР 30/б у діапазоні
температур від + 300 до +1800 °С (по СТ СЕВ 1059-78)

Температура робочого кінця, °С	Термоелектрорушійна сила, мВ				
	0	1	2	3	4
300	0,431	0,434	0,437	0,440	0,443
350	0,596	0,600	0,603	0,607	0,610
400	0,786	0,790	0,794	0,799	0,803
450	1,002	1,007	1,011	1,016	1,020
500	1,241	1,246	1,251	1,257	1,262
550	1,505	1,510	1,516	1,521	1,527
600	1,791	1,797	1,803	1,809	1,815
650	2,100	2,106	2,113	2,119	2,126
700	2,430	2,437	2,444	2,451	2,458
750	2,782	2,789	2,796	2,804	2,811
800	3,154	3,162	3,169	3,177	3,184
850	3,546	3,554	3,562	3,570	3,578
900	3,957	3,965	3,974	3,982	3,991
950	4,386	4,395	4,404	4,412	4,421
1000	4,833	4,842	4,851	4,861	4,870
1050	5,298	5,307	5,317	5,326	5,336
1100	5,777	5,787	5,797	5,806	5,816
1150	6,273	6,283	6,293	6,303	6,313
1200	6,783	6,793	6,804	6,814	6,825
1250	7,308	7,319	7,329	7,340	7,350
1300	7,845	7,856	7,867	7,877	7,888
1350	8,393	8,404	8,415	8,427	8,438
1400	8,952	8,963	8,975	8,986	8,997
1450	9,519	9,531	9,542	9,554	9,565
1500	10,094	10,106	10,117	10,129	10,140
1550	10,674	10,686	10,697	10,709	10,720
1600	11,257	11,269	11,281	11,292	11,304
1650	11,842	11,854	11,866	11,877	11,889
1700	12,426	12,438	12,450	12,461	12,473
1750	13,008	13,020	13,031	13,043	13,054
1800	13,585	-	-	-	-

Основні дані дротів високого опору

Діаметр дроту, мм	Площа перерізу, мм ²	Манганін		Нікелін		Реотан	
		Опір 1 м дроту при 20°C, Ом	Вага 100 м, г	Опір 1 м дроту при 20 °C Ом	Вага 100 м, г	Опір 1 м дроту при 20 °C 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 с курсу
«Контроль та управління ХТП» і «Автоматизація виробництв та прилади
екологічного контролю та моніторингу»

Розрахунок автоматичного потенціометра КСП					
№ варіанту	Діапазон вимірювання, °С	Градуювання	Темпер-ра вільних кінців, °С	Темпер-ра корпусу, °С	Опір реохорду, Ом
1	0-100	ХА	30	30	130
2	0-150	ХК	20	25	130
3	0-400	ХА	30	30	130
4	0-600	ХА	30	40	270
5	200-800	ХА	50	25	130
6	0-200	ХК	30	25	130
7	600-1100	ХА	50	30	130
8	(-50)-100	ХК	20	30	270
9	0-1300	ПП	50	25	130
10	0-1600	ПП	60	25	130
11	500-1300	ПП	40	30	130
12	1000-1600	ПР-30	50	30	130
13					
14					
15					
16					
17					
18					

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 „ХПІ”, 2002 р. – 615 с.
2. Проектування систем автоматизації технологічних процесів: Навч. посібник / В.І. Тошинський, М.О. Подустов та ін. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – 412 с.
3. Методи розрахунків в автоматизації хіміко-технологічних та теплоенергетичних процесів. Навч. посібник / В.Т. Єфімов, В.І. Молчанов, О.В. Єфімов. - Харків, ХДПУ, 1998. - 316 с.
4. 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 «ХПІ», 2021. - 36 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
Розрахунок і вибір автоматичних електронних потенціометрів для вимірювання температури	4
1. Принцип дії, побудова та технічні характеристики.....	4
2. Розрахунок вимірювальної схеми потенціометра.....	10
3. Конструктивний розрахунок реохорду.....	12
4. Зразковий розрахунок потенціометра.....	12
Додатки.....	15
Додаток 1.....	15
Додаток 2	16
Додаток 3	17
Додаток 4	18
Додаток 5	19
Додаток 6	20
Список джерел інформації	21

Навчальне видання

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.

Укладачі: ЛОБОЙКО Вячеслав Олексійович
ВОРОЖБІЯН Роман Михайлович

Відповідальний за випуск доц. Лобойко В.О.

Роботу до видання рекомендував: доц. Дзевочко О. М.

План р., поз.. Підп. до друку ..20 Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times.

Ум. друк. арк. . Наклад прим. Зам. №___. Ціна договірна.

Видавець НТУ «ХП», 61002, Харків вул. Кирпичова, 2
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
