

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
**„Автоматизація виробничих процесів”**  
для студентів напряму підготовки  
6.050402 – Ливарне виробництво  
усіх форм навчання

Київ  
Політехніка  
2015

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
**„Автоматизація виробничих процесів”**  
для студентів напряму підготовки  
6.050402 – Ливарне виробництво  
усіх форм навчання

Затверджено  
на засіданні кафедри  
ливарного виробництва  
чорних і кольорових  
металів, протокол № 5  
від 12 листопада 2014 р.

Київ  
Політехніка  
2015

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни „Автоматизація виробничих процесів” для студентів напряму підготовки „Ливарне виробництво” / Укладачі М.М. Ямшинський, О.І. Шейко, Р.В. Лютий, В.П. Самарай – К.: „ВПК «Політехніка»”, 2015. – 80 с.

*Гриф надано Вченою радою ІФФ НТУУ «КПІ»  
(Протокол № 10/15 від 26 жовтня 2015 р.)*

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
**„Автоматизація виробничих процесів”**  
для студентів напряму підготовки  
6.050402 – Ливарне виробництво  
усіх форм навчання

Укладачі: Ямшинський Михайло Михайлович, канд. техн. наук, доцент  
Шейко Олександр Іванович, канд. техн. наук, доцент  
Лютий Ростислав Володимирович, канд. техн. наук, доцент  
Самарай Валерій Петрович, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний редактор: Г.Є. Федоров, кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: В.М Рибак, кандидат технічних наук, доцент

За редакцією укладачів  
Надруковано з оригінал-макета замовника

Темплан 2015 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
МАТЕМАТИЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ .....	4
Лабораторна робота №1 ЕЛЕКТРОМАГНЕТНІ РЕЛЕ .....	7
Лабораторна робота №2 РЕЛЕ ЧАСУ .....	19
Лабораторна робота №3 ПЕРЕВІРКА ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕРМОМЕТРІВ .....	27
Лабораторна робота № 4 ТЕРМОМЕТРИ ОПОРУ .....	36
Лабораторна робота № 5 АВТОМАТИЧНІ МОСТИ ТА ПОТЕНЦІОМЕТРИ .....	42
Лабораторна робота № 6 ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИН І ГАЗІВ .....	54
Лабораторна робота №7 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ .....	64
Лабораторна робота № 8 ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ППРОМЕТРАМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ .....	71
ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ .....	79
ЛІТЕРАТУРА .....	80

## ВСТУП

Методичні вказівки вміщують інформацію із проведення лабораторних робіт з дисципліни „Автоматизація виробничих процесів” для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Ливарне виробництво». У зв'язку з необхідністю приділення підвищеної уваги до самостійної роботи студентів, методичні вказівки супроводжуються теоретичними поясненнями, відомостями про принципи будови та застосування елементів та систем автоматики, які характерні для ливарних цехів машинобудівної галузі.

Матеріал викладено з урахуванням найбільшої практичної спрямованості, включаючи питання математичного оброблення результатів.

У кожній лабораторній роботі наведені мета, основні теоретичні положення, методики проведення досліджень і розрахунку експериментальних даних, контрольні запитання.

Виконання кожної лабораторної роботи передбачає самостійне ознайомлення з теорією процесу і устаткуванням; набуття вміння провести експеримент, оброблювати експериментальні дані і за отриманими результатами зробити правильні висновки.

Після ознайомлення з правилами роботи в лабораторії студент з дозволу викладача може приступити до виконання роботи на лабораторному устаткуванні.

До початку лабораторного заняття студент має підготувати протокол виконання лабораторної роботи.

## МАТЕМАТИЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

### 1 Визначення похибок

Похибки результатів вимірювань поділяються на дві основних категорії – випадкові та систематичні.

Випадкова похибка розраховується як різниця між результатами окремих вимірювань та середнім значенням результату. При виконанні технічних вимірювань випадкові похибки не визначають точність вимірювання, оскільки в більшості випадків знаходяться в межах допустимих похибок робочих засобів вимірювання.

Систематична похибка виявляється як постійне відхилення результату вимірювань від дійсного значення. Розраховується як різниця між результатами вимірювань і дійсним (або заданим в лабораторній роботі) значенням.

За способом вираження випадкові і систематичні похибки можуть бути абсолютними і відносними.

Абсолютна похибка  $\Delta$  визначається як різниця між значенням, одержаним при вимірюваннях  $X$ , та дійсним значенням вимірюваної величини  $X_d$  (або середнім арифметичним значенням), вираженими в одиницях цієї величини:

- абсолютна систематична похибка:

$$\Delta = X - X_{\text{д}};$$

- абсолютна випадкова похибка:

$$\Delta = X - \bar{X}.$$

Для приладів та вимірювальних перетворювачів дійсні значення величини визначаються за градуювальними характеристиками.

Відносна похибка виражається в частках (відсотках) дійсного значення вимірювальної величини:

- відносна систематична похибка:

$$\delta = \frac{X - X_{\text{д}}}{X_{\text{д}}} \cdot 100;$$

- відносна випадкова похибка:

$$\delta = \frac{X - \bar{X}}{\bar{X}} \cdot 100.$$

## 2 Визначення класу точності приладів

Клас точності приладу характеризується його основною, або приведеною, похибкою. Виражається клас точності двома способами.

Перший спосіб – у вигляді умовних чисел з ряду 0, 1, 2, 3... Меншому класу точності відповідає менший рівень похибок, більшому – більший.

Значно підвищує ілюстративність вираження класу точності числом, яке відповідає округленому значенню приведеної відносної похибки приладу.

Приведена відносна похибка визначається як середня абсолютна похибка, віднесена до нормованого значення, вираженого в одиницях вимірюваної величини:

$$\delta = \pm \frac{\bar{\Delta}}{X_{\text{н}}} \cdot 100$$

Нормоване значення приймається рівним:

- для засобів вимірювання з одnobічною шкалою (яка починається від нуля і закінчується  $X_{\text{max}}$ ) – верхній границі вимірювань  $X_{\text{max}}$ ;
- для засобів вимірювань з двобічною шкалою (від  $-X_{\text{max}}$  до  $+X_{\text{max}}$ ) – арифметичній (за модулем) сумі верхньої та нижньої границь вимірювань;
- для засобів вимірювань з безнульовою шкалою ( $X_{\text{min}}$  до  $X_{\text{max}}$ ) – різниці верхньої та нижньої границь вимірювань ( $X_{\text{max}} - X_{\text{min}}$ ).

Число, яке дорівнює зведеній відносній похибці, є класом точності приладу. Його вибирають із стандартного ряду значень.

## 3 Оцінка точності результатів вимірювань

Сталість показів вимірювального приладу або вихідного сигналу вимірювального перетворювача характеризують варіацією, яка дорівнює найбільшій різниці  $b = |y_i - y'_i|$  між вихідними сигналами  $Y_i$  та  $Y'_i$ , які відповідають одно-

му й тому самому дійсному значенню вимірюваної або вхідної величини  $x_i$ . Експериментально варіацію визначають як різницю  $b_x = (x_i - x'_i)$  дійсних значень вимірюваної величини  $x_i$  та  $x'_i$ , які відповідають одній і тій самій відмітці шкали приладу  $Y_i$  при плавному підведенні покажчика при збільшенні та зменшенні вимірюваної величини.

Оцінку точності результату спостережень розраховують як середньоквадратичне відхилення результату спостережень від середнього арифметичного:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

де  $x_i$  – результат  $i$ -го вимірювання;

$\bar{x}$  – середнє арифметичне результатів вимірювань;

$n$  – кількість вимірювань.

Для оцінки ймовірності результату вимірювань, який дорівнює середньому значенню  $\bar{X}$ , застосовують показник точності  $S_{\bar{x}}$ , який згідно з теорією похибок в  $\sqrt{n}$  разів менший за середнє квадратичне відхилення результатів спостережень:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}{n(n-1)}}$$

Довірчі границі результатів вимірювань складають: нижня  $\bar{x} - S_{\bar{x}}$ ; верхня  $\bar{x} + S_{\bar{x}}$ . За ці межі з ймовірністю 0,683 не вийдуть результати вимірювань  $\bar{X}$ .

При малому числі спостережень ( $n \leq 20$ ) похибка середнього арифметичного значення при заданій довірчій ймовірності  $P$  визначається за виразом

$$\varepsilon = t_p \cdot \frac{S_x}{\sqrt{n}} = t_p \cdot S_{\bar{x}},$$

де  $t_p$  – критерій Стьюдента.

#### 4 Побудова характеристик та визначення чутливості

Статичні характеристики будують за результатами вимірювань, коли вхідна (вимірювана) величина набуває стабільного значення. При проведенні декількох вимірювань для побудови характеристики приймаються середні значення величин.

Характеристики будують в системі координат, де як аргумент (вісь абсцис) відкладається вхідна величина, а як функція (вісь ординат) – вихідна величина. Одержані при спостереженнях результати позначають точками, по яких проводять плавну лінію, дотримуючись найменших відхилень від точок згідно з методом найменших квадратів.

Якщо існують теоретичні дані про вид характеристики (лінійна, квадратична, ступінчаста тощо), при проведенні лінії через експериментальні точки необхідно враховувати теоретичні положення.

Під чутливістю вимірювальних засобів та перетворювачів розуміють відношення зміни вихідного параметра до зміни вхідного параметра:

– для засобів з лінійною характеристикою:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x},$$

де  $\Delta y$ ,  $\Delta x$  – діапазон зміни вихідного та вхідного сигналів;

– для засобів з нелінійною характеристикою:

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta y}{\Delta x} \right| \approx \frac{dy}{dx}.$$

Величина чутливості має розмірність, яка відповідає відношенню розмірностей вихідної та вхідної величин.

## 5 Метрологічні характеристики засобів вимірювання

Для визначення лінійних і кутових розмірів, фізичних характеристик контролюваного об'єкта використовують усякі технічні засоби, протаровані в певних одиницях фізичних величин і які називаються вимірювальними приладами або пристроями. До їх метрологічних показників відносяться:

- ціна поділки шкали – різниця значень, які відповідають двом суміжним позначкам шкали;
- діапазон вимірювань – область значення шкали, яка обмежена її початковим і кінцевим значенням. Є засоби вимірювання з одним і з декількома діапазонами;
- границя вимірювань – найбільше значення величини, яке може бути виміряне конкретним приладом;
- похибки вимірювання (абсолютна та відносна);
- клас точності (основна приведена похибка);
- чутливість приладу в кожному діапазоні вимірювань.

### Лабораторна робота №1 ЕЛЕКТРОМАГНЕТНІ РЕЛЕ

**Мета роботи** – дослідити вплив напруги, сили і виду струму на характеристики електромагнетних реле, навчитися визначати робочі параметри реле та набути вмінь використання реле в системах автоматики.

#### 1.1 Загальні відомості

Реле – це елементи автоматики, у яких при зміні в певних межах вхідних параметрів відповідні вихідні параметри змінюються стрибкоподібно.

Реле є одними з основних елементів багатьох систем автоматики. До складу реле входять три обов'язкових елементи (органи): сприймальний, задавальний та виконавчий.



Сприймальний орган реагує на дію вхідного параметра, який порівнюється з дією, що створюється задавальним органом. При перевищенні вхідним параметром заданої величини спрацьовує виконавчий орган, який здійснює стрибокову зміну вихідної величини.

Залежно від вхідної координати (значення вхідного параметра, який викликає зміну вихідного параметра), реле може приймати 2, 3 і більше станів (позицій), відповідно, такі реле називають дво-, три- та багатопозиційними.

Залежність між вхідним і вихідним параметрами має назву статичної характеристики реле (рис. 1.1).

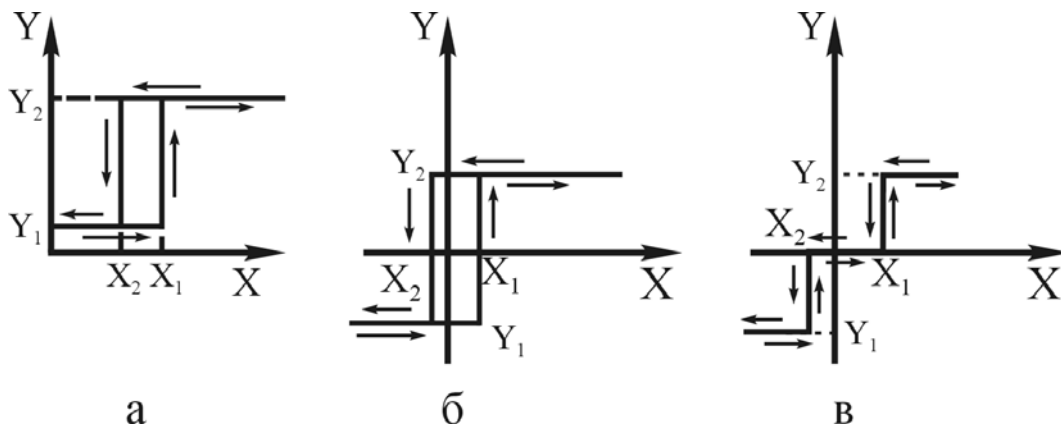


Рис. 1.1. Приклади статичних характеристик реле: а – двопозиційного неполяризованого; б – двопозиційного з двома сталими станами; в – трипозиційного

При зміні вхідного параметра  $X$  в напрямку, показаному стрілками, до величини  $X_2$ , значення вихідного параметра не змінюється. В момент, коли параметр  $X$  досягає значення  $X_1$ , параметр  $Y$  стрибком змінюється від значення  $Y_1$  до значення  $Y_2$  – реле спрацьовує. При подальшій зміні  $X$  в тому ж напрямку параметр  $Y$  не змінюється. Зворотна зміна вихідного параметра  $Y$  відбувається при зміні вхідного параметра в протилежному напрямку до величини  $X_2$ . Цей процес має назву відпускання або повернення реле.

Зміна вхідного параметра  $X$  може відбуватися у вигляді його збільшення, зменшення, зміни знаку, частоти, кількості або послідовності імпульсів тощо.

Значення вхідного параметра  $X_1$  називається параметром спрацьовування ( $X_{спр}$ ),  $X_2$  – параметром відпускання ( $X_{відп}$ ). Вхідному параметру  $X_{спр}$  відповідає потужність спрацьовування  $P_{спр}$ , яку потрібно підвести до сприймального органу для приведення реле до дії.

Потужність вихідного параметра, яка відповідає величині  $Y_2$ , має назву керованої потужності  $P_{кер}$ .

Характеристики реле також оцінюються:

– коефіцієнтом повернення:

$$K_{пов} = \frac{X_{відп}}{X_{спр}} = \frac{P_{відп}}{P_{спр}}, \quad (1.1)$$

де  $P_{відп}$  – потужність відпускання реле;

$P_{спр}$  – потужність спрацьовування реле.

– коефіцієнтом управління:

$$K_y = \frac{P_{\text{кер}}}{P_{\text{спр}}}, \quad (1.2)$$

де  $P_{\text{кер}}$  – керована потужність;  
 $P_{\text{спр}}$  – потужність спрацьовування реле.

– коефіцієнтом запасу (розраховують, як правило, за значенням напруги):

$$K_z = \frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{спр}}}, \quad (1.3)$$

де  $U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга спрацьовування реле;  
 $U_{\text{спр}}$  – реальне значення напруги спрацьовування реле.

– коефіцієнтом перепаду:

$$K_{\text{пер}} = \frac{Y_2}{Y_1}. \quad (1.4)$$

Коефіцієнт повернення характеризує гнучкість і надійність реле у роботі. Чим більше відрізняються значення параметрів спрацьовування і відпускання і нижче значення цього коефіцієнта, тим більше реле є захищеним від значних коливань напруги і струму на його робочих контактах.

Коефіцієнт управління характеризує ефективність роботи реле. Чим вищий цей коефіцієнт, тим більш потужними установками воно може керувати, споживаючи в свою чергу низьку потужність.

Реле розраховують на режим роботи з деяким запасом, тобто при нормальних умовах роботи на сприймальний орган подається величина  $X_{\text{ном}} > X_{\text{спр}}$ . Відношення величини робочого (номінального) параметра до величини параметра спрацьовування називається коефіцієнтом запасу.

Коефіцієнт перепаду визначає співвідношення між рівнями вихідної величини (потужності керування).

За видом фізичних величин, на які реагують реле (параметр  $X$ ), їх розподіляють на електричні, механічні, теплові, оптичні (фотореле), магнетні, акустичні, пневматичні тощо.

Вхідними та вихідними параметрами електричних реле є сила, напруга, потужність або частота електричного струму. За принципом дії сприймальних органів електричні реле підрозділяються на електромеханічні, електростатичні, електронні, іонні тощо.

За принципом дії виконавчих органів електричні реле поділяють на контактні та безконтактні. У безконтактних реле зміна вихідної величини здійснюється шляхом різкої зміни параметрів (індуктивності, ємності тощо) виконавчого органу, який вмикається до керованого ланцюга. До безконтактних реле належать магнетні, електронні, іонні та деякі інші.

Залежно від виду, реле мають різні робочі параметри. Для порівняння в табл. 1.1 наведені технічні характеристики різних типів електричних реле, а в табл. 1.2 та 1.3 – класифікація за чутливістю та швидкодією. За міру чутливості приймається потужність спрацьовування реле. Чим вона менша, тим чутливі-

шим є реле. Швидкодія характеризується часом спрацьовування та часом відпускання реле.

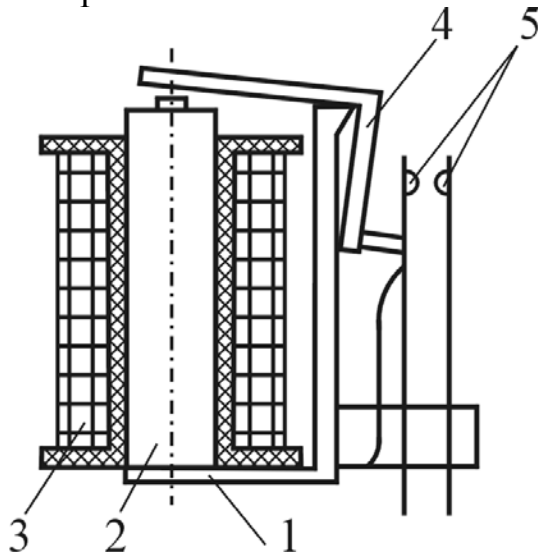


Рис. 1.2. Електромагнетне реле:  
1 – магнетопровід; 2 – осердя; 3 – обмотка котушки; 4 – яркір; 5 – контактна група

**Електромагнетні реле** (рис. 1.2) відносяться до групи електромеханічних і мають найбільше поширення в системах автоматики. Електромагнетні реле поділяють на нейтральні та поляризовані. Нейтральні реле реагують тільки на зміну величини струму, а поляризовані – також на напрямок постійного струму.

Нейтральне електромагнетне реле складається з чотирьох основних частин (рис. 1.2): нерухомих – магнетопроводу 1, осердя 2 та обмотки котушки 3, і рухомих – яркіра 4 та контактної групи 5. Принцип дії електромагнетного реле заснований на взаємодії

між феромагнетним яркіром та магнетним полем обмотки, яка обтікається електричним струмом. При проходженні струму через обмотку реле, яка є сприймальним органом, створюється магнетний потік, який проходить через осердя, магнетопровід, яркір та повітряний зазор між яркіром та осердям. Магнетний потік створює механічне зусилля, яке при перевищенні протидії пружини або пружних пластин контактів притягує яркір до осердя. При переміщенні яркір перемикає робочі контакти реле, які є виконавчим органом – реле спрацьовує.

При відмиканні обмотки реле від джерела струму яркір повертається в початкове положення за допомогою зворотної пружини або під дією пружності пластин контактів – відбувається відпускання реле.

Групи робочих контактів за принципом їх дії при спрацьовуванні реле поділяються на три різновиди:

- нормально-розімкнені контакти;
- нормально-замкнені контакти;
- контакти, що перемикаються.

Таблиця 1.1. Параметри електричних реле

Вид реле	Потужність спрацьовування, Вт	Керована потужність, Вт	Коефіцієнт управління	Час спрацьовування, с
Електромагнетні	$10^{-3} \dots 10^2$	$10^{-1} \dots 10^4$	$10^2 \dots 10^3$	$2 \cdot 10^{-3} \dots 2 \cdot 10^{-1}$
Поляризовані	$5 \cdot 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-1}$	1...20	$10^2 \dots 10^5$	$10^{-4} \dots 2 \cdot 10^{-2}$
Електронні	$10^{-12} \dots 10^{-8}$	$10^{-3} \dots 10^2$	$10^5 \dots 10^9$	$10^{-8} \dots 10^{-7}$
Іонні	$10^{-4} \dots 10^{-3}$	$10^2 \dots 10^3$	$10^5 \dots 10^6$	$10^{-5} \dots 10^{-4}$

Таблиця 1.2. Класифікація реле за чутливістю

Група	Потужність спрацьовування
Високочутливі	< 10 мВт
Чутливі	10 мВт...0,1 Вт
Нормальні	> 0,1 Вт

Таблиця 1.3. Класифікація реле за швидкістю

Група	Час спрацьовування та відпускання
Надшвидкісні	< 5 мс
Швидкісні	5...50 мс
Нормальні	50...150 мс
Сповільнені	150 мс...1 с
Реле часу	> 1 с

Динаміка зміни електричної напруги та струмів в обмотці і в ланцюгу контактів показана на рис. 1.3.

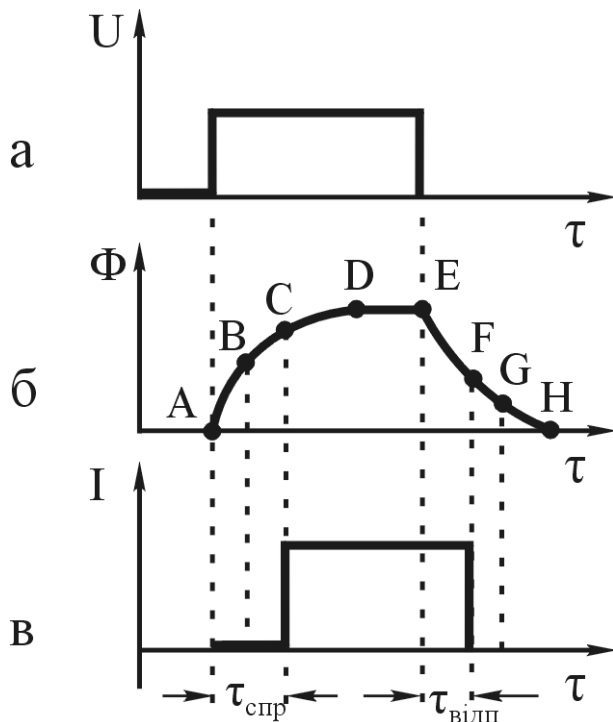


Рис. 1.3. Зміна напруги та струмів в обмотці і в ланцюгу контактів електромагнетного реле: а – напруга в обмотці; б – магнетний потік; в – струм в керованому ланцюгу

Момент вмикання реле відповідає стрибку напруги на обмотці (рис. 1.3, а). Обумовлена цим зміна магнетного потоку в магнетопроводі показана на рис. 1.3, б. Наростання потоку і, відповідно, сили притягування якоря відбувається згідно кривої AD. В точці В починається рух якоря, в точці С настає замикання контактів, і в цей момент стрибкоподібно з'являється струм в ланцюгу навантаження (рис. 1.3, в). В точці D настає повне замикання (стискання) контактів. Збільшення магнетного потоку на відрізку CD не впливає на струм в ланцюгу контактів. При відключенні обмотки реле від джерела живлення процес протікає в зворотному напрямку. Зміна магнетного потоку в магнетопроводі описується кривою EH. Точки F та G характеризують початок і кінець пересування якоря.

Вхідною величиною електромагнетних реле є струм або напруга в обмотці реле, а вихідною – струм або напруга на споживачі, увімкненому до ланцюга контактів (ланцюга керування) реле. Відповідно, параметрами спрацьовування є струм (напруга) спрацьовування ( $I_{\text{спр}}$ ,  $U_{\text{спр}}$ ) – найменший струм (напруга) в обмотці, при якому реле спрацьовує, а параметрами відпускання – струм (на-

пруга) відпускання реле ( $I_{\text{відп}}$ ,  $U_{\text{відп}}$ ) – найбільше значення струму (напруги) в обмотці, при якому реле відпускається.

Моменту спрацьовування відповідає потужність спрацьовування – потужність, яка в даний момент споживається обмоткою реле ( $P_{\text{спр}}$ ). Моменту відпускання відповідає потужність відпускання ( $P_{\text{відп}}$ ).

Потужність, яка багаторазово комутується робочими контактами реле, називається керованою потужністю, або потужністю в керованому ланцюгу ( $P_{\text{кер}}$ ).

Важливими параметрами реле є час спрацьовування і відпускання. Для електромагнетних реле час спрацьовування – це час від моменту подачі номінальної напруги на обмотку до моменту перемикання робочих контактів ( $\tau_{\text{спр}}$  на рис. 1.3, в). Відповідно, час відпускання – це час від моменту відмикання обмотки реле від напруги до моменту зворотного перемикання контактів ( $\tau_{\text{відп}}$  на рис. 1.3, в).

## 1.2 Лабораторне устаткування

Лабораторний стенд являє собою монтажний щит, на якому встановлені електромагнетні реле з різними робочими параметрами, вимірювальні прилади, джерело регульованої напруги постійного та змінного струму ДРН (лабораторний автотрансформатор з випрямівником), тумблерні перемикачі та сигнальні лампочки. Складання схем проводиться за допомогою набору з'єднувальних дротів, клемних затискачів та штекерних гнізд.

Робочі параметри електромагнетних реле, розташованих на стенді, приведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4. Робочі параметри електромагнетних реле

Індекс реле	Тип реле	Струм	Номінальна робоча напруга, В
P1	ПЭ6	Постійний	110
P2	ПЭ6	Змінний	220
P3	ПЭ6	Змінний	127
P4	РС3	Постійний	27
P5	РПТ-100	Змінний	220

Для вимірювання напруги та сили струму в ланцюгах змінного і постійного струму використовуються вольтметр та міліамперметр типу Э59. Прилади є електромагнетними, екранованими, переносними.

Вольтметр є приладом із трьома діапазонами вимірювання (до 30 В, до 300 В і до 600 В). Міліамперметр є також приладом із трьома діапазонами (до 25 мА, до 50 мА і до 100 мА). Встановлення діапазонів вимірювань здійснюється перемикачем, який розташований на корпусі приладу. Верхня границя шкали приладу відповідає величині, проти якої розташовується мітка (крапка) на рукоятці перемикача.

Підключення приладів до вимірювального ланцюга здійснюється за допомогою двох клемних затискачів. Робочий стан приладів при вимірюваннях повинен бути горизонтальним.

Для визначення дійсної величини вимірюваного струму або напруги необхідно розрахувати ціну поділки приладу на даній границі вимірювання (С) та помножити її на відраховану по шкалі кількість поділок (а).

Ціна поділки визначається шляхом ділення величини верхньої границі вимірювань на кількість поділок шкали. Наприклад, для міліамперметра:

$$C = \frac{I_{\max}}{K}, \quad (1.5)$$

де  $I_{\max}$  – верхня границя вимірювання, мА;  
 $K$  – кількість поділок на шкалі приладу.

Шкала вольтметра має 150 поділок. Ціна поділки на границі  $U_H = 300$  В дорівнює:

$$C = \frac{U_{\max}}{K} = \frac{300}{150} = 2 \text{ В}.$$

При відхиленні стрілки на 62 поділки дійсне значення вимірюваної напруги дорівнює:

$$U = C \cdot a = 2 \cdot 62 = 124 \text{ В}.$$

### 1.3 Порядок виконання роботи

#### 1.3.1 Визначення електричних параметрів електромагнетного реле

1. Скласти схему згідно рис. 1.5.
2. Залежно від роду струму, для якого призначено реле (див. табл. 1.4), тумблери роду струму, які знаходяться на лабораторному стенді, встановити в положення = або ~ .

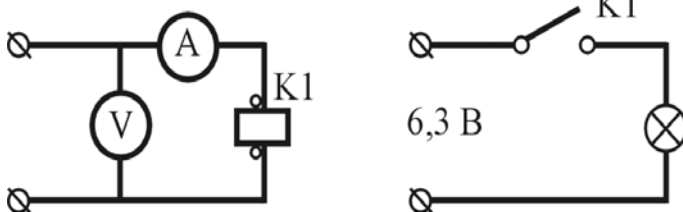


Рис. 1.5. Схема для визначення параметрів роботи електромагнетного реле  
 живлення подається напруга.

3. Встановити перемикач діапазонів вимірювання міліамперметра на найбільше значення.

4. Увімкнути тумблер подачі живлення на стенд. При цьому запалюється сигнальна лампа, яка вказує на те, що на клеми живлення подається напруга.

5. Повільно підвищувати напругу ручкою автотрансформатора до номінальної (див.табл. 1.4.), визначити струм та напругу спрацьовування реле. Потім, повільно знижуючи напругу на клеммах автотрансформатора, визначити струм та напругу відпускання реле.

6. Вимірювання провести по три рази для кожного реле, а одержані дані занести до табл. 1.5.

### Примітки:

1. Відразу після спрацьовування реле, які працюють на постійному струмі, відбувається різке зниження сили струму на його контактах живлення. Струмом спрацьовування вважають максимальне значення струму, зафіксоване міліамперметром в момент початку спрацьовування.

2. Відразу після відпускання реле, які працюють на постійному струмі, відбувається різке підвищення сили струму на його контактах живлення. Струмом відпускання вважають мінімальне значення струму, зафіксоване міліамперметром в момент початку відпускання.

3. Якщо відхилення стрілки міліамперметра недостатнє для отримання чітких показів, або стрілка досягає останньої позначки шкали, необхідно змінити діапазон вимірювання перемикачем приладу.

Таблиця 1.5. Результати вимірювання характеристик електромагнітних реле

Індекс реле	Індекс вимірювання	Напруга спрацьовування, В		Сила струму спрацьовування, мА		Напруга відпускання, В		Сила струму відпускання, мА		Коефіцієнт повернення	Коефіцієнт управління	Коефіцієнт запасу	Потужність, Вт	
		виміряна	середня	виміряна	середня	виміряна	середня	виміряна	середня				спрацьовування	відпускання

### **1.3.2 Визначення часу спрацьовування та відпускання електромагнетних реле**

В роботі використовується електронний таймер для вимірювання часу спрацьовування і відпускання реле. Таймер складається з таких основних частин: генератора послідовності імпульсів, лічильників, дешифраторів, індикаторного пристрою. На передній панелі таймера розміщені органи управління і індикації. За допомогою кнопки „Вкл./Откл.” таймер вмикається і вимикається. Встановлення діапазону вимірювання часу здійснюється перемикачем „1/2/3”. „1” відповідає діапазону від 0 до 50 мс (точність вимірювання часу 0,05 мс), „2” – від 0 до 3 с (точність вимірювання часу 3 мс), „3” – від 0 до 280 с (точність вимірювання часу 280 мс). Із зменшенням величини діапазону точність вимірювання часу спрацьовування і відпускання електромагнетного реле зростає. Оскільки після вмикання приладу значення лічильників встановлюються випадковим чином, безпосередньо перед вимірюванням часу спрацьовування або відпускання реле лічильники необхідно обнулити, для чого служить кнопка

„Ноль”. Кнопка „Сброс” необхідна для вимикання сигналізатора переповнення лічильників, імпульс якого фіксується світлодіодом „Перебор”. Тумблери „Срабатывание” і „Отпускание” відповідають за комутацію електричних ланцюгів відповідно до заданого режиму роботи. На індикаторах „Імпульси” висвічується кількість імпульсів, яку було відраховано з певною частотою (відповідно до положення перемикача „1/2/3”) від часу подачі номінальної напруги на контакти живлення реле до моменту його спрацьовування або відпускання.

Для підключення електромагнетного реле до електричних кіл таймера на його задній стінці встановлено спеціальний перехідний пристрій. Також на задній стінці таймера розміщені два запобіжники, які забезпечують відключення первинних та вторинних ланцюгів приладу при електричному перенавантаженні.

Конструкція таймера дозволяє проводити вимірювання часу спрацьовування і відпускання електромагнетних реле на базі однієї схеми, що значно спрощує його використання під час лабораторної роботи.

### Порядок визначення часу спрацьовування і відпускання реле:

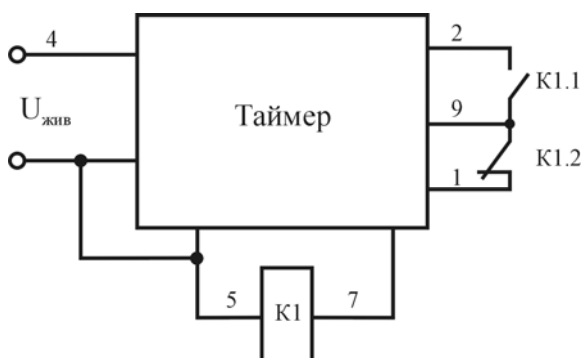


Рис. 1.6. Схема для визначення часу спрацьовування та часу відпускання реле

1. Скласти схему згідно рис. 1.6.

Перед вмиканням таймера ретельно перевірити правильність монтажу. Перед початком роботи органи управління таймера повинні знаходитись в таких положеннях:

- кнопка „Вкл./Откл.” в положенні „Откл.”;
- перемикачі тумблерів „Срабатывание” і „Отпускание” в нижньому положенні;
- перемикач „1/2/3” в положенні „1”.

2. Ввімкнути кнопку „Вкл./Откл.”, після чого повинні засвітитися її неоновий індикатор і табло „Імпульси”. Оскільки після ввімкнення приладу значення лічильників встановлюються випадковим чином, натиснути кнопку „Ноль”, після чого на індикаторах встановляться нулі. Перед вимірюванням часу спрацьовування і відпускання реле необхідно звернути увагу на стан світлодіодного індикатора „Перебор”. В разі, якщо він світиться, необхідно провести наступні маніпуляції: натиснути кнопку „Сброс” і не відпускаючи її натиснути кнопку „Ноль”, потім спочатку відпустити кнопку „Сброс”, а за нею кнопку „Ноль”. Наведена комбінація натискань і відпускань призведе до вимикання сигналізатора переповнення лічильників, імпульс якого фіксується світлодіодом „Перебор”. Таймер готовий до роботи.

3. Перевести перемикач тумблера „Срабатывание” в верхнє положення. На котушку електромагнетного реле подається напруга і паралельно з нею команда на відлік часу спрацьовування. На табло „Імпульси” фіксується кількість імпульсів, які встигли пройти від генератора до лічильників за час від моменту подачі напруги на котушку реле до замикання його нормально-розімкненого контакту.



4. Записати значення показів на табло і провести з ним відповідні арифметичні дії (див. нижче).

5. Після того, як покази табло „Імпульси” будуть записані, потрібно натиснути кнопку „Ноль” з метою анулювання показів лічильників таймера.

6. Перевести перемикач тумблера „Отпускание” в верхнє положення (перемикач тумблера „Срабатывание” залишається в попередньому положенні). На табло „Імпульси” фіксується кількість імпульсів, які встигли пройти від генератора до лічильників за час від моменту зняття напруги з котушки реле до замикання його нормально-замкненого контакту.

7. Записати значення показів на табло і провести з ним відповідні арифметичні дії (див. нижче).

8. Перевести перемикач тумблера „Отпускание” в нижнє положення.

9. Перевести перемикач тумблера „Срабатывание” в нижнє положення.

10. Обнулити лічильники таймера. Таймер готовий для повторного вимірювання часу спрацювання і відпускання електромагнетного реле.

11. Провести вимірювання часу спрацювання і відпускання кожного реле по 5 разів. Результати вимірювань занести до табл. 1.6.

#### Примітки:

1. Можливі ситуації, коли час спрацювання реле буде більшим за величину діапазону вимірювання таймера, в результаті чого засвітиться світлодіод „Перебор”. Для цього необхідно перемикач тумблера „Срабатывание” перевести в нижнє положення, перемикач „1/2/3” в положення „2”, провести вище наведені маніпуляції по згасанню світлодіода „Перебор” і знову ввімкнути тумблер „Срабатывание”. Потрібно відмітити, що положення „3” ще більше розширює діапазон вимірювання часу спрацювання реле.

2. Для уникнення зняття помилкових значень, безпосередньо перед вимірюванням необхідно обов’язково обнуляти лічильники таймера кнопкою „Ноль” і у разі горіння світлодіода „Перебор” проводити наведені вище маніпуляції для забезпечення його згасання.

3. Схема розраховування часу за показами табло:

- перемикач „1/2/3” в положенні „1”:

$$\tau = 0,05 \cdot | || | | ;$$

- перемикач „1/2/3” в положенні „2”:

$$\tau = 3 \cdot | || | | ;$$

- перемикач „1/2/3” в положенні „3”:

$$\tau = 280 \cdot | || | | ,$$

де  $\tau$  – час спрацювання (відпускання) реле, мс;

| || | | – покази табло.

Таблиця 1.6. Результати вимірювання часу спрацьовування і відпускання електромагнетних реле

Індекс реле	Вимірювання часу, мс				Середнє значення часу для серії реле, мс	
	спрацьовування	середнє	відпускання	середнє	спрацьовування	відпускання

### 1.3.3 Складання технічного опису реле

На підставі зовнішнього огляду і визначення робочих характеристик п'яти електромагнетних реле (п. 1.3.1) скласти технічний опис, до якого входить:

- маркування реле (за даними табл. 1.4);
  - рід струму (за даними табл. 1.4);
  - чутливість (за результатами розрахунків та даними табл. 1.2);
  - різновиди робочих контактів (вказати кількість і тип контактних груп).
- Результати занести до табл. 1.7.

Таблиця 1.7. Технічний опис електромагнетних реле

Індекс реле	Марка реле	Рід струму	Чутливість	Контактна група
P1				
P2				
P3				
P4				
P5				

### 1.4 Оброблення результатів дослідження

1. За одержаними даними розрахувати коефіцієнти повернення, управління і запасу, результати занести до табл. 1.5. Струм і напругу в керованому ланцюгу (на робочих контактах реле) прийняти рівними 0,5 А та 220 В.

2. Побудувати статичні характеристики усіх п'яти реле.
3. За одержаними даними (табл. 1.6) визначити середній час спрацьовування та відпускання для кожного реле та середні значення для групи реле. За даними табл. 1.3 класифікувати досліджені реле за швидкодією.
4. Зробити висновки по роботі.

### **1.5 Заходи безпеки**

Під час виконання досліджень необхідно виконувати загальні правила з техніки безпеки, які наведено в розділі «Техніка безпеки».

### **1.6 Контрольні запитання**

1. Поясніть будову і принцип дії електромагнетного реле.
2. Який вигляд можуть мати статичні характеристики реле? Чим вони відрізняються одна від одної?
3. Якими коефіцієнтами характеризується робота електромагнетних реле? За якими формулами визначають ці коефіцієнти?
4. Назвіть вхідні та вихідні параметри реле.
5. Які групи робочих контактів можуть бути в конструкції електромагнетних реле?
6. Наведіть класифікації реле за потужністю та за швидкодією.
7. Як визначити час спрацьовування та час відпускання реле?
8. Методика визначення робочих характеристик реле на лабораторному стенді.
9. Як розрахувати основні параметри і побудувати статичну характеристику реле?
10. Фізичні процеси в ланцюгу електромагнетного реле.

### **1.7 Зміст звіту**

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- послідовність виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- висновки.

## Лабораторна робота №2 РЕЛЕ ЧАСУ

**Мета роботи** – дослідити залежність технічних параметрів та принципів дії реле часу різних типів на системи управління технологічним процесом. Набути умінь оцінювання технічних і метрологічних параметрів реле часу і застосування їх у системах автоматики.

### 2.1 Загальні відомості

До реле часу належать реле, які мають час спрацьовування або відпускання понад 1 с. Реле часу в системах автоматики використовують для управління операціями в функції часу. Основні характеристики реле – мінімальний і максимальний час витримки, похибка відліку часу, кількість керованих кіл. Залежно від будови, реле часу поділяються на електромеханічні, моторні та електронні.

#### 2.1.1 Реле часу моторне багатоланцюгове типу ВС-10

Будова реле часу показана на рис. 2.1. Механізм реле приводиться в дію синхронним двигуном 1 типу СД-2. Від двигуна через понижувальний редуктор 2 обертання за допомогою торцевого храповика 3 передається зірочці 4, а через неї трьом дискам 8 із шкалами. Зчеплення між зірочкою та храповиком відбувається за допомогою важеля 6, який переміщується електромагнітом 5.

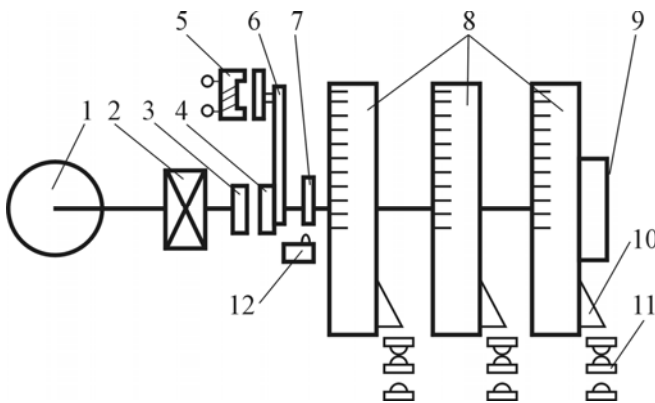


Рис. 2.1. Кінематична схема моторного реле часу: 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – храповик; 4 – зірочка; 5 – електромагніт; 6 – важіль; 7 – кулачок; 8 – диски; 9 – гайка; 10 – упор; 11 – контактна група; 12 – мікровимикач

ку часу в хвиликах.

Для вмикання реле часу на робочий режим, тобто для початку відліку часу, необхідно подати живлення на електродвигун та електромагніт. При цьому обертання від двигуна передається на вал з дисками. Під час їх обертання через установлений час упорами дисків приводяться в дію контактні групи.

На кожному з дисків знаходиться упор 10, який може перемикнути відповідну контактну групу 11. Ці контакти використовуються для управління зовнішніми ланцюгами, тобто є виконавчими елементами реле часу. Диски фіксуються на валу гайкою 9.

Необхідна витримка часу встановлюється поворотом кожного з дисків відносно візира. При цьому змінюється кутова відстань між упором та контактною групою. Поділка шкали на диску, який розташовується проти візира, вказує витримку

Загальний кут повороту дисків не повинен перевищувати  $360^\circ$ , тому для його обмеження передбачено розімкнення кола живлення електродвигуна та електромагніту контактами мікрореле 12, який спрацьовує під дією кулачка 7, жорстко закріпленого на валу установчих дисків. При цьому відбувається розчеплення храповика, і диски пружиною повертаються в початкове положення.

Монтажна схема реле часу ВС-10 показана на рис. 2.2.

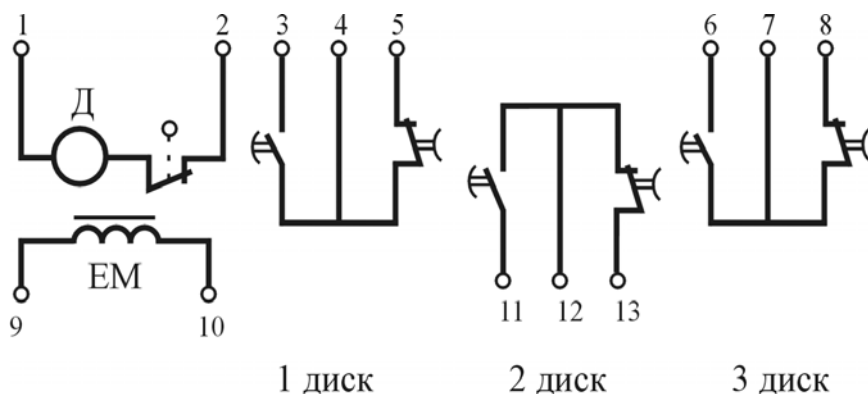


Рис. 2.2. Монтажна схема реле часу ВС-10

Кожна контактна група реле часу виконана у вигляді контактів, які перемикаються: один з яких замикає, а другий розмикає виконавчі ланцюги з витримкою при спрацьовуванні.

Абсолютна похибка відліку часу моторних реле головним чином

залежить від ціни поділки шкали на установчому диску і дбайливості налаштування на заданий час.

Серійні моторні реле часу випускаються на граничні витримки часу від 1 хв до 24 год і більше. Оскільки граничний кут обертання дисків для всіх моторних реле часу приблизно однаковий, похибка відрахування часу тим більша, чим більший граничний час, який може встановлюватись на реле.

Надійність роботи моторних реле часу пов'язана з наявністю рухомих частин і відносно складної механічної конструкції, яка при експлуатації зношується.

### 2.1.2 Електронне реле часу

Електронні реле часу характеризуються простотою будови, надійністю через відсутність рухомих частин, а також високою точністю відліку часу.

Для відліку часу в електронних реле часу використовується принцип зарядження й розрядження конденсатора через електричний опір. Якщо коло, в якому послідовно з'єднані резистор  $R$  та конденсатор  $C$ , підключити до джерела постійної напруги  $U_0$ , то різниця потенціалів на обкладинках конденсатора  $U_C$  зростає від нуля до потенціалу джерела згідно із формулою:

$$U_C = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right), \quad (2.1)$$

де  $e$  – основа натурального логарифма;

$t$  – час, який пройшов з моменту подачі напруги.

Аналогічне явище (але в протилежному напрямку) спостерігається і при зворотному процесі – розрядженні зарядженого до напруги  $U_0$  конденсатора через резистор.

Графічно ці залежності показано на рис. 2.3.

Основною характеристикою схеми або R-C кола є добуток RC який має назву сталої часу  $\tau = RC$ .

Час, потрібний для досягнення потенціалу  $U_C$  на обкладинках конденсатора:

$$t = R \cdot C \cdot \ln \frac{U_0}{U_0 - U_C} \quad (2.2)$$

При збільшенні опору резистора R або ємності конденсатора C стала часу  $\tau$  збільшується, крива зарядження (розрядження) стає менш крутою, і напруга на обкладинках конденсатора досягає того самого значення  $U_C$  вже за більший проміжок часу (рис. 2.3, а).

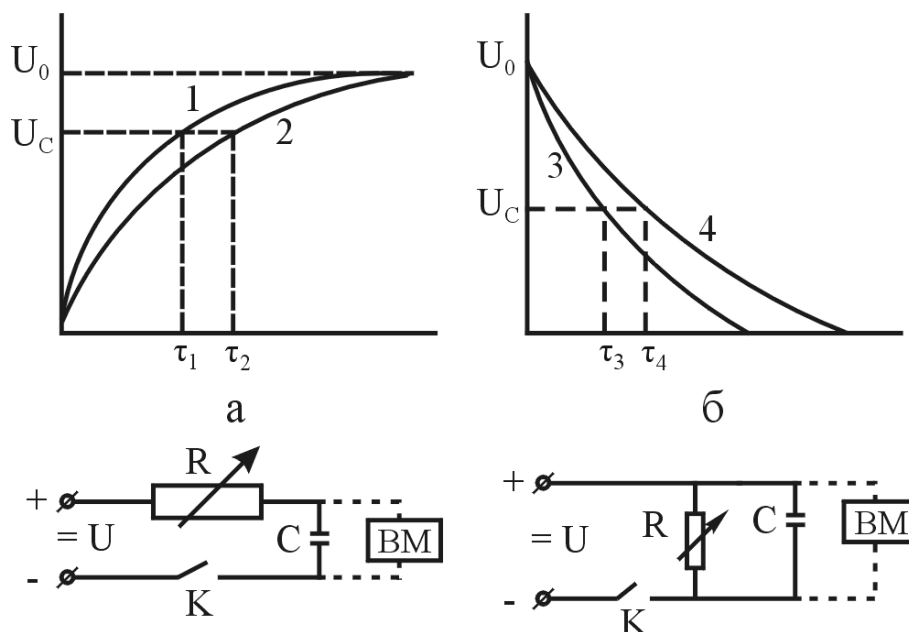


Рис. 2.3. Криві зарядження (а) та розрядження (б) конденсатора через резистор при різних сталих часу  $\tau$  ( $\tau_1 < \tau_2$ ;  $\tau_3 < \tau_4$ )

Використовуючи описану властивість R-C кола, можна змінюючи значення сталої часу шляхом зміни опору резистора R або ємності конденсатора C, регулювати час, за який різниця потенціалів на обкладинках конденсатора зміниться від 0 до  $U_C$  при зарядженні або від  $U_0$  до  $U_C$  при розрядженні. Цей принцип і використовується в електронних реле часу як механізм відрахування часу витримки. Встановлення потрібної витримки часу звичайно виконується шляхом зміни опору резистора, а конденсатор приймається із сталою ємністю.

**Електронне реле часу типу ЭРВ-1М.** На рис. 2.4 показано загальний вигляд електронного реле часу, а його принципова схема – на рис. 2.5.

Електронне реле часу (ЭРВ-1М) призначено для формування тимчасової витримки вмикання (вимикання) приладу від моменту подачі або зняття напруги.

В коло, яке складається з конденсатора  $C_0$  і магазину опорів (резистори R1...R8), увімкнено мікросхему (ACD24B-A3A2), рис. 2.5.



Рис. 2.4. Загальний вигляд електронного реле часу змінного струму ЭРВ-1М

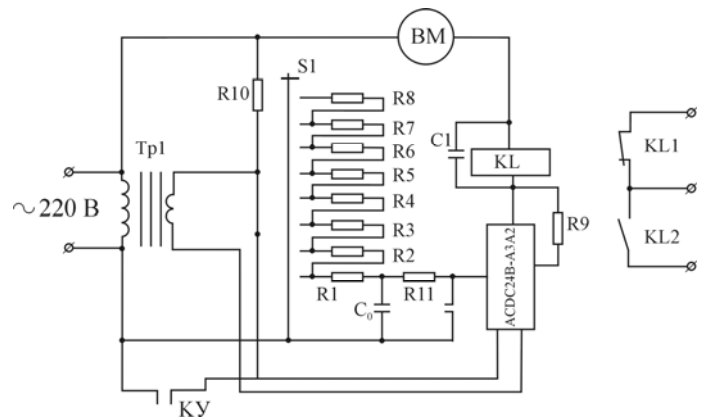


Рис. 2.5. Принципова схема електронного реле часу змінного струму ЭРВ-1М

Відраховування часу проводиться при замиканні контакту управління КУ. При цьому конденсатор  $C_0$  розряджається через резистори  $R1 \dots R8$ . Внаслідок цього потенціал запирання поступово зменшується.

При досягненні цим струмом значення струму спрацьовування електромагнетного реле KL, реле спрацьовує і перемикає робочі контакти KL1 і KL2. Час витримки реле регулюється перемиканням резисторів  $R1 \dots R8$ .

Контакт KL1, який замикається в початковій стадії спрацьовування реле KL, закорочує обкладинки конденсатора  $C_0$ , завдяки чому відбувається його миттєве розрядження і різке зростання струму. Цим забезпечується чітке спрацьовування електромагнетного реле KL. Конденсатор  $C1$  служить для згладжування пульсацій струму.

Електронне реле часу ЭРВ-1М працює від мережі електричного струму з напругою 220 В і частотою 50 Гц. Найбільша витримка часу – 100 с. Регулювання витримки часу – ступінчасте.

## 2.2 Використання реле часу в схемах автоматики

Реле часу будь-якого типу вмикається в схему автоматики через три групи зовнішніх струмопроводів: живлення, перемикання режиму роботи і виконавчих. Для зручності в роботі будова реле часу передбачає доступ до цих елементів без знімання захисного кожуха. Для живлення реле часу, які вивчаються в лабораторних роботах, використовується мережа змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц.

Перемикач режиму роботи (контакти управління) використовується для встановлення реле часу в режим відраховування часу або очікування (зарядження). Як перемикач режиму роботи можуть використовуватися контакти пускових кнопок, інших реле, тумблерних вимикачів тощо.

Виконавчі ланцюги являють собою контактні групи, які можуть мати різні функції: замикання, розмикання та перемикання, з витримкою при спрацьовуванні або відпусканні, а також миттєвої дії. Ці контакти використовуються для управління зовнішніми електричними ланцюгами, тобто для безпосереднього керування виконавчими механізмами технологічних операцій. Для зруч-

ності роботи на панель реле часу наносять умовними позначками схеми, які відображають маркування зовнішніх струмопроводів і їх підключення до відповідних елементів, рис. 2.6.



Рис. 2.6. Види контактів у системах автоматики: а – контакт, який замикається, з витримкою на замиканні; б – контакт, що розмикається, з витримкою на розмиканні; в – контакт, що замикається, з витримкою на розмиканні; г – контакт, що розмикається, з витримкою на замиканні

Схеми підключення моторного реле часу показані на рис. 2.7.

У схемі (рис. 2.7, а) ланцюг двигуна та електромагніта зчеплення мають незалежне живлення. Таке підключення забезпечує мінімальну похибку відрахунку часу.

На рис. 2.7, б, електромагніт та двигун з'єднані паралельно. Реле часу в цьому разі використовується без попереднього вмикання двигуна, але при цьому похибка відрахунку часу збільшується.

В електронному реле часу контакти управління не мають зовнішнього підключення до кола живлення (рис. 2.8).

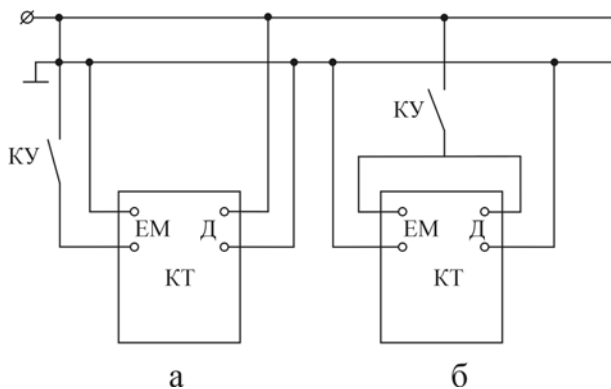


Рис. 2.7. Схема підключення моторного реле часу: а – незалежне з'єднання; б – паралельне з'єднання

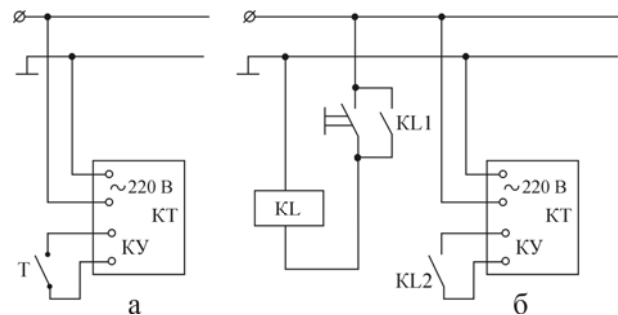


Рис. 2.8. Схеми підключення електронних реле часу: а – без зовнішнього блокування контактів управління; б – із зовнішнім блокуванням контактів управління

У системах автоматики зручно перемикає режим роботи реле часу шляхом подачі короткочасних імпульсів, тобто шляхом короткочасного замикання ланцюгів управління.

Оскільки в період відраховування часу контакти управління повинні не змінювати свого стану (наприклад, бути постійно замкненими), тому короткочасний пусковий імпульс необхідно запам'ятовувати в електричній схемі. Здійснюється це за допомогою блокувальних контактів миттєвої дії проміжного реле, яке передбачається в конструкції реле часу або повинно бути додатково увімкнене в схему підключення (рис. 2.8, б).



## 2.3 Порядок виконання роботи

Для виконання лабораторної роботи використовується стенд, на якому розміщені електронне реле ЭРВ-1М і моторне реле ВС-10, клеми для підключення до джерела живлення, сигнальні лампи та необхідні органи управління (тумблерні перемикачі тощо). Для складання робочих схем стенд комплектується набором з'єднувальних дротів.

### 2.3.1 Визначення технічних характеристик реле часу

1. Користуючись набором дротів та необхідних елементів, зібрати схему для дослідження моторного реле часу згідно з рис. 2.9, а.

2. Відкрутити фіксувальну гайку і встановити обертянням дисків реле витримку часу згідно із завданням. Закріпити положення дисків фіксувальною гайкою.

3. Увімкнути тумблер живлення електричного стенда.

4. Увімкнути тумблер живлення моторного реле і секундомір. Провести вимірювання часу витримки. Час витримки фіксується сигнальними лампочками А (перший диск) і Б (другий диск). Вимірювання провести 3 рази (після кожного вимірювання повертати диски на нульову відмітку), результати занести до табл. 2.1.

Примітка: Повернення дисків реле на нульову відмітку відбувається автоматично при вимиканні тумблера живлення реле.

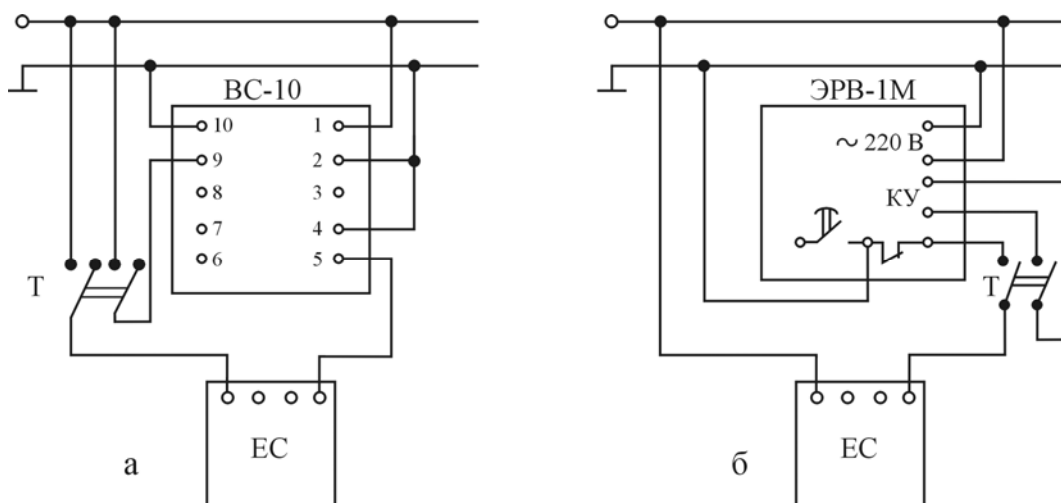


Рис. 2.9. Схеми дослідження реле часу: а – моторного реле ВС-10; б – електронного реле ЭРВ-1М

5. Користуючись набором дротів та необхідних елементів, зібрати схему для дослідження електронного реле часу згідно з рис. 2.9, б.

6. Перемиканням магазину опору в положення R1...R5 (згідно завдання), встановити задану витримку часу.

Таблиця 2.1. Дослідження реле часу

Тип реле часу	Номер диска	Задана витримка, с	Результати випробовувань, с				Випадкові похибки		Систематичні похибки	
			1	2	3	середнє арифметичне	абсолютна, с	відносна, %	абсолютна, с	відносна, %
BC-10	I									
BC-10	II									
Загальна похибка реле BC-10										
ЭРВ-1М	-									
Загальна похибка реле ЭРВ-1М										

7. Увімкнути тумблер живлення електричного стенда.

8. Увімкнути тумблер живлення електронного реле і секундомір. Провести вимірювання часу витримки. Час витримки фіксується сигнальною лампочкою В. Вимірювання провести 3 рази, результати занести до табл. 2.1.

### 2.3.2 Використання реле часу в системах управління технологічним процесом

1. Одержати завдання на виконання технологічного процесу:

Операція	Позначення	Тривалість, с
	А	
	Б	
	В	

2. Користуючись одержаними даними при виконанні першого завдання і теоретичними відомостями, вибрати можливий тип реле часу для виконання вказаних варіантів технологічних циклів процесу.

3. Скласти електричну схему для виконання технологічного циклу із використанням різних типів реле часу та циклограму відповідно.

4. На реле, розташованих на стенді, встановити завдання, використовуючи як сигналізатори виконання технологічних операцій сигнальні лампочки.

### Циклограма технологічного процесу

Код операції	Тривалість, с								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
А									
Б									
В									

5. Увімкнути живлення та перевірити роботу схеми управління. Визначити час виконання кожної з операцій. Вимірювання провести 3 рази. Одержані дані занести до табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Результати дослідження схеми управління

Операція	Тривалість циклу, с				Похибка	
	задана	фактична		середня фактична	абсолютна, с	відносна, %
А						
Б						
В						

### 2.4 Оброблення результатів

1. Визначити абсолютні та відносні значення випадкових і систематичних похибок витримки часу для моторного і електронного реле.

При визначенні похибок електронного реле приймати наступні значення заданої (номінальної) витримки: для R1 – 0,7с; для R2 – 2 с; для R3 – 10 с; для R4 – 17 с; для R5 – 70 с.

2. Визначити абсолютні і відносні систематичні похибки витримки часу за результатами управління технологічним процесом (табл. 2.2).

3. Порівняти значення отриманих похибок для реле різних типів і зробити висновки щодо особливостей їх застосування в системах автоматики.

### 2.6 Заходи безпеки

Під час виконання досліджень необхідно виконувати загальні правила з техніки безпеки, які наведено в розділі «Техніка безпеки».

### 2.7 Контрольні запитання

1. Що таке реле часу і які їх різновиди Ви знаєте?
2. Поясніть будову і принцип дії моторного реле часу.
3. Поясніть принцип налаштування і функціонування електронного реле часу за його схемою.
4. Які Ви знаєте різновиди контактних груп в реле часу?
5. Наведіть переваги та недоліки моторного і електронного реле часу.

6. Як визначити випадкові та систематичні похибки відліку часу реле?
7. В яких системах автоматики використовують реле часу?
8. Схеми підключення моторних та електронних реле часу.
9. Переваги та недоліки схем роботи з зарядженням та з розрядженням конденсатора.
10. Приклади використання реле часу в системах автоматики.

## 2.8 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- послідовність виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць;
- висновки.

## **Лабораторна робота №3 ПЕРЕВІРКА ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕРМОМЕТРІВ**

**Мета роботи** – вивчити методику перевірки термоелектричних термометрів, набути навички роботи з вимірювальними приладами, визначення поправок на температуру навколишнього середовища і оцінки похибок вимірювань.

### 3.1 Загальні відомості

Вимірювання температури за допомогою термоелектричних термометрів застосовується при контролі і регулюванні температури рідких металів і сплавів, робочого простору сушильних і термічних печей тощо.

Термоелектричні термометри є термопарами, які характеризуються достатньо високою і постійною чутливістю в певному робочому інтервалі температур і дають стабільні результати вимірювань.

Термопара складається із двох металевих дротиків (термоелектродів), які виконані з різних за електричним потенціалом металів або сплавів. На одному (робочому) кінці дротики міцно з'єднують, утворюючи робочий спай. Від точки контакту по всій довжині дротів вони мають бути заізольовані з метою уникнення контакту між ними. Другі (вільні) кінці дротиків під'єднуються до вимірювального пристрою. При зануренні робочого спаю в середовище, температура якого відрізняється від температури вільних кінців, між дротиками термопари виникає електрорушійна сила (ЕРС), тим більша, чим більша різниця температур.

При вимірюваннях температури один із спаїв термоелектричного термометра, який називають робочим або „гарячим”, поміщають в контрольовану точку, а між другими кінцями, які називають вільними або „холодними”, вмикають вимірювальний прилад. Якщо вільні кінці термоелектричного термометра

мають постійну температуру, то прилад, який вимірює термоЕРС, можна проградувати безпосередньо в значеннях температури робочого спаю.

Як вторинні прилади для роботи в комплекті з термоелектричними термометрами застосовують мілівольтметри або автоматичні потенціометри.

Термоелектрорушійна сила (термоЕРС), яку генерує вимірювальна термопара, залежить від різниці температур робочого і вільних кінців термопари, мВ:

$$E = S(t_{p.k.} - t_{v.k.}), \quad (3.1)$$

де  $S$  – чутливість термопари, мВ/°С;

$t_{p.k.}$ ,  $t_{v.k.}$  – температури робочого і вільних кінців термопари, °С.

Якщо температура вільних кінців відома і стала, то за значенням термоЕРС однозначно можна встановити температуру точки, де розміщений робочий спай, а вимірювальний прилад проградувати безпосередньо в одиницях температури.

У стандартних умовах градування термоелектричних термометрів здійснюють при температурі вільних кінців 0 °С.

Стандартні термопари, які мають найбільше поширення для вимірювання високих температур, позначення їх градувань та інтервали вимірюваних температур наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Основні характеристики термоелектричних термометрів

Термопара, позначення	Градування	Межі вимірювання, °С		
		нижня	верхня	
			короткочасно	довгочасно
Платинородій-платина, ТПП	ПП-1	0	1600	1300
Платинородій-платинородій, ТПР	ПР30/6	300	1800	1600
Хромель-алюмель, ТХА	ХА	200	1300	1100
Вольфрам-реній, ТВР	ВР5/20	0	2500	2200
Вольфрам-молібден, ТВМ	ВМ	1250	2000	2000

В інтервалі температур 200...1600 °С найбільш стабільним є платинородій-платиновий термоелектричний термометр, тому його використовують як зразковий і за ним здійснюють перевірку або градування інших термометрів.

Промислові термоелектричні термометри (рис. 3.1) виготовляють із дроту діаметром 0,5...3,2 мм. Робочий спай 7 термопари утворюють зварюванням, паянням або скручуванням. По всій довжині термоелектроди 4 ізолюються один від одного фарфоровими трубками 6. Для захисту від механічних пошкоджень та агресивної дії навколишнього середовища термопару розміщують у захисному чохлі 5, на якому також розміщується корпус 2 з клемною колодкою 1 для підключення з'єднувальних дротів, та штуцер 3 для закріплення термометра на об'єкті контролю.

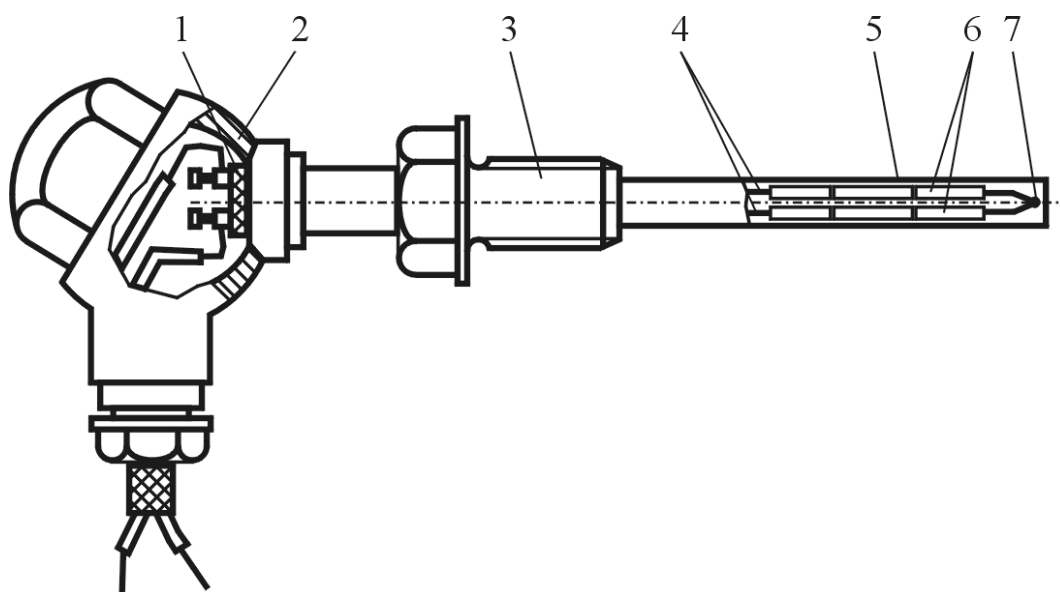


Рис. 3.1. Технічний термоелектричний термометр: 1 – клемна колодка; 2 – корпус; 3 – штуцер; 4 – термоелектроди; 5 – захисний чохол; 6 – фарфорові трубки; 7 – робочий спай

### 3.2 Лабораторне устаткування

Установка для перевірки термоелектричних термометрів показана на рис. 3.2.

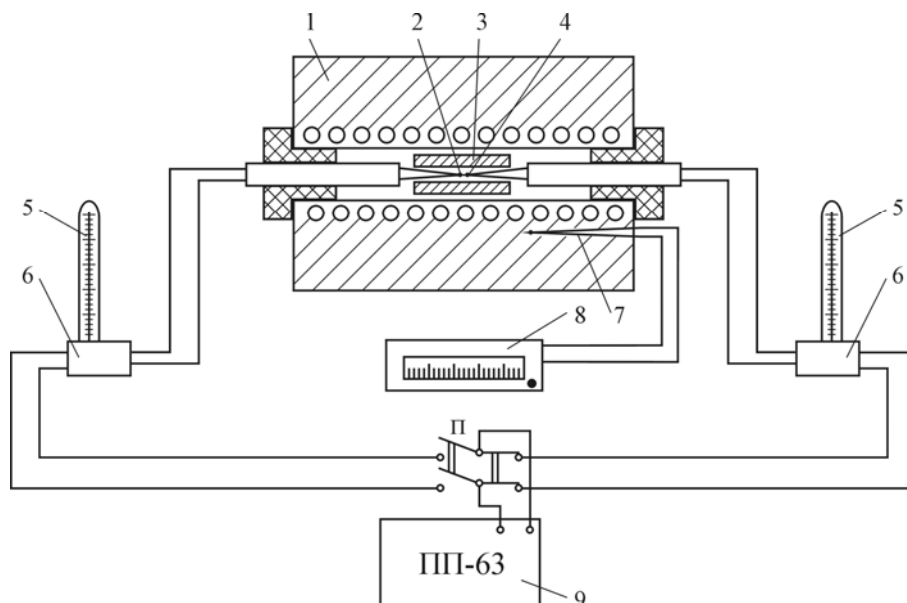


Рис. 3.2. Схема установки для градування термоелектричних термометрів: 1 – нагрівальна піч; 2 – робочий спай градуйованого термометра (ТХА); 3 – масивне тіло; 4 – робочий спай зразкового термометра (ТПП); 5 – ртутні термометри; 6 – коробки вільних кінців; 7 – термоелектричний термометр; 8 – мілівольтметр; 9 – потенціометр типу ПП-63

У нагрівальній печі 1 розташовано масивне сталеве тіло 3, в яке вмонтовані робочі спаї зразкового 4 (типу ТПП) і градуйованого 2 (типу ТХА) термоелектричних термометрів так, щоб вони мали надійний тепловий контакт між собою. Завдяки цьому забезпечується однакова температура робочих спаїв обох термометрів.

Температура нагрівача печі контролюється за допомогою термоелектричного термометра 7 і мілівольтметра 8 та регулюється позиційним регулятором, вбудованим у мілівольтметр.

Вільні кінці зразкового і градуйованого термометрів розташовані в коробках 6, температура в яких вимірюється ртутними термометрами 5.

Для вимірювання термоЕРС зразкового 4 і градуйованого 2 термометрів використовують потенціометр 9 типу ПП-63. Почергове підключення термометрів до потенціометра здійснюється перемикачем П.

**Потенціометр ПП-63.** Переносний потенціометр постійного струму ПП-63 з класом точності 0,05 призначений для вимірювання компенсаційним методом ЕРС і напруг, а також для перевірки в цехових умовах технічних термоелектричних термометрів і вторинних приладів. Діапазони вимірювання потенціометра: 0...25, 0...50, 0...100 мВ.

### 3.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись із лабораторним устаткуванням та перевірити правильність підключення вимірювальних приладів.

2. Встановити покажчик завдання регулятора 8 на найменше значення вимірюваної температури (в інтервалі 100...200 °С).

3. Увімкнути піч. При цьому на панелі управління піччю запалюється сигнальна лампочка.

4. Після досягнення заданої температури (визначається за спрацюванням регулятора та згасанням сигнальної лампочки на панелі управління піччю) зачекати 0,5...1 хв. для стабілізації температури робочого тіла і виконати почергове вимірювання термоЕРС зразкового та градуйованого термометрів за допомогою потенціометра ПП-63.

5. Переставити покажчик завдання регулятора 8 на наступне значення температури і повторити вимірювання за поз.4. Різниця температур між сусідніми точками повинна складати 100...150 °С. Вимірювання виконати не менш як у 5 точках в інтервалі 100...1000 °С.

6. При кожному вимірюванні термоЕРС зняти покази ртутних термометрів, які вимірюють температуру в коробках, де знаходяться вільні кінці термоелектричних термометрів.

7. Результати вимірювань занести до табл. 3.2.

### 3.4 Оброблення результатів

1. Визначити поправки на температуру вільних кінців термоелектричних термометрів за такою методикою.

Стандартне градуювання термоелектричних термометрів виконується при температурі вільних кінців, яка дорівнює 0 °С.

Таблиця 3.2. Результати вимірювань та розрахунків

Ін-декс	Температура печі	Зразковий термометр					Градуйований термометр				
		$e_{\text{вим}}, \text{ мВ}$	$t_{\text{в.к.}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$e_{t_{\text{в.к.}}}, \text{ мВ}$	$e_{10}, \text{ мВ}$	$t_{\text{дійсн}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$e_{\text{вим}}, \text{ мВ}$	$t_{\text{в.к.}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$e_{t_{\text{в.к.}}}, \text{ мВ}$	$e_{10}, \text{ мВ}$	$t_{\text{розр.}}, \text{ }^\circ\text{C}$

Оскільки в умовах лабораторії перевірка виконується при температурі вільних кінців термометрів, яка не дорівнює  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , то в отримані значення термоЕРС вводять поправки, які чисельно дорівнюють значенню термоЕРС термоелектричного термометра при температурі робочого спаю, який дорівнює температурі вільних кінців. Величини поправок визначають з градуювальних табл. 3.3 і 3.4.

Наприклад: термоЕРС градуйованого термометра ТХА при температурах робочого спаю  $t \text{ }^\circ\text{C}$  і вільних кінців  $t_{\text{в.к.}}$  складає з досліду  $e_{\text{вим}} = 20,01 \text{ мВ}$ . ТермоЕРС із градуювальної таблиці (табл.3.3) для температури робочого кінця термометра  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  і вільних кінців  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  для термометрів ТХА;

$$e_{t_{\text{в.к.}}} = \frac{(1,20 - 0,80) \cdot 3}{30 - 20} = 0,12 \text{ мВ},$$

де 1,20 – термоЕРС для температури робочого кінця термометра  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  і вільних кінців  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

0,80 – термоЕРС для температури робочого кінця термометра  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  і вільних кінців  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Тоді термоЕРС градуйованого термометра при температурі робочого кінця  $t \text{ }^\circ\text{C}$  і вільних кінців  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  становить:

$$e_{10} = 20,01 + 0,12 = 20,13 \text{ мВ}.$$

2. Користуючись градуювальною таблицею для зразкового термометра ТПП (табл. 3.4), за значенням його термоЕРС визначити дійсне значення температури в точці розміщення робочих спаїв термометрів.

Наприклад:

– для термометра ТПП:

$$t_{\text{дійсн}} = \frac{(490 - 480) \cdot |4,021 - 4,065|}{4,119 - 4,021} + 480 = \frac{0,44}{0,098} + 480 = 485 \text{ }^\circ\text{C},$$

де 4,065 – експериментально отримане з урахуванням поправки на температуру вільних кінців значення термоЕРС, мВ;

4,021 – значення термоЕРС при температурі робочого спаю  $480 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

4,119 – значення термоЕРС при температурі робочого спаю  $490 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Таблиця 3.3. Градуїрована таблиця термоелектричного термометра хромель-алюмель. Градуювання ХА. ГОСТ 3044-77.

Вільні кінці при 0°C

Температура, °C	Напруга, мВ										
	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	
-	-	0,39	0,77	-	-	-	-	-	-	-	
0	0	0,40	0,80	1,20	1,61	2,02	2,43	2,85	3,26	3,68	
100	4,10	4,51	4,92	5,33	5,73	6,13	6,53	6,93	7,33	7,73	
200	8,13	8,53	8,93	9,34	9,74	10,15	10,56	10,97	11,38	11,80	
300	12,21	12,62	13,04	13,45	13,87	14,30	14,72	15,14	15,56	15,99	
400	16,40	16,83	17,25	17,67	18,09	18,51	18,94	19,37	19,79	20,22	
500	20,65	21,08	21,50	21,93	22,35	22,78	23,21	23,63	24,06	24,49	
600	24,91	25,33	25,76	26,19	27,04	27,46	27,88	28,30	28,73	28,73	
700	29,15	29,57	29,99	30,41	30,83	31,24	31,66	32,08	32,49	32,49	
800	33,32	33,72	34,13	34,55	34,95	35,36	35,76	36,17	36,57	36,57	
900	37,37	37,77	38,17	38,57	38,97	39,36	39,76	40,15	40,54	40,54	
1000	41,32	41,71	42,09	42,43	42,88	43,26	43,64	44,02	44,40	44,40	
1100	45,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Таблиця 3.4. Градуїрована таблиця термоелектричного термометра платинородій-платина. Градуїювання ПП. ГОСТ 3044-77.

Вільні кінці при 0°C

Температура, °C	Напруга, мВ											
	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C		
-	-	-0,053	-0,103	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0,055	0,112	0,173	0,234	0,299	0,364	0,432	0,500	0,571		
100	0,634	0,717	0,792	0,869	0,947	1,026	1,106	1,187	1,269	1,352		
200	1,436	1,521	1,606	1,692	1,779	1,867	1,955	2,044	2,133	2,233		
300	2,314	2,406	2,498	2,591	2,684	2,777	2,871	2,965	3,060	3,154		
400	3,249	3,345	3,440	3,536	3,633	3,730	3,826	3,923	4,021	4,119		
500	4,218	4,316	4,415	4,515	4,615	4,715	4,815	4,915	5,016	5,118		
600	5,220	5,322	5,425	5,528	5,631	5,734	5,837	5,941	6,046	6,151		
700	6,256	6,362	6,467	6,573	6,679	6,686	6,893	7,000	7,108	7,216		
800	7,325	7,434	7,543	7,653	7,763	7,872	7,983	8,094	8,205	8,316		
900	8,428	8,540	8,653	8,765	8,878	8,992	9,106	9,220	9,334	9,419		
1000	9,564	9,679	9,795	9,911	10,028	10,145	10,262	10,379	10,496	10,614		
1100	10,732	10,850	10,968	11,086	11,205	11,324	11,443	11,563	11,683	11,803		
1200	11,923	12,043	12,163	12,284	12,404	12,525	12,645	12,766	12,887	13,008		
1300	13,129	13,250	13,371	13,492	13,613	13,734	13,855	13,975	14,096	14,217		
1400	14,338	14,458	14,579	14,699	14,813	14,939	15,059	15,179	15,298	15,418		
1500	15,537	15,656	15,775	15,893	16,011	16,129	16,247	16,364	16,481	16,598		
1600	16,714	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

– для термометра ТХА:

$$t_{розр} = \frac{(490 - 480) \cdot |19,79 - 20,13|}{20,22 - 19,79} + 480 = \frac{4}{0,43} + 480 = 489 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де 20,13 – експериментально отримане з урахуванням поправки на температуру вільних кінців значення термоЕРС, мВ;

19,79 – значення термоЕРС при температурі робочого спаю 480 °С;

20,22 – значення термоЕРС при температурі робочого спаю 490 °С.

3. За одержаними даними побудувати градувальний графік для термометра ТХА в координатах „температура – термоЕРС”.

4. Розрахувати чутливість градуйованого термометра:

$$S = \frac{\Delta e}{\Delta t}, \quad (3.2)$$

де S – чутливість термометра, мВ/°С;

$\Delta e$  – зміна термоЕРС термометра при зміні температури робочого спаю на величину  $\Delta t$ .

Розраховування виконати для кожного інтервалу температур між сусідніми експериментальними точками, потім визначити середню чутливість і занести результати до табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Розрахунок середньої чутливості

Показники	Інтервал температур, °С						
$\Delta e$ , мВ							
S, мВ/°С							
$S_{середнє}$ , мВ/°С							

5. Визначити похибку вимірювання температури градуйованого термометра ТХА відносно зразкового термометра ТПП (див. табл. 3.2):

$$\Delta t = t_{дійсн} - t_{розр} \quad (3.3)$$

$$\gamma = \frac{\Delta t}{t_{дійсн}} \cdot 100, \quad (3.4)$$

де  $\Delta t$  – абсолютна похибка, °С;

$t_{дійсн}$ ,  $t_{розр}$  – значення температур, одержаних під час вимірювання зразковим і градуйованим термометром;

$\gamma$  – відносна похибка, %.

Розраховування провести по всіх контрольних точках, а потім визначити середню похибку. Одержані дані занести до табл. 3.6.

Таблиця 3.6. Розраховування середньої похибки градуювання термометра

$t_{\text{дійсн.}}, ^\circ\text{C}$								
$t_{\text{рознр.}}, ^\circ\text{C}$								
$\Delta t, ^\circ\text{C}$								
$\gamma, \%$								
$\gamma_{\text{середнє}}, \%$								

### 3.5 Заходи безпеки

Під час виконання досліджень необхідно виконувати загальні правила з техніки безпеки, які наведено в розділі «Техніка безпеки».

### 3.6 Контрольні запитання

1. Поясніть будову і принцип дії термоелектричних термометрів.
2. Які різновиди термоелектричних термометрів Ви знаєте та які їх основні робочі характеристики?
3. Яка область застосування термоелектричних термометрів, виготовлених із різних матеріалів?
4. Для чого необхідно визначати поправку на температуру вільних кінців термоелектричного термометра?
5. Як визначити дійсну температуру за показами термоелектричного термометра?
6. Розкрийте принцип методики градуювання термоелектричних термометрів.
7. Що таке чутливість термоелектричного термометра і який її фізичний зміст?
8. За яких умов у термоелектричному термометрі виникає термоЕРС і яким чином її можна визначити?
9. За якими даними обчислюється похибка градуйованого термоелектричного термометра?
10. Лінеаризація функції.

### 3.7 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- послідовність виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- висновки.

## Лабораторна робота № 4 ТЕРМОМЕТРИ ОПОРУ

**Мета роботи** – вивчити будову і принцип дії термометрів опору та особливості вимірювання ними температури. Набути практичних умінь з методики градуювання, визначення метрологічних характеристик та застосування термометрів опору.

### 4.1 Загальні відомості

Вимірювання температури термометрами опору (ТО) засновано на властивості речовин змінювати свій електричний опір при зміні температури.

Для виготовлення термометрів опору використовуються чисті метали та ряд напівпровідників. Термометри опору з металів мають найбільше розповсюдження. Вони виготовляються з тонкого (діаметром 0,05...0,1 мм) платиного, мідного або нікелевого дроту, який намотується біфілярно на каркас із термостійкого ізоляційного матеріалу – слюди, фарфору тощо. Цей пристрій має назву чутливого елемента термометра опору.

Залежність електричного опору термометрів від температури описується рівняннями:

– для платинових і нікелевих ТО в діапазоні 0...630 °С:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + At + Bt^2), \quad (4.1)$$

– для мідних ТО:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha t), \quad (4.2)$$

де  $R_0$ ,  $R_t$  – електричний опір при температурах 0°С та  $t$ °С відповідно, Ом;  
 $A$ ,  $B$ ,  $\alpha$  – коефіцієнти, які залежать від виду, чистоти матеріалу та технології виготовлення дроту;

$t$  – вимірювана температура, °С.

Значення коефіцієнтів  $A$ ,  $B$  визначають вимірюванням опору термометрів при температурах кипіння води, сірки (або твердіння цинку) та кисню; температурного коефіцієнта  $\alpha$  – при температурах 0 та 100 °С.

Для захисту від механічних пошкоджень та агресивної дії середовища, де вимірюється температура, чутливий елемент 5 (рис. 4.1) розміщується в захисній арматурі – гільзі 4, яка оснащена голівкою 2, в якій знаходиться монтажна колодка 1 із затискачами для підключення з'єднувальних дротів, та штуцером 3 для закріплення ТО на об'єкті вимірювання.

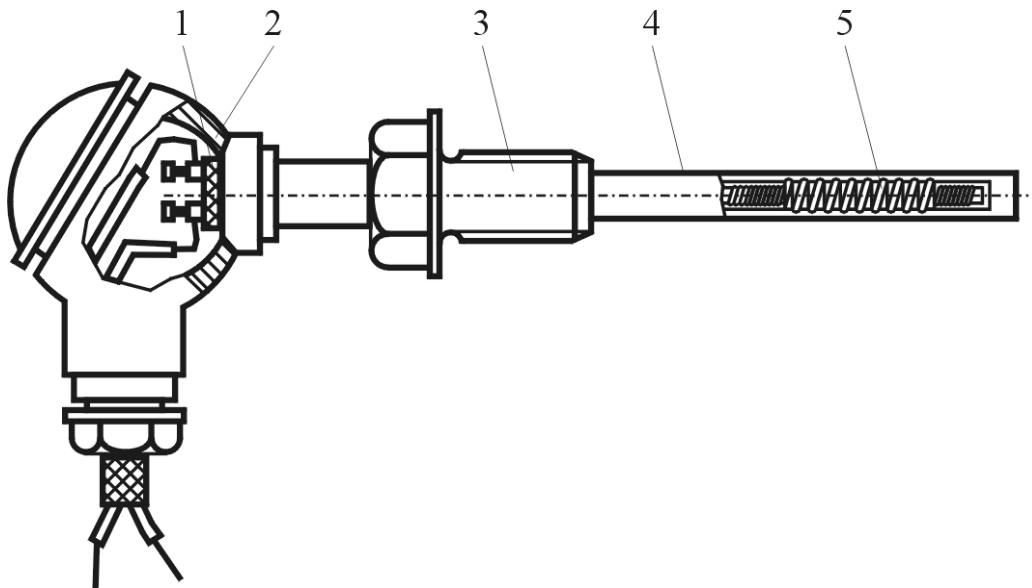


Рис. 4.1. Термометр опору: 1 – монтажна колодка; 2 – голівка; 3 – штуцер; 4 – гільза; 5 – чутливий елемент

Частина гільзи, де знаходиться чутливий елемент, називається активною частиною термометра опору.

При вимірюванні температури термометрами опору треба враховувати, що внаслідок відносно великих розмірів активної частини фактично проводиться визначення тільки середньої температури середовища в зоні, яка прилягає до активної частини термометра, а значна теплоємність вимірювального елемента призводить до його великої інерційності.

Серійні термометри опору з металів мають позначення ТСП (термометр сопротивлення платиновый) або ТСМ (термометр сопротивлення медный).

Для створення вимірювальних систем ТО виготовляються із стандартними градуванням (Гр.), величиною електричного струму і призначені для вимірювання температури в обмежених інтервалах (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Технічні характеристики металевих термометрів опору

Тип	Межі температур, °С	Градування	Номинальний опір при 0 °С, Ом
ТСП (платиновий)	0...650	Гр.20	10
	-200...0	Гр.21	46
	-200...0	Гр.22	100
ТСМ (мідний)	-50...180	Гр.23	53
		Гр.24	100

**Напівпровідникові термометри опору** (терморезистори), рис. 4.2, мають чутливі елементи, виготовлені з германію (ТСГ) або із суміші різних напівпровідникових речовин (ММТ – мідно-марганцеві, КМТ – кобальто-марганцеві). Форма чутливих елементів може бути різною: циліндрична, шайбова, кулькова (бусинкова).

Для захисту від можливих механічних пошкоджень і дії середовища чутливий елемент вкривається емаллю (ММТ-1, КМТ-1) і розміщується в захисному металевому (ММТ-4, КМТ-4) або скляному балоні (рис. 4.2).

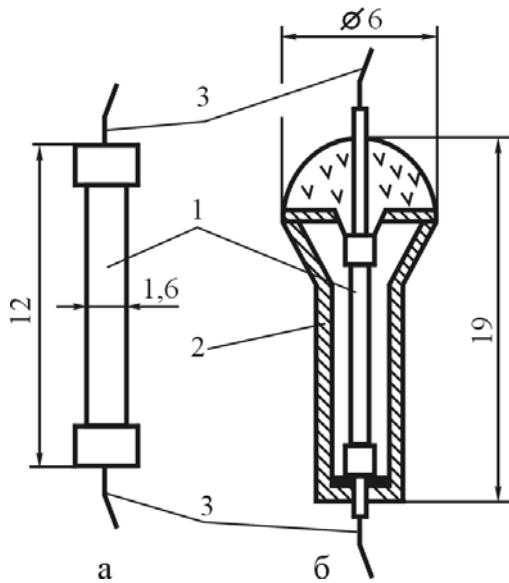


Рис. 4.2. Напівпровідникові термометри опору: а – типу ММТ-1 та КМТ-1; б – типу ММТ-4 та КМТ-4; 1 – чутливий елемент; 2 – захисний кожух; 3 – виводи

інерційність, чим вигідно відрізняються від металевих ТО. Однак серійні терморезистори навіть одного типу мають різні значення номінального опору і температурного коефіцієнта, що не дозволяє одержувати єдину градууювальну шкалу, а тому вимірювальні системи потребують індивідуального градуювання за рядом експериментальних точок у заданому інтервалі температур через кожні 10 °С.

## 4.2 Лабораторне устаткування

Установка для градуювання термометрів опору (рис. 4.3) складається з бачка 2 з робочою рідиною (водою або мінеральним мастилом) і нагрівального пристрою 1. Термометр опору 5, який підлягає градуюванню, занурюється у робочу рідину так, щоб його активна частина була повністю вкрита рідиною і знаходилася приблизно посередині її об'єму.

До клемних затискачів ТО підключається вимірювальний прилад 6 (електричний міст). Для визначення температури робочої рідини використовують ртутний термометр 4, вимірювальний балон якого повинен знаходитись у безпосередній близькості до середини активної частини ТО. З метою забезпечення рівномірного нагрівання (охолодження) всього об'єму робочої рідини під час вимірювань вона переміщується ручною мішалкою 3.

Для визначення динамічних характеристик може використовуватись також термостат, до робочої порожнини якого заливається вода.

Основний показник динамічних властивостей ТО – інерційність.

Межі температур, які дозволяють вимірювати напівпровідникові термометри опору (НТО), складають: від –250 до –183 °С (германієві НТО) та від 100 до 300 °С (ММТ, КМТ).

Для серійних НТО залежність опору від температури в інтервалі до 100 °С описується рівнянням:

$$R_T = AT^B e^{B/T}, \quad (4.3)$$

де  $R_T$  – опір НТО при температурі  $T$ , Ом;

$T$  – температура, К;

$A, B$  – постійні коефіцієнти, які залежать від виду матеріалу чутливого елемента та його будови.

Завдяки малим розмірам та теплоємності НТО мають незначну інерційність.

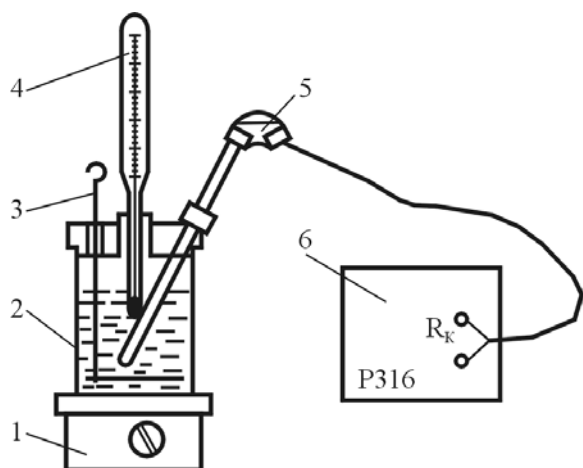


Рис. 4.3. Лабораторна установка для градування термометрів опору: 1 – нагрівальна плітка; 2 – бачок; 3 – мішалка; 4 – ртутний термометр; 5 – термометр опору; 6 – вимірювальний прилад

для вимірювання електричного опору в ланцюгах з постійним струмом в діапазоні  $10^{-5} \dots 10^6$  Ом. Основна похибка вимірювання не перевищує  $\pm 0,2\%$ .

Живлення моста проводиться від мережі змінного струму напругою 220 В через колодку 4 (рис. 4.4). Передбачена також можливість живлення моста від джерела постійного струму (батареї), яке підключається до клемних затискачів 2 (НБ). Прилад має вмонтований гальванометр 8, можливі підключення зовнішнього гальванометра до клем 6 (Г).

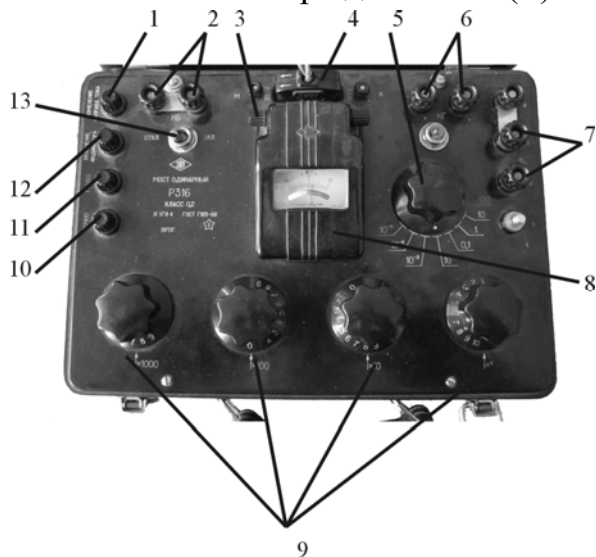


Рис. 4.4. Панель управління моста мод. P316

### Правила роботи з мостом:

1. Перед початком вимірювання встановити всі кнопки моста в положення „Вимкнено”.
2. Підключити міст до електричної мережі напругою 220 В через колодку 4, після чого тумблер 13 (див. рис. 4.4) перевести у положення „Вкл.”.
3. Коректором 3 на індикаторі встановити його стрілку на нуль.

У паспортних даних ТО теплову інерційність визначають як час, потрібний для того, щоб опір термометра, перенесеного з середовища із „температурою 0 °С до води з температурою 20...60 °С, змінився на 90% від різниці усталених значень опорів, які відповідають початковій та кінцевій температурам. Термометри з великою інерційністю мають інерційність не більше 10 хв, з середньою інерційністю – не більше 3 хв, малою – не більше 20 с.

### Міст постійного струму P316.

Міст постійного струму призначений для вимірювання електричного опору в ланцюгах з постійним струмом в діапазоні  $10^{-5} \dots 10^6$  Ом. Основна похибка вимірювання не перевищує  $\pm 0,2\%$ .

Живлення моста проводиться від мережі змінного струму напругою 220 В через колодку 4 (рис. 4.4). Передбачена також можливість живлення моста від джерела постійного струму (батареї), яке підключається до клемних затискачів 2 (НБ). Прилад має вмонтований гальванометр 8, можливі підключення зовнішнього гальванометра до клем 6 (Г).

З лівого боку панелі управління приладу розташовані чотири кнопкові перемикачі: „Грубо” (11) і „Точно” (10) для вмикання гальванометра (12) і зміни напрямку струму в вимірювальній діагоналі моста (1). Опір, який вимірюється, підключається до клем  $R_x$  (7), розташованих з правого боку панелі. Межі вимірювання опору встановлюють за допомогою перемикача відношення плечей 5, а врівноваження мостової схеми здійснюється чотирма декадними перемикачами 9 магазину опорів, які включені в плечі порівняння моста.



4. Підключити до затискачів  $R_x$  термометр опору.
5. Перемикач 5 встановити в положення, відповідне множнику  $10^{-2}$  для роботи з металевим ТО або множнику 10 при роботі з НТО.
6. Натиснути кнопки „Включение индикатора” (12) і „Грубо” (11).
7. При утримуванні кнопки „Грубо” за допомогою ручок декадних перемикачів 9 врівноважувати схему доти, поки відхилення стрілки індикатора не буде перевищувати  $\pm 2$  поділки від нульової відмітки.
8. Відпустити кнопку „Грубо” і натиснути кнопку „Точно”. Остаточно врівноважити схему перемикачами 9.
9. Результат вимірювання розраховується за формулою:

$$R = A \cdot M, \quad (4.4)$$

де  $R$  – опір, який визначається, Ом;

$A$  – чотиризначне число, виставлене на перемикачах;

$M$  – множник, виставлений на перемикачі 5.

При встановленні перемикача на поділці  $10^{-2}$  отримаємо значення опору з точністю до 0,01 Ом.

### 4.3 Виконання роботи

У лабораторній роботі прийнята методика градуювання ТО шляхом паралельного вимірювання температури зразковим термометром та електричного опору ТО. Чутливі елементи обох термометрів при цьому повинні знаходитися в одній зоні (див. рис. 4.3). Для усунення впливу динамічних характеристик термометрів температура в зоні вимірювання повинна бути під час вимірювання постійною, а результати необхідно занотовувати після закінчення перехідних процесів у термометрах.

#### Послідовність виконання роботи:

1. Одержати у викладача термометр опору, який підлягає градуюванню.
2. Зняти кришку бачка і за допомогою змонтованих на ній затискачів закріпити ТО і ртутний термометр таким чином, щоб вимірювальний балон ртутного термометра торкався середини активної частини ТО.
3. Переконатися, що рівень робочої рідини в бачку достатній, щоб повністю покрити активну частину ТО.
4. Накрити бачок кришкою із закріпленими термометрами.
5. Підготувати до роботи вимірювальний міст Р316 згідно з правилами роботи із приладом.
6. Підключити ТО до вимірювального моста.
7. Перемішати робочу рідину, заміряти початковий опір ТО і встановити за ртутним термометром температуру робочої рідини. Результати вимірювань занести до табл. 4.2.
8. Встановити бачок на нагрівальний пристрій, увімкнути нагрівальний пристрій і стежити за зміною температури робочої рідини за ртутним термометром. При підвищенні температури на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  зняти бачок з нагрівального при-

строю, ретельно перемішати робочу рідину для усереднення її температури і визначити опір ТО. Результати вимірювань занести до табл. 4.2.

9. Повернути бачок на нагрівальний пристрій і по мірі підвищення температури робочої рідини провести вимірювання опору ТО через кожні 10...20 °С в інтервалі до 100 °С. Перед кожним вимірюванням бачок знімати із нагрівального пристрою на підставку і перемішувати робочу рідину. Результати вимірювань занести до табл. 4.2.

10. Після досягнення температури 100 °С бачок зняти з нагрівального пристрою.

Таблиця 4.2. Градування термометрів опору

Номер досліджу	Покази ртутного термометра, °С	Тип термометра опору	Електричний опір, Ом		
			при нагріванні	при охолодженні	середнє

#### 4.4 Оброблення результатів

1. Використовуючи дані табл. 4.2, побудувати графік залежності опору ТО від температури.

2. Визначити середню чутливість термометра опору в інтервалі температур, в якому було здійснено градування.

3. Використовуючи рівняння (4.1) або (4.2), розрахувати теоретичні значення температури в контрольних точках і записати до табл. 4.3. Під час виконання розраховувань прийняти:

$$A = 3,96847 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1};$$

$$B = - 5847 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2};$$

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

4. Визначити абсолютну і відносну похибку термометра опору.

5. Зробити висновки щодо можливості і умов застосування дослідженого ТО у вимірювальних системах.

Таблиця 4.3. Визначення похибок вимірів

Тип ТО	R <sub>0</sub>	Температура, °С		Похибки	
		виміряна	розрахована	абсолютна, °С	відносна, %

#### 4.5 Заходи безпеки

Під час виконання досліджень необхідно виконувати загальні правила з техніки безпеки, які наведено в розділі «Техніка безпеки».

#### 4.6 Контрольні запитання

1. Поясніть будову і принцип дії термометрів опору.
2. Які різновиди термометрів опору Ви знаєте і які їх особливості?
3. Як залежить опір різних термометрів від температури? Як це враховують при визначенні температури?
4. З якою метою проводять градування термометрів опору?
5. Що є вихідною величиною термометра опору і як її визначають?
6. Як визначити чутливість термометра опору і який її фізичний зміст?
7. Лінеаризація функції.
8. Класифікація термометрів опору за швидкодією.
9. Терморезистори. Переваги і недоліки.
10. Призначення компенсаційних дротів.

#### 4.7 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- послідовність виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць та графіків;
- висновки.

### Лабораторна робота № 5 АВТОМАТИЧНІ МОСТИ ТА ПОТЕНЦІОМЕТРИ

**Мета роботи** – вивчити принцип дії та будову автоматичних мостів і потенціометрів, засвоїти методику перевірки та налаштування приладів, навчитися оцінювати їх технічні параметри. Набути навичок використання автоматичних мостів та потенціометрів у системах автоматичного контролю.

#### 5.1 Загальні відомості

Автоматичні мости і потенціометри використовуються як вторинні прилади в системах автоматичного контролю для безперервного вимірювання, запису та регулювання температури або інших фізичних величин, зміна яких може бути перетворена в зміну активного електричного опору (для мостів) або різниці потенціалів постійного струму чи ЕРС (для потенціометрів).

Первинними перетворювачами температури в електричні величини (або термодатчиками), є: для автоматичних мостів – термометри опору; для потенціометрів – термоелектричні термометри (термопари) або телескопи пірометрів повного випромінювання.

Автоматичні мости і потенціометри – технічні прилади високого класу точності. Вони виготовляються різних модифікацій: показувальні та самописні (із записом на дисковій або стрічковій діаграмі); одно- та багатоточкові; можуть містити вбудовані сигналізатори, регулювальні пристрої або датчики дистанційної передачі показів.

Для автоматичних мостів та потенціометрів встановлені наступні **класи точності**: 0,25; 0,5; 1,0; 1,5. Це означає, що межі допустимої основної похибки показів приладів, виражені у відсотках від нормованого значення вимірюваної величини, на всіх відмітках шкали не повинні перевищувати  $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 1,0$ ;  $\pm 1,5$  % для відповідних класів точності.

За **нормоване значення** приймають різницю граничних значень діапазону вимірювань. Нормоване значення і діапазон вимірювань виражаються в одиницях електричного опору (для мостів) або постійної напруги (для потенціометрів).

Межі припустимої основної похибки на всіх відмітках діаграми самописних приладів встановлюються залежно від класу точності й ширини поля запису при відносній вологості 60%. Для приладів класу точності 0,5 з шириною поля запису 250 мм межі допустимої основної похибки на всіх відмітках діаграми не повинні перевищувати  $\pm 0,5\%$ , а з шириною поля запису 160 мм –  $\pm 1,0\%$  нормованого значення вимірюваної величини.

**Швидкодія приладу** (час проходження покажчиком всієї шкали) залежно від типу та модифікації приладів може складати 0,25; 0,50; 1,0; 2,5; 5,0; 10; 16 с.

Конструктивно автоматичні мости й потенціометри одного типу виготовляються в однакових корпусах з використанням уніфікованих елементів будови та електричних кіл.

Найважливіші технічні параметри приладів (тип та модифікація, рік виготовлення, заводський номер, градування, межі вимірювань, клас точності) наносять на лицьову частину шкали та заводську маркувальну табличку, яка дозволяє визначати належність приладу без звертання до паспорта.

Підключення зовнішніх електричних кіл здійснюється через спеціальну монтажну колодку, яка найчастіше встановлюється на зовнішній стінці корпусу, що забезпечує можливість зручного монтажу зовнішніх кіл без втручання до внутрішньої частини приладу.

## 5.2 Автоматичні мости

В основу роботи автоматичних зрівноважених мостів покладено нульовий метод вимірювання опору. Принципова вимірювальна схема складається з чотириплечового моста, в одну з вершин якого включено реохорд, завдяки чому зміщення пересувного контакту реохорда призводить до одночасної зміни опору суміжних плечей моста (рис. 5.1).

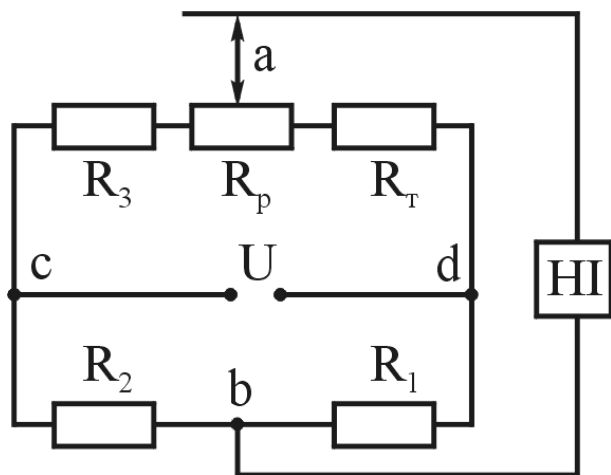


Рис. 5.1. Вимірювальна схема автоматичного моста

реохорда, можна знайти положення рівноваги схеми, тобто коли потенціали в точках **a** і **b** будуть рівними. В такому разі покажчик індикатора не буде відхилятися від нульової відмітки. При цьому кожному значенню опору  $R_T$  буде відповідати своє положення повзуна реохорда (точка **a**). Таким чином, за положенням повзуна реохорда можна знайти величину вимірюваного опору.

Відомо, що між зміною опору термометра  $\Delta R_T$  і зміщенням контакту реохорда існує лінійна залежність. Таким чином, якщо з повзуном реохорда жорстко зв'язати покажчик температури, то шкала приладу буде рівномірною. З викладених причин описана принципова схема застосовується в автоматичних зрівноважених мостах.

### 5.3 Автоматичні зрівноважені електронні мости типу МС та МСР

Принципова схема вимірювальної системи автоматичного зрівноваженого моста показана на рис. 5.2.

В автоматичних мостах зрівноваження схеми здійснюється автоматично. В діагональ мостової схеми замість нуль-індикатора включено електричний підсилювач, на вихід якого підключається реверсивний електродвигун РД. Живлення мостової схеми здійснюється змінним струмом напругою 6,3 В. Якщо схема не зрівноважена, то двигун пересуває повзун реохорда, поки схема не збалансується. Коли досягається положення рівноваги, на вхід підсилювача подається нуль, двигун зупиняється, а повзун реохорда і покажчик займають положення, яке відповідає вимірюваному опору. З покажчиком жорстко пов'язане перо або друкувальний вузол, за допомогою яких вимірювана величина записується на діаграмній стрічці або диску, які рівномірно пересуваються синхронним двигуном СД.

Для усунення впливу опору з'єднувальних дротів, який залежить від відстані між мостом та точкою, де встановлений термометр опору, останній підключається за тридротовою схемою. Завдяки цьому опір дротів розподіляється між двома прилеглими плечами  $R_T$  та  $R_1$ , і їх вплив на рівновагу мостової схеми значно послаблюється.

Термометр опору включається до одного з плечей, яке прилягає до вершини з реохордом. Мостова чотириплечова схема складається з резисторів постійного опору  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , резистора змінного опору  $R_T$  (термометр опору). До точок **c** і **d** підключено джерело живлення з напругою  $U$ .  $R_p$  – опір реохорда.

Струми, які протікають по плечах моста, створюють у точках **a** і **b** різницю потенціалів, яка фіксується нуль-індикатором (НІ), підключеним до цих точок. Пересуваючи повзун

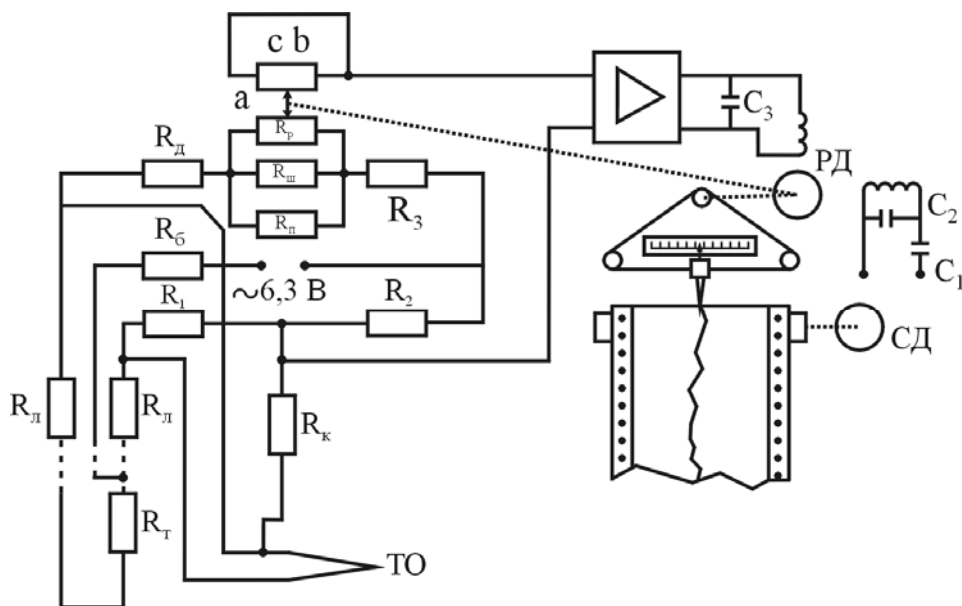


Рис. 5.2. Принципова схема автоматичного зрівноваженого моста

Відомо, що відхилення опору дротів з'єднувальних ліній  $R_{л}$  від прийнятого при градуванні обумовлює додаткову похибку у вимірюванні опору термометра. Тому в паспортних даних приладу вказується номінальний опір з'єднувальних ліній, а для підгонки їх опору до номінального використовуються підгоночні резистори  $R_{л}$ .

Вимірювальна схема приладу складається з таких основних вузлів: реохорда, панелі з котушками опорів, вузла контролю справності, електронного підсилювача УМ-109. Усі конструктивні елементи, крім підсилювача, змонтовані на поворотному кронштейні, робоче положення якого фіксується заскочкою, розташованою з правого боку лицьової панелі.

### 5.3.1 Вузол реохорда

Реохорд розташований знизу на поворотному кронштейні. Він являє собою дві спіралі з каліброваного манганінового дроту, який намотано рівномірно на ізольовані мідні шини і вкладено в канавки круглої пластмасової основи.

Одна спіраль є робочою, а друга закорочена і служить для відведення струму. Потенціал з робочої спіралі знімається за допомогою контакту, який пересувається одночасно по обох спіралях.

Для приведення опору реохорда  $R_p$  до стандартного значення 90 Ом паралельно робочій спіралі підключена котушка шунтувального резистора  $R_{ш}$ . Тут також знаходяться котушки опорів  $R_1, R_2, R_3, R_{п}, R_{к}$  вимірювальної схеми.

### 5.3.2 Панель з котушками

Панель з котушками розташована з заднього боку поворотного кронштейна. На ній закріплені котушки опорів  $R_6, R_d$  та регульовані опори, які служать для точної підгонки шкали приладу.

### **5.3.3 Вузол контролю справності**

Кнопка контролю справності розташована у верхній лівій частині поворотного кронштейна. При натисненій кнопці до вимірювальної схеми замість термометра опору підключається резистор  $R_k$ , і в справному приладі повзун реохорда автоматично переміщується в положення, яке відповідає початковій відмітці шкали. Якщо показчик не встановлюється на нульову відмітку шкали, вимірювальна схема моста несправна.

### **5.3.4 Електронний підсилювач**

У мостах змінного струму типу МС використаний підсилювач типу УМ-109, який складається з підсилювача потужності, підсилювача напруги та джерела живлення. Регулювання коефіцієнта підсилювання здійснюється потенціометром, ручка якого виведена на передню стінку підсилювача. Правильно відрегульований підсилювач відповідає стану, коли при ступінчастій зміні вимірюваного опору показчик приладу робить два-три коливання із затуханнями біля точки нового положення рівноваги.

### **5.3.5 Стрічкопротяжний механізм**

Покази приладу записуються на діаграмну стрічку шириною 160 мм, яка рівномірно пересувається за допомогою стрічкопротяжного механізму. Основні частини механізму: синхронний електродвигун СД-54, редуктор, поворотний кронштейн з гніздами нового і відпрацьованого діаграмного паперу та протяжним (приводним) барабаном.

Швидкість пересування діаграмної стрічки може змінюватись ступінчасто за допомогою змінних зубчастих коліщат редуктора. Схема налаштування стрічкопротяжного механізму на вибрану швидкість накреслена на знімному щитку, який одночасно служить кришкою редуктора.

При необхідності діаграмна стрічка може пересуватися вручну шляхом обертання протяжного барабана рукояткою, розташованою з його правого боку.

### **5.3.6 Записувальний вузол**

Записувальний вузол змонтований на каретці з показчиком. У разі однокривих приладів він являє собою закріплене на пластині трубчасте перо. При записі показів перо опускається на діаграмну стрічку і притискається до неї власною вагою. Якщо запис показів не проводиться, то пластина з пером підіймається і утримується в цьому положенні стопорною пружиною. Запис виконується спеціальним чорнилом, яке подається до пера через гнучку трубку. Чорнильниця встановлюється у гніздо на кронштейні стрічкопротяжного механізму.

У багатоточкових приладах запис показів здійснюється друкувальним механізмом, який встановлюється на каретку з показчиком. Друкувальний меха-

нізм наносить на стрічку точки з цифровим позначенням, що відповідає номеру підключеного до вимірювальної схеми термометра. Перемикання термометрів виконується автоматично при вмиканні стрічкопротяжного механізму.

### 5.3.7 Основні технічні дані автоматичних зрівноважених мостів типу МС та МСР

1. Прилади призначені для роботи в стаціонарних умовах при температурі навколишнього середовища від 0 до 50 °С та відносній вологості повітря від 30 до 80%.

2. Живлення приладів здійснюється напругою 127 В від вторинної обмотки трансформатора.

3. Основна похибка показів приладів не перевищує  $\pm 0,5\%$  при температурі 20 °С.

4. Варіація показів приладів не перевищує 0,5% області показів, а поріг нечутливості 0,1%.

5. Шкала приладу проградуєвана в градусах Цельсія.

6. Час проходження стрілкою всієї шкали 2,5 або 8 с.

7. Конструкція приладу забезпечує такі швидкості пересування діагностичної стрічки: 20, 40, 60, 120, 240 та 3600 мм/год.

8. Потужність 70 Вт.

9. Маса приладу 22 кг.

### 5.3.8 Підготовка до роботи та пуск приладу

Для приведення приладу в дію необхідно:

1. Підключити прилад до живлення.

2. Підключити до клем моста магазин опорів.

3. Подати напругу на прилад і встановити вимикач моста в положення "Вкл". Прогріти електронні лампи підсилювача протягом 2...3 хв.

### 5.4 Автоматичні потенціометри типу КСП

Принципова схема вимірювальної системи автоматичного потенціометра показана на рис. 5.3.

В автоматичних потенціометрах, так само як і в мостах, зрівноваження схеми здійснюється автоматично.

Датчик термоЕРС або напруги постійного струму  $E_x$  включений послідовно з підсилювачем в діагональ вимірювального моста „**ab**”. У іншу діагональ „**cd**” включене джерело стабілізованого живлення, яке забезпечує постійність робочого струму у вимірювальній схемі. Якщо вимірювана ЕРС дорівнює падінню напруги в точках **a**, **b**, то схема знаходиться в рівновазі.

При зміні вимірюваної ЕРС на вхід підсилювача подається сигнал постійного струму, який перетворюється в змінний струм і підсилюється до величини, достатньої для приведення в дію реверсивного двигуна РД.



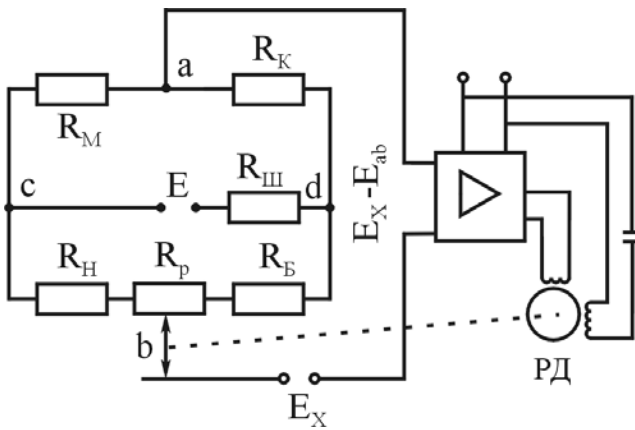


Рис. 5.3. Вимірювальна схема автоматичного потенціометра

Вісь двигуна за допомогою шківів і тросів пов'язана з кареткою (показчиком), на якій закріплений движок реохорда  $R_p$ . Ротор реверсивного двигуна обертається до тих пір, поки існує сигнал, викликаний розбалансуванням схеми. Одночасно переміщується показчик приладу і движок по реохорду, доки не досягнеться рівновага у вимірювальній схемі.

В момент рівноваги вимірювальної схеми положення показчика на шкалі визначає значення вимірюваної величини. Із показчиком жорстко пов'язаний друкувальний пристрій, який здійснює запис вимірювань у вигляді ряду цифр на діаграмному папері.

При виконанні умови компенсації напруга між точками **a** і **b** дорівнює термоЕРС термометра  $E_x$ , тому струму в ланцюгу термометра не буде.

Тобто кожному значенню  $E_x$  відповідає конкретне положення повзуна реохорда, і за положенням повзуна реохорда можна визначати вимірювану величину  $E_x$ . Шкала приладу при цьому лінійна.

Вимірювальна схема приладу складається з двох гілок: робочої, в яку включений реохорд, і допоміжної.

На схемі позначено:  $R_p$  – реохорд;  $R_{\text{Ш}}$  – шунт реохорда, який служить для підгонки опору реохорда до заданого нормованого значення;  $R_H$  – резистор для встановлення діапазону вимірювань;  $R_B$  – резистор балансування для встановлення заданого значення робочого струму в верхній частині мостової схеми;  $R_K$  – контрольний резистор для контролю робочого струму у вимірювальному ланцюгу шляхом перевірки падіння напруги на ньому;  $R_M$  – допоміжний резистор з мідного дроту для введення автоматичної поправки на зміну термоЕРС термометра при зміні температури його вільних кінців. Резистор  $R_M$  монтується у безпосередній близькості від клем, до яких підключаються вільні кінці термометра. Дія компенсаційного мідного опору полягає в тому, що при зміні температури на опорі з'являється додаткове падіння напруги, яке компенсує зміну термоЕРС, викликану зміною температури вільних кінців термоелектричного термометра.

Вимірювання термоЕРС або різниці потенціалів автоматичними зрівноваженими потенціометрами виконується нульовим компенсаційним методом.

Принципова блок-схема автоматичного потенціометра із системою слідкування показана на рис. 5.4.

Компенсаційна напруга одержується у вигляді різниці потенціалів, яка знімається з вимірювальної діагоналі мостової схеми, до однієї з вершин якої підключено реохорд. Значення компенсаційної напруги залежить від положення повзуна реохорда. Живлення мостової схеми здійснюється від стабілізованого джерела постійного струму ДС.

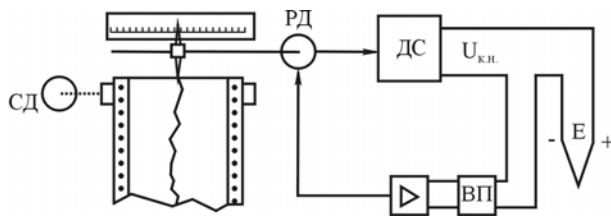


Рис. 5.4. Принципова блок-схема автоматичного потенціометра

струму, який підсилюється підсилювачем до величини, достатньої для приведення в дію реверсивного двигуна РД. Напрямок обертання вала реверсивного двигуна визначається полярністю сигналу розбалансування. Через кінематичну систему вал реверсивного двигуна пересуває повзун реохорда в напрямку зменшення сигналу розбалансування. Коли буде досягнена рівність вимірюваної ЕРС та компенсаційної напруги  $E = U_{к.н.}$ , система приходить до рівноваги, і реверсивний двигун зупиняється. Таким чином, в автоматичних потенціометрах підсилювач виконує функції нуля-органу. Одночасно з пересуванням повзуна реохорда переміщується також механічно пов'язана з ним каретка із покажчиком і пером відносно шкали. Перо виконує запис показів на діаграмній стрічці або диску, що рівномірно пересувається синхронним двигуном СД.

Вимірювана ЕРС  $E$  та компенсаційна напруга  $U_{к.н.}$  вмикаються назустріч, і якщо вони не рівні, то сигнал розбалансування  $\Delta U = E - U_{к.н.}$  подається через вхідний пристрій ВП на підсилювач. Сигнал розбалансування вхідним пристроєм перетворюється на електричний сигнал змінного

#### 5.4.1 Будова автоматичного потенціометра КСП2-026

Потенціометр КСП2-026 складається з таких основних вузлів: корпусу, шасі, приймального, показувального та записувального механізмів, панелі зовнішніх комунікацій.

На шасі розміщені панель міжблокових комунікацій, вимірювальний і стрічкопротяжний механізми. Шасі в робочому положенні цілком утоплюється в корпусі приладу і фіксується заскочкою.

Для доступу до вузлів приладу шасі може висовуватись у два прийоми – частково і повністю.

#### 5.4.2 Реохорд та елементи вимірювальної схеми

Реохорд розташовано на верхньому боці шасі, його виконано знімним з лінійним пересуванням контакту. Всі елементи реохорда змонтовані на пластмасовому корпусі. Основні елементи реохорда – робоча спіраль та струмовідвід. Робоча спіраль являє собою калібрований опір з дроту ГДВ-20, намотаного з постійним кроком на основу з дроту ПЭВ-2. Натягнення робочої спіралі та струмовідводу забезпечується пружинами. У корпусі реохорда є два оглядових вікна для спостереження за контактами.

На корпусі реохорда також змонтована панель з котушками вимірювальної схеми.

### **5.4.3 Підсилювач**

Підсилювач виконано у вигляді окремого блоку і розміщено на задній стінці шасі. В потенціометрі КСП-2-026 застосовується підсилювач напівпровідниковий типу УПД. Він складається з чотирьох вузлів: вхідного пристрою, підсилювача напруги, підсилювача потужності та джерела живлення. Вхідний пристрій складається з віброперетворювача та вхідного трансформатора і призначений для перетворювання постійної напруги, яка знімається з вимірювальної схеми, на змінну, яка має частоту 50 Гц.

Для регулювання підсилювача передбачені два органи: регулятор зворотного зв'язку і регулятор чутливості. Регулювання підсилювача слід починати з регулятора, який діє за рахунок зворотного зв'язку. При цьому регулятор чутливості виставляється у положення, яке відповідає максимальному підсиленню. Користуватись останнім слід тільки у випадку, коли регулятор зворотного зв'язку виведений у положення, яке відповідає максимальному зворотному зв'язку.

### **5.4.4 Показувальний та записувальний вузол**

Показувальний та записувальний вузол являє собою каретку з покажчиком, яка пересувається одночасно з контактами реохорда відносно шкали, закріпленої на лицьовому боці шасі. Потенціометр типу КСП2-026 є триточковим, тобто дозволяє одночасне підключення трьох датчиків. Запис показів на діаграмній стрічці виконується друкувальним механізмом, змонтованим на каретці. Друкувальний механізм має два барабани – друкувальний і фарбувальний. Друкувальний барабан при записі показів притискається до діаграмної стрічки, і на ній друкуються точки й цифра, яка показує порядковий номер підключеного датчика. Для наочності фарба, яка наноситься на друкувальний барабан, може бути різного кольору для різних точок. Барабан обертається синхронно з переключенням датчиків від двигуна стрічкопротяжного механізму. Зліва на шасі передбачене вікно, в якому вказується номер датчика, підключеного до вимірювальної схеми.

### **5.4.5 Стрічкопротяжний механізм**

Стрічкопротяжний механізм змонтований на знімному кронштейні, який закріплений на передній стінці шасі. Пересування діаграмної стрічки здійснюється синхронним електродвигуном СД-54 із вбудованим редуктором за допомогою приводного барабана з виступами, через який перекидається діаграмна стрічка. Закріплення стрічкопротяжного механізму в робочому положенні здійснюється двома заскочками, розташованими з обох боків кронштейна.

#### **5.4.6 Основні технічні характеристики потенціометра КСП2-026**

1. Клас точності (межа основної приведенної похибки показів, вираженої у відсотках від діапазону вимірювань), на всіх відмітках шкали не перевищує  $\pm 0,5\%$ .
2. Кількість вимірювальних точок – три.
3. Покази приладів записуються на діаграмній стрічці шириною 160 мм. Основна похибка запису не перевищує  $\pm 1,0\%$  області вимірювань.
4. Поріг нечутливості приладу складає не більше  $0,1\%$  області вимірювань (мВ).
5. Прилад призначений для роботи при температурі навколишнього повітря від  $5$  до  $50^{\circ}\text{C}$  і відносній вологості від  $30$  до  $80\%$ .
6. Відхилення показів приладу, викликане зміною температури навколишнього повітря від  $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  до температури в межах  $5...50^{\circ}\text{C}$  не перевищує  $0,1\%$  на кожні  $10^{\circ}\text{C}$ .
7. Живлення силової схеми приладу здійснюється змінною напругою  $220\text{ В}$  з частотою  $50\text{ Гц}$ . Вимірювальна схема потенціометра живиться від джерела стабілізованого живлення, вмонтованого в прилад.
8. Час проходження покажчиком всієї шкали не більше  $10\text{ с}$ .
9. Швидкість пересування діаграмної стрічки  $20\text{ мм/год}$ .
10. Потужність  $30\text{ Вт}$ .
11. Маса приладу не більше  $17\text{ кг}$ .

#### **5.4.7 Підготовка і пуск приладу**

Для приведення в дію приладу необхідно:

1. Перевірити наявність діаграмної стрічки.
2. Увімкнути живлення приладу.
3. Відрегулювати заспокоєння рухомої системи вимірювання таким чином, щоб покажчик приладу виконував біля положення рівноваги не більше двох півколивань.

#### **5.5 Лабораторне устаткування**

Для виконання лабораторної роботи надається автоматичний міст типу МСІ-01 і автоматичний потенціометр типу КСП2-026. Як датчики використовуються: для роботи з автоматичним мостом – магазин опорів; для роботи з автоматичним потенціометром – потенціометр постійного струму ПП-63, який застосовується як джерело постійної напруги.

Магазин опорів МСР-58 класу точності  $0,1$  дозволяє одержувати електричний опір від  $0,01$  до  $11111,11\text{ Ом}$ . Зміна опору відбувається за допомогою  $7$  декадних перемикачів. Величина опору, на який встановлено магазин, визначається як сума показів декадних перемикачів.

## 5.6 Порядок виконання роботи

### 5.6.1 Перевірка автоматичного моста

1. Ознайомитись із конструкцією автоматичного моста МСІ-01. За маркувальними відмітками визначити паспортні технічні параметри приладу і занести їх в протокол.

2. Підготувати прилад до роботи згідно з вказівками п. 5.3.8.

3. Користуючись маркувальними позначками на панелях зовнішніх кіл, підключити до приладу магазин опорів.

4. Змінюючи опір магазину, визначити градуювальні значення оцифрованих поділок шкали автоматичного моста. Вимірювання виконувати шляхом плавного підведення покажчика автоматичного моста до кожної поділки шкали справа і зліва (при збільшенні та зменшенні опору магазину), не допускаючи переходу покажчика через відповідну поділку шкали. Визначення виконувати не менше трьох разів для кожної оцифрованої поділки. Одержані дані занести до табл. 5.1.

5. Визначити швидкодію приладу. Для цього виставити покажчик моста на нульову відмітку і вимкнути прилад. На вхід моста подати значення опору, яке відповідає верхній границі шкали, увімкнути прилад і за допомогою секундоміра визначити час пересування покажчика до останньої поділки шкали.

Таблиця 5.1. Результати перевірки автоматичного моста

Назва приладу	Поділка шкали	Значення опору, Ом						Швидкодія приладу, с	Похибка		
		при збільшенні			при зменшенні				середнє	абсолютна, Ом	відносна, %
		1	2	3	1	2	3				

### 5.6.2 Перевірка автоматичного потенціометра

1. Ознайомитись із конструкцією автоматичного потенціометра КСП2-026 і потенціометра ПП-63. За маркувальними відмітками визначити паспортні технічні параметри автоматичного потенціометра і занести їх у протокол.

2. Підготувати прилад до роботи згідно з вказівками, наведеними в п. 5.4.7.

3. Підключити потенціометр КСП2-026 до потенціометра ПП-63.

4. Встановити перемикач потенціометра ПП-63 в режим роботи "Поверка".

5. Обертаючи рукоятку "Напруга" на потенціометрі ПП-63, подати на вхід потенціометра КСП2-026 напругу та визначити градуювальні значення оцифро-

ваних поділок шкали автоматичного потенціометра. Вимірювання виконувати шляхом плавного підведення покажчика автоматичного потенціометра до кожної поділки шкали справа і зліва (при збільшенні та зменшенні напруги), не допускаючи переходу покажчика через відповідну поділку шкали. Визначення виконувати не менше трьох разів для кожної оцифрованої поділки. Одержані дані занести до табл. 5.2. Виміряти значення напруги потенціометром ПП-63.

6. Визначити швидкодію приладу. Для цього виставити покажчик потенціометра на нульову відмітку і вимкнути прилад. На вхід потенціометра подати значення напруги, яке відповідає верхній границі шкали, увімкнути прилад і за допомогою секундоміра визначити час пересування покажчика до останньої поділки шкали.

Таблиця 5.2. Результати перевірки автоматичного потенціометра

Назва приладу	Поділка шкали	Значення напруги, мВ						Швидкодія приладу, с	Похибка	
		при збільшенні			при зменшенні				абсолютна, мВ	відносна, %
		1	2	3	1	2	3			

### 5.7 Оброблення результатів

1. За одержаними даними (табл. 5.1 і 5.2) розрахувати абсолютні та відносні похибки показів моста і потенціометра.

2. Визначити класи точності приладів і порівняти їх значення з паспортними даними.

3. Зробити висновки щодо метрологічних характеристик і можливостей застосування автоматичного моста і потенціометра в системах автоматизації технологічних процесів.

### 5.8 Заходи безпеки

Під час виконання досліджень необхідно виконувати загальні правила з техніки безпеки, які наведено в розділі «Техніка безпеки».

### 5.9 Контрольні запитання

1. Поясніть принцип дії автоматичного моста за його електричною схемою.

2. Поясніть принцип дії автоматичного потенціометра за його електричною схемою.

3. Які датчики можуть бути під'єднані до автоматичних мостів і потенціометрів?
4. Розкрийте сутність нульового методу визначення опору.
5. Як визначити швидкодію автоматичного моста або потенціометра?
6. Наведіть методику визначення класу точності приладів.
7. Перерахуйте основні вузли автоматичного моста і охарактеризуйте їх призначення.
8. Перерахуйте основні вузли автоматичного потенціометра і охарактеризуйте їх призначення.
9. Яким чином проводиться градування мостів і потенціометрів?
10. В яких вимірювальних системах використовуються автоматичні мости і потенціометри?

### **5.10 Зміст звіту**

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- послідовність виконання роботи та схеми установок;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиць;
- висновки.

## **Лабораторна робота № 6 ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИН І ГАЗІВ**

**Мета роботи** – вивчити методи та набути умінь вимірювання витрати рідин і газів за допомогою витратомірів змінного перепаду та пневмометричних трубок. Навчитися оцінювати похибки вимірювань.

### **6.1 Загальні відомості**

Системи автоматичного вимірювання витрати рідин і газів застосовують для контролю та регулювання технологічних режимів роботи плавильних, термічних та інших печей, які опалюються рідким або газовим паливом, в устаткованні подачі дуття вагранок, у вентиляційних системах, системах подачі води для охолодження устаткування або здійснення технологічних процесів тощо.

#### **6.1.1 Вимірювання витрати газів та рідин за допомогою пневмометричних трубок**

Метод засновано на залежності динамічного напору від швидкості потоку речовини. Пневмометричні трубки (рис. 6.1) являють собою пристрої, які дозволяють вимірювати повний напір (динамічний плюс статичний) і статичний напір у будь-якій точці потоку.

За допомогою диференційного манометра вимірюють різницю цих напорів, тобто динамічний напір. Витрата рідин і газів, які протікають у циліндричних трубопроводах, визначається за формулою:

$$Q = 0,01252D^2 \sqrt{\frac{h_{\text{сер}} \cdot \gamma_p - \gamma_{\text{п}}}{\gamma_{\text{п}} \cdot 1000}}, \quad (6.1)$$

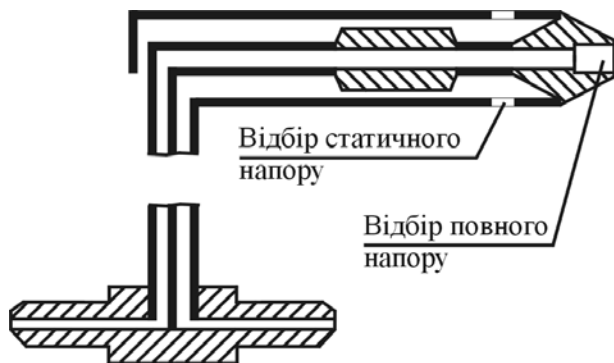


Рис. 6.1. Пневмометрична трубка

де  $Q$  – об’ємна витрата, м<sup>3</sup>/год;  
 $D$  – діаметр трубопроводу; в лабораторії  $D = 104$  мм;

$h_{\text{сер}}$  – середній динамічний напір стовпа робочої рідини диференційного манометра, мм;

$\gamma_{\text{п}}$  – густина речовини (повітря), витрату якої визначають, за робочих умов, 1,294 кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma_p$  – густина робочої рідини (води) диференційного манометра при

температурі навколишнього повітря, 1000 кг/м<sup>3</sup>.

При невідомому характері розподілу швидкості потоку газу за перерізом трубопроводу для визначення середнього динамічного напору весь переріз трубопроводу розбивають на ділянки і динамічний напір вимірюють у центрі кожної ділянки.

Для круглих трубопроводів розподіл на ділянки проводиться концентричними колами (рис. 6.2), радіуси яких розраховуються за формулою:

$$r_n = R \sqrt{\frac{2n - 1}{N}}, \quad (6.2)$$

де  $r_n$  – радіус кола з порядковим номером  $n$ ;

$R$  – внутрішній радіус трубопроводу;

$N$  – число ділянок, яке для труб діаметром до 300 мм рекомендується прийняти рівним 3.

Середній динамічний напір:

$$h_{\text{сер}} = \frac{1}{n^2} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} + \dots + \sqrt{h_n})^2, \quad (6.3)$$

де  $h_1, h_2, \dots, h_n$  – динамічні напори, виміряні в центрі кожної ділянки перерізу трубопроводу.

### 6.1.2 Витратоміри змінного перепаду

Ці витратоміри працюють на принципі вимірювання перепаду тиску на звужувальному пристрої, який встановлюється в трубопроводі. При проходженні потоку рідини або газу через звужувальний пристрій, внаслідок переходу частини потенційної енергії тиску в кінетичну, середня швидкість потоку в звуженому перерізі підвищується, а статичний тиск після пристрою стає меншим від статичного тиску перед звужувальним пристроєм.



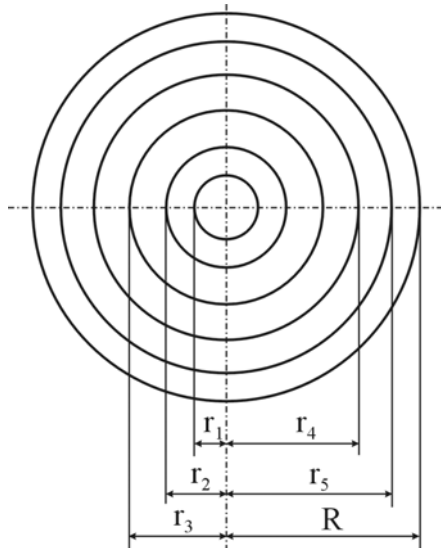


Рис. 6.2. Схема розбивання трубопроводу на ділянки для вимірювання середнього динамічного напору

Вторинними приладами, які працюють у комплекті із звужувальними пристроями, служать диференційні манометри різних типів.

Перепад тиску на звужувальному пристрої пов'язаний з витратою рідини або газу також закономірністю:

$$Q = C\sqrt{P_1 - P_2}, \quad (6.4)$$

де  $Q$  – витрата рідини або газу;

$C$  – сталий для даних умов коефіцієнт;  $C = 220$ ;

$P_1, P_2$  – напір перед і після звужувального пристрою.

При технічних вимірюваннях звичайно використовують так звані нормалізовані звужувальні пристрої: нормальна діафрагма, нормальне сопло, нормальне сопло Вентурі та нормальна труба Вентурі.

## 6.2 Лабораторне устаткування для вимірювання витрати повітря

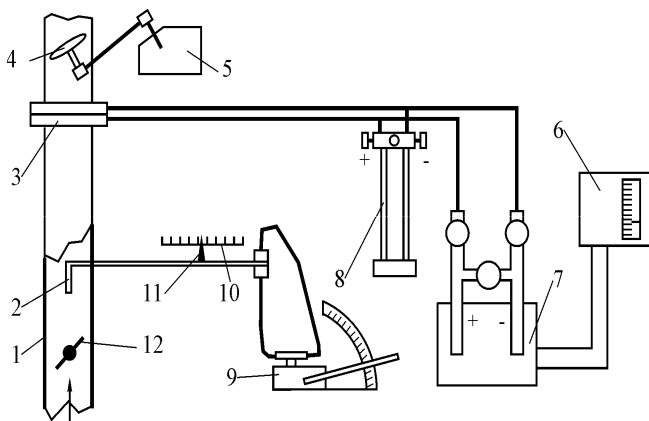


Рис. 6.3. Схема установки для вимірювання витрати повітря: 1 – трубопровід; 2 – пневмометрична трубка; 3 – діафрагма; 4 – шиберна заслінка; 5 – виконавчий механізм; 6 – вторинний прилад; 7 – мембранний манометр ДМК; 8 – рідинний манометр ДТ-5; 9 – мікроманометр ММН-240; 10 – лінійка; 11 – покажчик; 12 – шиберна заслінка

Лабораторна установка (рис. 6.3) складається з трубопроводу 1 з внутрішнім діаметром 104 мм, в якому вмонтовані пневмометрична трубка 2, діафрагма 3 та шиберна заслінка 12. Пневмометрична трубка може переміщуватись у радіальному напрямку, її положення при цьому контролюється за допомогою покажчика 11 і лінійки 10. Вимірювання динамічного напору проводять мікроманометром 9 типу ММН-240.

Витратомір змінного перепаду складається з нормальної діафрагми 3 і двох включених паралельно диференційних манометрів: трубного рідинного 8 типу ДТ-5 і мембранного 7 типу ДМК. Реєстрація показів диференційного манометра ДМК здійснюється вторинним приладом 6 типу ВФСМ. Зміна витрати повітря проводиться шиберною заслінкою 4 і виконавчим механізмом 5.

## 6.2.1 Мікроманометр з нахиленою трубкою ММН-240

Мікроманометр призначений для вимірювання тиску й різниці тисків неагресивних до сталі, латуні та поліетилену газів при статичному тиску у межах від 2,4 кПа до 10 кПа.

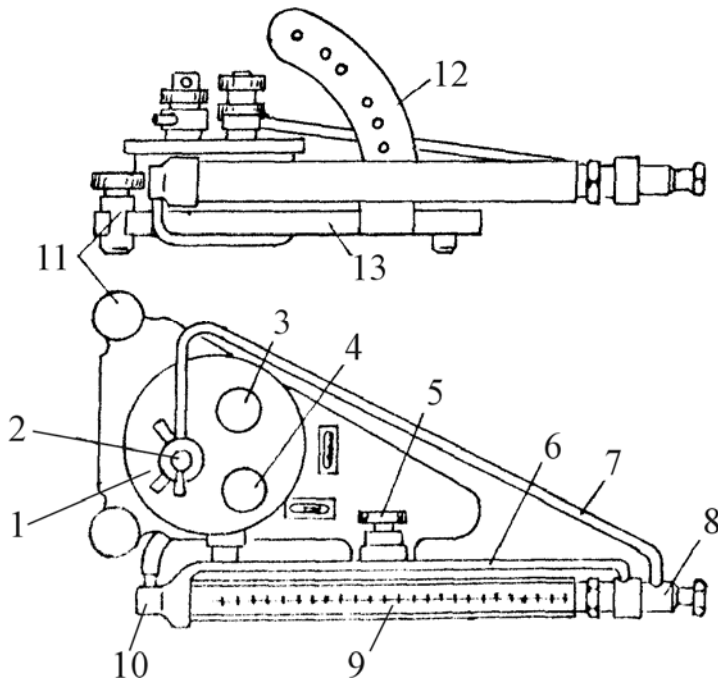


Рис. 6.4. Мікроманометр чашковий багатограничний типу ММН-240: 1 – резервуар; 2 – кран; 3 – меніск; 4 – пробка; 5 – фіксатор; 6 – кронштейн; 7 – трубка; 8 – колодка; 9 – трубка; 10 – колодка; 11 – ніжки; 12 – дуга; 13 – плита

з'єднані скляною вимірювальною трубкою 9.

Ліва колодка з'єднана з резервуаром, а права колодка трубкою 7 з'єднана з триходовим краном 2. Вимірювальна трубка 9 встановлюється так, що геометрична вісь обертання кронштейна 6 проходить через нуль шкали. Для встановлення кронштейна з вимірювальною трубкою на потрібний кут нахилу на плиті 13 закріплена дуга 12 з п'ятьма отворами, які відповідають визначеним значенням сталої приладу К. Кронштейн 6 фіксується на дузі 12 в необхідному положенні за допомогою фіксатора 5. Для надання плиті мікроманометра горизонтального положення передбачені дві регульовальні ніжки 11 та два рівні з циліндричними ампулами. Прилад приєднується до місць замірювання гумовими трубками, які надягнені на штуцери триходового крана 2. Положення крана та штуцери позначені символами „+”, „-”, „0”.

При вимірюванні різниці тисків більший тиск підводиться до штуцера „+”, а менший – до штуцера „-”. Канали в триходовому крані розташовані так, що при повороті його пробки проти годинникової стрілки до упору резервуар та вимірювальна скляна трубка сполучаються з атмосферою, а отвір до штуцерів перекривається; при цьому положенні триходового крана контролюється „Нуль” шкали.

Робочою рідиною в мікроманометрі є етиловий спирт з густиною  $809,5 \text{ кг/м}^3$ . Принцип дії приладу заснований на врівноважуванні вимірюваного тиску тиском стовпа рідини в нахиленій трубці.

Будова мікроманометра показана на рис. 6.4.

На плиті 13 закріплено герметичний резервуар 1. На кришці резервуару знаходиться триходовий кран 2, пробка 4, яка закриває отвір для заливання робочої рідини, і регулятор нульового положення меніску 3, який служить для встановлення меніску спирту в вимірювальній трубці 9 проти нульової відмітки шкали.

На плиті закріплений кронштейн 6 з колодками 8 і 10, які

При повороті пробки за годинниковою стрілкою до упору штуцер „+” сполучається з резервуаром, а штуцер „-” із скляною вимірювальною трубкою; при цьому положенні триходового крана проводяться заміри.

При встановленні крана в положення „0” резервуар сполучається з атмосферою.

Для вимірювання перепаду тиску мікроманометром необхідно:

1. Встановити прилад за допомогою регулювальних ніжок у горизонтальне положення.

2. Повернути пробку триходового крана проти годинникової стрілки до упору, поставити кронштейн з вимірювальною трубкою на необхідний нахил і регулятором положення меніска встановити рівень спирту в вимірювальній трубці проти нульової відмітки.

3. Повернути пробку триходового крана за годинниковою стрілкою до упору і приступити до вимірювань. Зняття показів повинно проводитися з точністю до 1/4 поділки шкали.

Значення вимірюваної величини (напору) визначають за формулою:

$$h = h_b \cdot K \cdot 0,98, \quad (6.5)$$

де  $h_b$  – значення за шкалою мікроманометра;

$K$  – стала приладу, при якій проводились вимірювання.

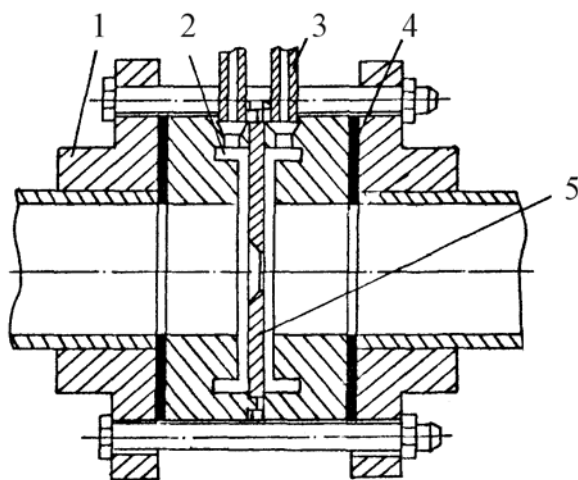


Рис. 6.5. Монтаж нормальної діафрагми в трубопроводі: 1 – фланці; 2 – скляні трубки; 3 – штуцери; 4 – прокладки; 5 – діафрагма

## 6.2.2 Витратомір змінного перепаду

Звужувальний пристрій 5 (рис. 6.5) (нормальна діафрагма) в трубопроводі встановлюють співвісно за допомогою фланців 1. Відбір тисків біля діафрагми здійснюється через штуцери 3, встановлені в зазори кільцевих камер. Герметичність монтажу забезпечується прокладками 4.

## 6.2.3 Диференційний манометр ДТ-5

Манометр призначений для вимірювання перепаду тиску.

Будову диференційного манометра ДТ-5 показано на рис. 6.6. На дошці 12 змонтовані дві колодки – верхня 9 і нижня 1, в яких закріплені дві скляні трубки 2.

Скляні трубки сполучаються між собою через канал у нижній колодці, вихід з якого перекривається спускним вентилям 13. При відкритому вентилі 13 трубки через ніпель 14 сполучаються з атмосферою.

У верхній колодці скляні трубки сполучаються між собою каналом, який при роботі приладу закривається зрівноважувальним вентилям 8. Тиск до і після звужувального пристрою підводиться до диференційного манометра через робочі вентиля 5.

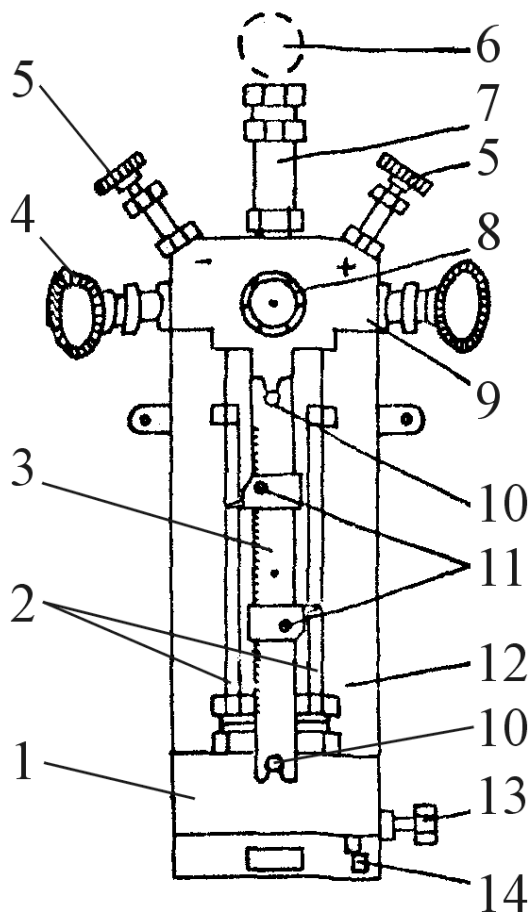


Рис. 6.6. Диференційний манометр ДТ-5: 1 – нижня колодка; 2 – трубки; 3 – шкала; 4 – продувальні вентиля; 5 – робочі вентиля; 6 – пружинний манометр; 7 – колонка; 8 – зрівноважувальний вентиль; 9 – верхня колодка; 10 – гвинти; 11 – візири; 12 – дошка; 13 – спускний вентиль; 14 – ніпель

### Порядок роботи з приладом:

1. Перед введенням приладу в дію встановлюють шкалу на нуль. Для цього послаблюють гвинти 10 і встановлюють шкалу так, щоб рівень води в трубках збігався з нульовою відміткою. Потім знову загвинчують фіксувальні гвинти 10.

2. Відкривають зрівноважувальний вентиль 8 і в довільному порядку по чергово відкривають робочі вентиля 5.

3. Потім повільно закривають зрівноважувальний вентиль 8.

Через правий робочий вентиль права скляна трубка сполучається з робочою лінією до звужувального пристрою, тобто місцем, де існує більший тиск. Права сторона диференційного манометра має назву плюсової. Відповідно через лівий робочий вентиль ліва скляна трубка сполучається з робочою лінією після звужувального пристрою, і ліва сторона диференційного манометра називається мінусовою.

Продувальні вентиля 4, які з'єднують порожнини приладу з атмосферою, служать для промивання і продування приладу та трубок, які підводять тиск, а також для видалення повітря при заливанні приладу робочою рідиною.

Колонка 7 сполучається каналом з плюсовою стороною приладу 1 і призначена для встановлення пружинного манометра 6, який служить для визначення статичного тиску перед звужувальним пристроєм.

Між трубками знаходиться металева шкала 3, яка може переміщуватись у межах  $\pm 10$  мм і закріплюється за допомогою гвинтів 10. Для точного відраховування показів приладу служать два рухомих візири 11.

4. Перепад тисків вимірюють за різницею рівнів води в трубках 2. Для цього визначають за шкалою 3 приладу за допомогою візирів 11 відстань від нульової поділки шкали до рівня води в кожній з трубок і потім сумують одержані величини.

Візири 11 необхідно встановлювати за нижнім меніском води. Для запобігання помилок через паралакс око спостерігача під час вимірювань повинно бути розташоване на рівні меніска води.

Робочі вентиля 5 при роботі приладу повинні бути повністю відкриті, а всі інші закриті.

#### 6.2.4 Диференційний манометр мембранний компенсаційний ДМК

Він є безшкальним первинним приладом, призначеним для вимірювання різниці тисків газу та перетворення вимірюваної величини в електричний сигнал, пропорційний вимірюваній величині або квадратному кореню із неї.

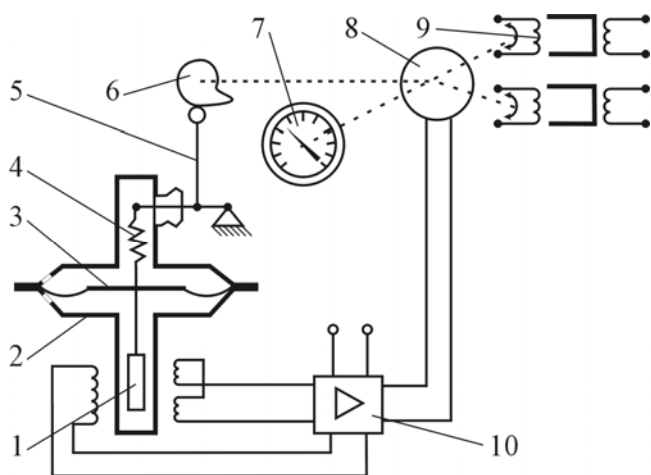


Рис. 6.7. Схема диференційного манометра типу ДМК: 1 – плунжер; 2 – коробка; 3 – мембрана; 4 – пружина; 5 – важіль; 6 – лекало; 7 – стрілка; 8 – конденсаторний двигун; 9 – феродинамічні датчики; 10 – підсилювач

Чутливим елементом диференційного манометра є мембрана 3, яка розміщена в герметичній коробці 2 (рис. 6.7). У порожнину над мембраною подається тиск, який відбирається перед звужувальним пристроєм, а в порожнину під мембраною – тиск після звужувального пристрою.

Під дією різниці тисків мембрана 3 прогинається – переміщує зв'язаний з нею плунжер 1 індуктивного датчика. Напряга на виході датчика підсилюється електронним підсилювачем 10, який керує конденсаторним двигуном 8.

Двигун повертає лекало 6 і через важіль 5 діє на врівноважувальну пружину 4, яка компенсує зусилля, яке розвивається мембраною внаслідок різниці тисків. Процес компенсації закінчується, коли плунжер 1 повертається в середнє положення.

При цьому вісь лекала 6 і стрілка 7 повертаються на кут, відповідний вимірюваній величині.

З віссю лекала кінематично пов'язані осі рамок вихідних феродинамічних датчиків 9, які призначені для дистанційної передачі даних вимірювань. Вторинним приладом, який працює в комплекті з ДМК, є прилад типу ВФСМ.

#### 6.2.5 Феродинамічні перетворювачі і схеми дистанційної передачі

Феродинамічні перетворювачі застосовують для перетворення кутових переміщень в уніфікований вихідний електричний сигнал змінного струму.

Взаємозамінний феродинамічний перетворювач типу ПФ (рис. 6.8, а) складається з магнетопроводу, в кільцевому зазорі якого розміщена рамка. Вісь рамки кінематичною системою з'єднується з вихідною віссю перетворювача.

Електричні схеми феродинамічних перетворювачів ПФ виконуються без обмотки зміщення (рис. 6.8, б), та з обмоткою зміщення (рис. 6.8, в).

Магнетний потік, створюваний обмоткою збудження перетворювача, індукує вихідну ЕРС у рамці і обмотці збудження. Значення ЕРС в рамці залежить від струму живлення обмотки збудження і взаємної індуктивності між рамкою та обмоткою збудження. Взаємна індуктивність змінюється від нуля до максимального значення, при повороті рамки.

Значення вихідного сигналу перетворювача змінюється пропорційно від кута повороту рамки.

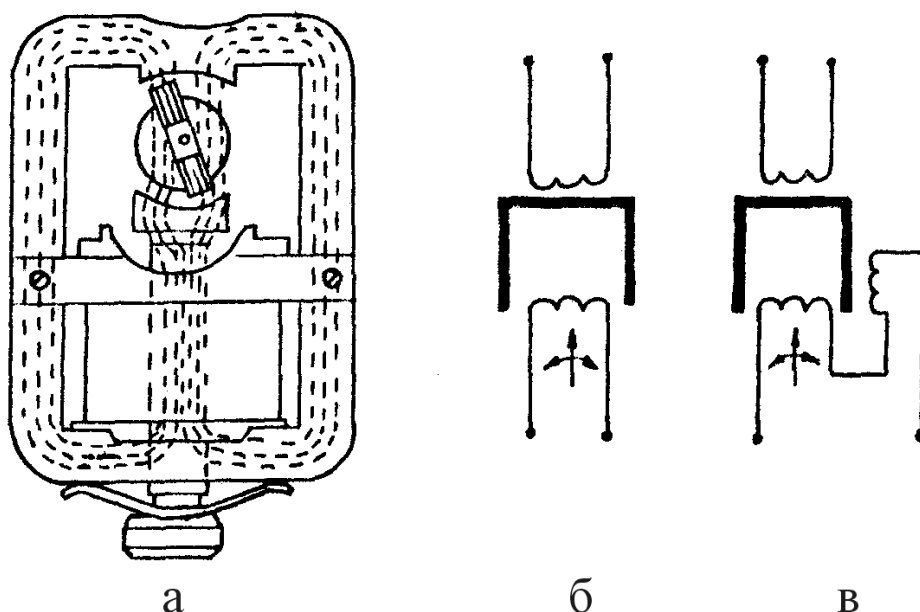


Рис. 6.8. Феродинамічний перетворювач ПФ: а – схема будови; б, в – електричні схеми

### 6.2.6 Вторинний прилад ВФСМ

Показувальний самописний вторинний прилад типу ВФСМ призначений для відліку за шкалою та запису на діаграмній стрічці величини параметра, який вимірюється первинним приладом, що знаходиться на відстані.

Прилад ВФСМ працює в комплекті з первинними приладами, які оснащені вихідним феродинамічним датчиком ПФ.

Весь механізм приладу складено на висувному шасі, яке розміщено в корпусі з передньою скляною кришкою. Фіксувальна заскочка розташована ліворуч знизу шасі.

З правого боку шасі знаходиться балансувальний конденсаторний двигун, компенсувальний та додатковий вихідний феродинамічний датчик, важіль, який перетворює поворот лекала компенсувальної системи в прямолінійне пересування повзуна. На повзуні закріплені стрілка, перо і ліхтарик з лампочкою для підсвітлювання шкали. На цьому ж боці розташований тумблер та запобіжник.

На лівому боці шасі розміщені підсилювач, синхронний двигун стрічко-подавального механізму та лекало вихідного феродинамічного перетворювача.

Зовнішні електричні кола підключаються через монтажні колодки, які встановлені на зовнішній поверхні задньої стінки приладу.

#### **Підготовка до роботи та пуск приладу:**

1. Підключити прилад до електричної мережі.
2. Відкрити кришку приладу, відвести заскочку під лицевим щитком і висунути шасі приладу.
3. Увімкнути тумблер живлення. При цьому загоряється лампочка освітлення шкали. Прилад прогрівається 2...3 хв.

#### **Диференційний манометр ДМК, приєднаний до вторинного приладу, вмикають у такій послідовності:**

1. Перевіряють правильність приєднання імпульсних трубок: до плюсового штуцера треба приєднати трубку, через яку відбирається тиск перед звукувальним пристроєм (діафрагмою).
2. Перевіряють положення вентилів диференційного манометра: робочі вентиля повинні бути закриті, а зрівноважувальний ventиль – відкритим.
3. Вмикають тумблер електричної мережі, розміщений на корпусі ДМК. Прилад прогрівається 2...3 хв.
4. Повільно почергово відкривають робочі вентиля.
5. Плавна закривають зрівноважувальний ventиль.

У всіх випадках вмикання приладу зрівноважувальний ventиль потрібно закривати в останню чергу, а при вимиканні – відкривати першим, щоб запобігти різкому підвищенню тиску в одній з порожнин диференційного манометра, що може пошкодити вимірювальну мембрану.

### **6.3 Порядок виконання роботи**

1. Увімкнути диференційний манометр ДМК і вторинний прилад ВФСМ.
2. Відкрити зрівноважувальні вентиля диференційних манометрів ДТ-5 і ДМК.
3. Увімкнути повітродувку.
4. Відкрити робочі вентиля диференційних манометрів ДТ-5 і ДМК.
5. Повільно закрити зрівноважувальні вентиля диференційних манометрів ДТ-5 і ДМК.
6. Встановити шиберну заслінку в таке положення, щоб показчик вторинного приладу встановився проти першої оцифрованої поділки шкали ( $320 \text{ м}^3/\text{год}$ ).
7. Зняти покази з диференційного манометра ДТ-5.
8. Змінюючи кут повороту шиберної заслінки, повторити вимірювання при положеннях показчика вторинного приладу ВФСМ на всіх оцифрованих поділках шкали. Вимірювання повторювати не менше трьох разів при збільшенні та зниженні витрати повітря.
9. Результати вимірювань занести до табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Результати вимірювань та розрахунків

№ досліду	Покази ВФСМ, м <sup>3</sup> /год	Покази диференційного манометра ДТ-5, мм. вод. ст						середнє	Теоретична витрата повітря, м <sup>3</sup> /год	Похибки	
		при збільшенні витрати			при зменшенні витрати					абсолютна, м <sup>3</sup> /год	відносна, %
		1	2	3	1	2	3				

### 6.4 Оброблення результатів

1. За даними результатів вимірювань розрахувати теоретичні значення витрати повітря для кожного досліду, використовуючи формулу (6.1). За формулою (6.4) розрахувати експериментальне значення витрати повітря та порівняти в абсолютних одиницях із теоретичним значенням.

2. Побудувати градувальний графік диференційного манометра ДТ-5 за показами вторинного приладу ВФСМ.

3. Оцінити похибки вимірювання витратоміру змінного перепаду (похибка між теоретичною (розрахованою) витратою повітря і показами приладу ВФСМ).

4. Розрахувати середню відносну похибку і зробити висновок щодо вивченої методики визначення витрати повітря.

### 6.5 Заходи безпеки

Під час виконання досліджень необхідно виконувати загальні правила з техніки безпеки, які наведено в розділі «Техніка безпеки».

### 6.6 Контрольні запитання

1. Поясніть будову і принцип дії пневмометричної трубки.
2. Яким чином можна розрахувати витрату повітря у трубопроводі, використовуючи пневмометричну трубку?
3. Для визначення витрати яких речовин використовують пневмометричні трубки і витратоміри змінного перепаду?
4. Які особливості будови мікроманометра ММН-240 і яке його призначення?
5. Поясніть принцип дії диференційного манометра ДТ-5 та його призначення.
6. Поясніть будову і принцип дії мембранного манометра ДМК.
7. Поясніть будову і принцип дії витратоміра змінного перепаду.
8. Які основні складові і принцип дії феродинамічного перетворювача?
9. Яким чином визначають витрату повітря при використанні витратоміра



і диференційного манометра?

10. Поясніть порядок зміни витрати повітря та її визначення на лабораторному стенді.

## **6.7 Зміст звіту**

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- послідовність виконання роботи та схему установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиці та графіку;
- висновки.

## **Лабораторна робота №7 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ**

**Мета роботи** – набути умінь визначення властивостей об'єкта регулювання, вивчити принцип дії та характеристики позиційних регуляторів, навчитися складати системи дво- та трипозиційного регулювання на базі регуляторів, вмонтованих в автоматичні потенціометри, навчитися оцінювати експлуатаційні параметри систем регулювання.

### **7.1 Загальні відомості**

Системою автоматичного регулювання називають сукупність автоматичного регулятора і об'єкта регулювання (машини, установки), в якому без участі людини здійснюється управління одним або декількома фізичними параметрами (регульованими параметрами), які визначають хід технологічного процесу в об'єкті регулювання.

#### **7.1.1 Об'єкт регулювання**

Об'єкт регулювання характеризується:

- величиною акумульованої в ньому енергії або речовини, яка називається ємністю об'єкта;
- навантаженням – кількістю енергії або речовини, яка витрачається на протікання технологічного процесу в об'єкті. Навантаження оцінюється величиною припливу та витратою енергії або речовини;
- величиною регульованого параметра;
- коефіцієнтом ємності – кількістю енергії або речовини, яка необхідна для зміни регульованого параметра на одну одиницю, в яких проводиться вимірювання.

Коефіцієнт ємності характеризує швидкість зміни регульованого параметра при порушенні рівноваги в об'єкті між припливом та витратою енергії або речовини і визначається з такого співвідношення:

$$K_c = \frac{\Delta C}{\Delta X}, \quad (7.1)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт ємності;  
 $\Delta C$  – зміна ємності об'єкта;  
 $\Delta X$  – зміна регульованого параметра.

Величину, обернену коефіцієнту ємності, називають чутливістю об'єкта до збурення.

При подачі енергії або речовини до об'єкта спочатку відбувається їх накопичення, яке супроводжується зміною регульованого параметра до заданого значення. Період часу, протягом якого регульований параметр змінюється від нуля до заданого значення при миттєвій зміні припливу на 100% та відсутності витрати, називається часом розгону об'єкта. Час розгону характеризує інерційність об'єкта регулювання.

Графік зміни регульованого параметра, одержаний при виконанні вказаних умов, називається кривою розгону (рис. 7.1).

Якщо при зміні навантаження об'єкт регулювання без участі регулятора приходить до нового стану рівноваги, то такий об'єкт має здатність самовирівнюватися (див. рис. 7.1).

За кривою розгону визначають:

1. Час розгону  $\tau_a$  як тривалість перехідного процесу від моменту подачі регулювального впливу до досягнення регульованим параметром нового усталеного значення.

2. Стала часу об'єкта  $T$  як величина проекції відрізка дотичної, проведеної в точці **g** (перегинання кривої розгону), на пряму **mp**, яка паралельна осі часу.

Час розгону  $\tau_a$  та стала часу об'єкта  $T$  пов'язані між собою співвідношенням:

$$\tau_a = \eta \cdot T, \quad (7.2)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт навантаження об'єкта, який дорівнює відношенню навантаження об'єкта при режимі, який розглядається, до максимального навантаження.

Стала часу об'єкта  $T$  пов'язана з чутливістю  $v$  та ступенем самовирівнювання  $\rho$  співвідношенням:

$$T = \frac{1}{v \cdot \rho} \quad (7.3)$$

Щоб визначити сталу часу за кривою розгону (рис.7.1), проводять горизонтальну лінію **mp** через нове усталене значення регульованої величини, потім – дотичну через точку **g** до перетину її з лінією **mp** в точці **k** і вертикалю від точки **c** в точці **e**. Відрізок **nk** відповідає сталій часу  $T$ .

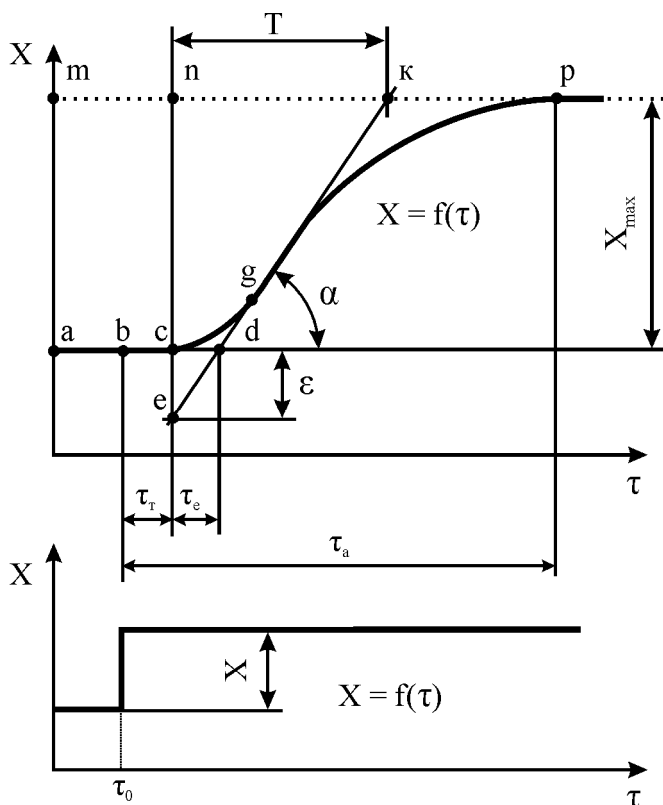


Рис. 7.1. Крива розгону об'єкта із самовирівнюванням

3. Запізнювання об'єкта, тобто відставання в часі вимірювання регульованого параметра по відношенню до зміни навантаження.

Точку **b** відмічаємо на кривій розгону умовно, відповідно до пропорції (приблизно 2/3 від відрізка **ac**, див. рис. 7.1).

За кривою розгону визначається час повного запізнювання  $\tau_n$ ; який складається із транспортного запізнювання  $\tau_t$  та ємнісного запізнювання  $\tau_e$ . Транспортне (передаточне) запізнювання – це час, протягом якого регульована величина не змінюється, незважаючи на проведений регулювальний вплив (відрізок **bc** на рис. 7.1). Ємнісне запізнювання обумовлює сповільнення (затримання) у відповідній зміні регульованого параметра при зміні подачі або споживання за рахунок опорів (теплових, гідравлічних тощо) при проходженні потоку енергії або речовини в об'єкті.

Для визначення часу ємнісного запізнювання проводять лінію **ad** (до перетину з дотичною **ek**) початкового значення регульованого параметра, визначають точку максимальної швидкості його зміни (точка **g** перегинання кривої розгону). Одержаний відрізок **cd** і є часом ємнісного запізнювання  $\tau_e$ .

Час повного запізнювання:

$$\tau_n = \tau_t + \tau_e \quad (7.4)$$

4. Ступінь самовирівнювання визначають з відношення:

$$\rho = \frac{X}{X_{\max}}, \quad (7.5)$$

де  $X$  – усталене значення регульованого параметра;

$X_{\max}$  – максимальне значення регульованого параметра.

За ступенем самовирівнювання  $\rho$  знаходять коефіцієнт підсилення:  $K = \frac{1}{\rho}$ ,

який показує, наскільки змінюється регульована величина від зміни положення регулювального органу.

5. Швидкість розгону  $\varepsilon$  (максимальна швидкість зміни регульованої величини  $X$  в процесі самовирівнювання) визначають як величину відрізка **ec**.

6. Швидкість зміни регульованої величини  $X$  як тангенс кута нахилу дотичної у точці **d** ( $v = \frac{ec}{cd}$ , град/хв).

При експериментальному визначенні характеристик об'єкта регулювання зняття кривої розгону проводять не менше трьох разів при різних збуджуваннях. Одержані дані дозволяють судити про динамічні властивості об'єкта регулювання, на основі яких вибирається регулятор.

### **7.1.2 Позиційне регулювання**

Позиційними, або релейними, називають такі регулятори, в яких регулювальний орган може займати обмежене число фіксованих положень (позицій).

За кількістю фіксованих положень регулювального органу позиційні регулятори поділяються на дво- та багатопозиційні. В двопозиційних регуляторах при відхиленні регульованого параметра від заданого значення регулювальний орган займає одне з двох фіксованих положень (наприклад, ввімкнення та вимкнення електричного нагрівального елемента при регулюванні температури печі). У багатопозиційних регуляторах регулювальний орган може займати декілька фіксованих положень залежно від величини відхилення регульованого параметра.

Позиційні регулятори забезпечують підтримання регульованого параметра в деяких межах, при безперервному коливанні параметра.

Для скорочення часу розгону необхідно підтримувати більший приплив енергії чи речовини, який значно відрізняється від номінального. Тому звичайно двопозиційні регулятори не дозволяють одержати точне підтримання заданого значення регульованого параметра. При інших рівних умовах об'єкти регулювання великої ємності та з високою схильністю до самовирівнювання характеризуються меншим коливанням регульованого параметра.

У трипозиційних регуляторах, коли регулювальний орган може займати три положення, передбачена можливість використання більших припливів для швидкого виведення об'єкта на заданий режим (перша позиція), і наступного переходу на номінальний приплив (друга позиція), при якому підтримується задане значення регульованого параметра. Третя позиція – наприклад, вимкнено. Завдяки цьому трипозиційні регулятори здатні забезпечувати більш якісне регулювання, ніж двопозиційні.

## **7.2 Опис лабораторної установки**

Об'єктом регулювання є електрична трубчаста піч 1 (рис. 7.2).

Регульований параметр – температура, яка вимірюється хромель-алюмелевим термоелектричним термометром 2 та автоматичним потенціометром 3, який оснащений обладнанням для позиційного регулювання. Для складання системи автоматичного регулятора використовується стенд 4 з розташованими на ньому клемними затискачами, реле 5 та магнітним пускачем 6. Стенд комплектують набором монтажних дротів. Для подачі в піч охолоджувального повітря використовується повітродувка 7, повітря подається в робочу зону печі через трубку 8.

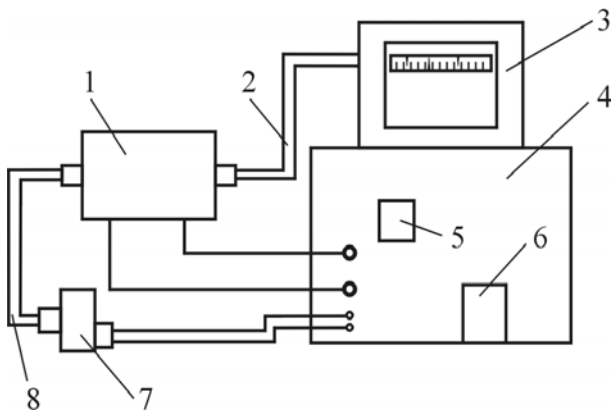


Рис. 7.2. Лабораторна установка:  
 1 – електрична нагрівальна піч; 2 – термопара; 3 – потенціометр; 4 – стелаж; 5 – реле; 6 – магнетний пускач; 7 – повітрорудувка; 8 – трубка

### 7.2.1 Визначення динамічних характеристик об'єкта регулювання

Для запису кривої розгону використовується самописний автоматичний потенціометр. Для одержання ступінчастої зміни припливу електронагрівальна піч вмикається в мережу через автотрансформатор, який дозволяє змінювати напругу живлення від 0 до 250 В.

### 7.2.2 Позичійний регулювальний пристрій

Автоматичний потенціометр має вмонтований позиційний регулювальний пристрій.

Регулювальний пристрій знаходиться у верхній частині кронштейна (рис. 7.3). Він складається з двох скоб 2 з мікрореле 4 і покажчиками задання 1. Скоби з мікрореле можуть переміщуватися вздовж шкали 8 по напрямках 7. Положення скоб фіксується стопорними гвинтами 3. Значення заданої температури вказується на шкалі покажчиком відповідного позиційного пристрою.

При вимірюванні температури каретка 6 з покажчиком температури 9 переміщується вздовж шкали. При збіганні покажчиків позиційного пристрою 1 та поточного значення температури упор 5, встановлений на каретці, натискає через важіль на мікрореле, перемикаючи його контакти. Одержаний сигнал використовується для управління нагрівальним елементом печі.

### 7.2.3 Двопозиційне регулювання

Для двопозиційного регулювання використовують один (лівий) позиційний пристрій.

Електрична схема двопозиційного регулятора показана на рис. 7.4.

Якщо поточне значення температури в регульованому об'єкті менше заданого, то покажчик температури потенціометра знаходиться зліва від позиційного пристрою, контакти мікрореле К1 замкнені, обмотка проміжного реле КЛ, реле своїми робочими контактами замикає коло живлення нагрівача печі. По мірі підвищення температури печі каретка з покажчиком температури переміщується вздовж шкали (див. рис. 7.3); коли задане та поточне значення температури збігаються, під дією упору на каретці спрацьовує мікрореле позиційного пристрою.

Контакти К1 розмикаються, реле КЛ розмикає свої контакти КЛ.1, і нагрівач печі відключається від джерела живлення.

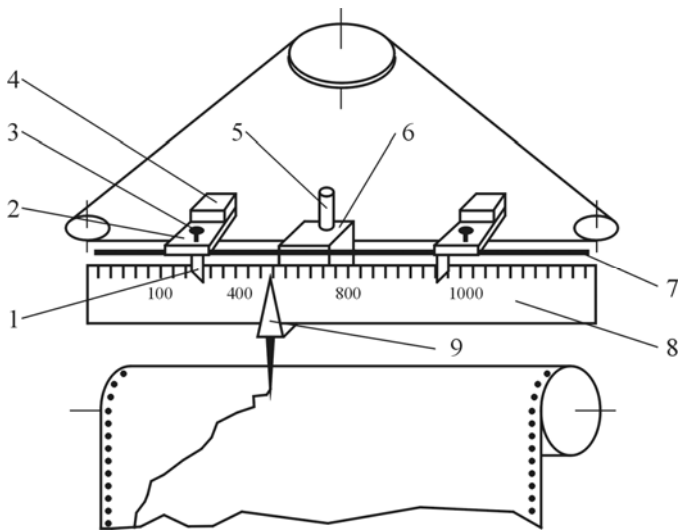


Рис. 7.3. Регулювальний пристрій: 1 – покажчики завдання; 2 – скоби; 3 – стопорні гвинти; 4 – мікрореле; 5 – упор; 6 – каретка; 7 – напрямівки; 8 – шкала; 9 – показчик температури

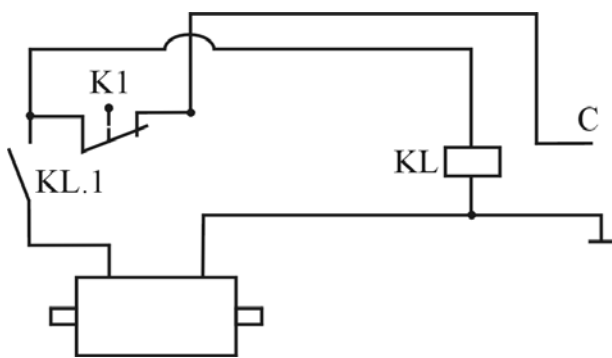


Рис. 7.4. Електрична схема двопозиційного регулятора

при збільшенні  $t_{\min}$  контакт К1 розмикається, контакти КЛ.1 реле КЛ розмикаються, а контакт КЛ.2 замикається. При цьому нагрівальний елемент печі перемикається на знижену напругу живлення. Приплив енергії до об'єкта регулювання знижується.

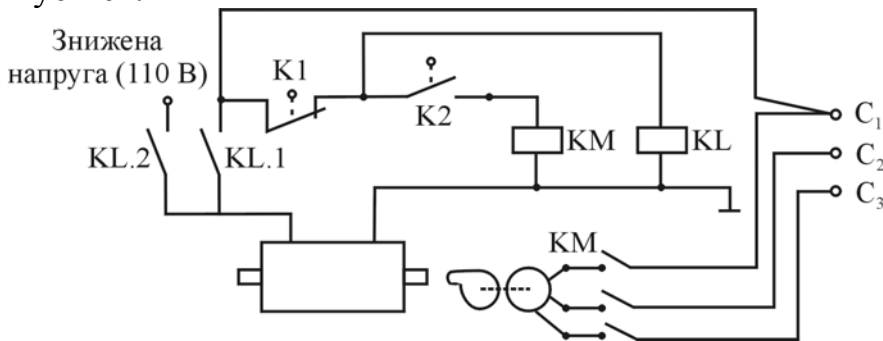


Рис. 7.5. Електрична схема трипозиційного регулятора

розмикає ланцюг живлення нагрівача, а контактами КМ вмикає електродвигун повітрорудки, яка подає охолоджувальне повітря до робочого простору печі. При зниженні температури перемикавання електричних ланцюгів відбувається у зворотному порядку, і процес повторюється.

При охолодженні печі нижче заданого значення перемикавання електричних кіл здійснюється у зворотному порядку: нагрівач печі знову підключається до мережі і процес повторюється.

## 7.2.4 Трипозиційне регулювання

Для здійснення трипозиційного регулювання використовуються обидва позиційні пристрої (рис. 7.3). Лівий позиційний пристрій встановлюється на мінімальне значення заданої температури  $t_{\min}$ , а правий – на максимальне  $t_{\max}$ . Відстань між покажчиками позиційних пристроїв визначає температурний інтервал, в якому буде підтримуватися температура печі.

Електрична схема трипозиційного регулятора показана на рис. 7.5.

Якщо температура печі нижча за мінімальну задану, то схема працює за принципом двопозиційного регулювання. При перевищенні

Якщо температура в печі буде продовжувати зростати і перевищить максимальне значення  $t_{\max}$ , то замикається контакт К2 і приводить в дію магнетний пускач КМ, який контактом К1

## 7.3 Порядок виконання роботи

### 7.3.1 Дослідження двопозиційного регулятора

1. Вивчити електричну схему двопозиційного регулятора.
2. Скласти схему регулювання згідно з рис. 7.4.
3. Встановити завдання температури лівим позиційним пристроєм.
4. Увімкнути потенціометр і електропіч і зняти криву розгону.
5. Визначити час розгону. Для цього увімкнути секундомір в момент вмикання електропечі і вимкнути його в момент досягнення максимального значення регульованого параметра (температури).
6. Простежити процес регулювання. Для визначення динаміки процесу зняти до трьох температурних максимумів.
7. На діаграмну стрічку нанести шкалу температури.

### 7.3.2 Дослідження трипозиційного регулятора

1. Вивчити електричну схему трипозиційного регулятора.
2. Скласти схему регулювання згідно з рис. 7.5.
3. Встановити завдання температур: мінімальної – на 30...50 °С нижче заданої, максимальної – відповідно до заданої.
4. Увімкнути потенціометр і електропіч і записати динаміку процесу регулювання до стабілізації режиму. Для визначення динаміки процесу зняти до трьох температурних максимумів.

## 7.4 Оброблення результатів

Одержану криву розгону і зміни температури при дво- та трипозиційному регулюванні перенести з діаграмної стрічки в протокол і за ним визначити характеристики об'єкта регулювання:

- повне запізнювання  $\tau_n$ ;
- сталу часу  $T$ ;
- ступінь самовирівнювання  $\rho$ ;
- швидкість розгону  $\varepsilon$ ;
- швидкість зміни регульованої величини (температури)  $v$ ;

та якість процесів регулювання (інтервал зміни температури). Порівняти показники дво- і трипозиційного регулювання.

## 7.5 Заходи безпеки

Під час виконання досліджень необхідно виконувати загальні правила з техніки безпеки, які наведено в розділі «Техніка безпеки».

## 7.6 Контрольні запитання

1. Перерахуйте основні характеристики об'єкта регулювання.
2. Який вигляд мають теоретична і реальна криві розгону об'єкта із самовирівнюванням? В чому їх відмінність?
3. Як визначити сталу часу об'єкта регулювання?
4. Як визначити транспортне, ємнісне і повне запізнювання об'єкта регулювання?
5. Як визначити швидкість розгону та ступінь самовирівнювання?
6. В чому полягає принципова різниця між двопозиційним та трипозиційним регулюванням?
7. Поясніть за електричною схемою принцип дії двопозиційного регулятора.
8. Поясніть за електричною схемою принцип дії трипозиційного регулятора.
9. Наведіть основні закони регулювання.
10. Конструкція та принцип дії регулятора.

## 7.7 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

- назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;
- послідовність виконання роботи та схеми установки;
- результати досліджень з відповідними розрахунками та графіком (кривою розгону);
- висновки.

## **Лабораторна робота № 8 ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПІРОМЕТРАМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**Мета роботи** – вивчити принцип дії та будову оптичного і радіаційного пірометрів. Засвоїти методику вимірювання температури за допомогою пірометрів. Навчитися визначати поправки на неповноту випромінювання та оцінювати основні метрологічні характеристики оптичних та радіаційних пірометрів.

### 8.1 Загальні відомості

#### 8.1.1 Фізичний принцип вимірювання температури

Пірометричними називають методи вимірювання температури тіл за їх тепловим випромінюванням, а відповідні засоби вимірювання температури – пірометрами випромінювання або просто пірометрами.



Пірометри випромінювання широко використовують у металургії для вимірювання температури твердих та розплавлених тіл в інтервалі температур 300...2500 °С і більше.

Вимірювання температури пірометрами, на відміну від інших методів, здійснюється дистанційно, тобто не вимагає безпосереднього стикання чутливого елемента приладу з тілом, температура якого вимірюється. Тому такий метод вимірювання температури називають безконтактним.

У пірометрії випромінювання основною величиною, яка характеризує теплове випромінювання тіл, є енергетична яскравість.

Повна енергетична яскравість тіла визначається виразом:

$$B(T) = \int_0^{\infty} B(\lambda, T) d\lambda, \quad (8.1)$$

де  $B(T)$  – повна енергетична яскравість при температурі  $T$ , Вт/(ср·м<sup>2</sup>);

$B(\lambda, T)$  – спектральна енергетична яскравість, віднесена до дуже вузької області спектра  $d\lambda$ , Вт/(ср·м<sup>2</sup>).

Спектральна енергетична яскравість абсолютно чорного тіла описується формулою Планка:

$$B_0(\lambda, T) = C_1 \cdot \lambda^{-5} \left( e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right), \quad (8.2)$$

де  $C_1 = \frac{C_1}{\pi} = 1,191 \cdot 10^{-16}$  Вт·м<sup>2</sup>/ср;

$C_1, C_2$  – сталі коефіцієнти ( $C_1 = 3,7413 \cdot 10^{-16}$  Вт·м<sup>2</sup>;  $C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$  м·К);

$\lambda$  – довжина хвилі, м;

$T$  – температура, К;

$e$  – основа натурального логарифма.

Всі реальні тіла відрізняються від абсолютно чорного тіла за випромінювальною здатністю. Якщо позначити  $\varepsilon_T$  і  $\varepsilon_\lambda$  відповідно повний і спектральний коефіцієнти випромінювання, які характеризують, яку частину випромінювальна здатність реального тіла складає від випромінювання чорного тіла, можна написати так:

$$\varepsilon_T = \frac{B(T)}{B_0(T)} \quad (8.3)$$

$$\varepsilon_\lambda = \frac{B(\lambda, T)}{B_0(\lambda, T)}, \quad (8.4)$$

де  $B(T), B_0(T)$  – повні енергетичні яскравості;

$B(\lambda, T), B_0(\lambda, T)$  – спектральні енергетичні яскравості відповідно реального й чорного тіла.

Наведені рівняння описують залежність між температурою і спектральною енергетичною яскравістю для монохроматичного випромінювання. У природі, однак, монохроматичних випромінювань не існує, тому вимірювання

виконуються завжди в деякому вузькому спектральному інтервалі, який приймають за квазімонохроматичний з довжиною хвилі  $\lambda_e$ , яка знаходиться всередині цього спектрального інтервалу і залишається сталою в діапазоні температур від  $T_1$  до  $T_2$  із заданою похибкою. В пірметрії довжина хвилі  $\lambda_e$  має назву ефективною довжини хвилі.

Дія пірметрів заснована на використанні однієї з трьох властивостей випромінювання нагрітих тіл: залежності яскравості, кольору або теплового ефекту випромінювання від температури.

При вимірюванні температури пірметрами випромінювання користуються поняттям умовних температур – яскравісної, колірної, радіаційної.

**Яскравісною температурою** реального тіла  $\theta$  в світлі довжини хвилі  $\lambda_e$  називається така температура чорного тіла, при якій спектральні енергетичні яскравості реального тіла з температурою  $T$  і чорного тіла в променях такої самої довжини хвилі рівні між собою.

Згідно з цим

$$B(\lambda_e, T) = \varepsilon_\lambda \cdot B_0(\lambda_e, T) = B_0(\lambda_e, \theta) \quad (8.5)$$

або

$$\varepsilon_\lambda \cdot C'_1 \cdot \lambda_e^{-5} \cdot (e^{\frac{C_2}{\lambda_e T}} - 1) = C'_1 \cdot \lambda_e^{-5} \cdot (e^{\frac{C_2}{\lambda_e \theta}} - 1) \quad (8.6)$$

Після перетворення цей вираз набуває вигляду

$$\frac{1}{\theta} - \frac{1}{T} = \frac{\lambda_e}{C_2} \ln \frac{1}{\varepsilon_\lambda} \quad (8.7)$$

Це рівняння дозволяє обчислити дійсну температуру (при  $T \leq 3000$  К) фізичного тіла  $T$ , якщо відомі його спектральний коефіцієнт випромінювання  $\varepsilon_\lambda$  і яскравісна температура  $\theta$ , виміряна пірметром.

**Радіаційною температурою** реального тіла  $T_p$ , називається така температура чорного тіла, при якій його повна потужність випромінювання дорівнює повній енергії, яка випромінюється реальним тілом при температурі  $T$ .

Згідно з цим:

$$B(T) = \varepsilon_T \cdot B_0(T) = B_0(T_p) \quad (8.8)$$

Інтегральна енергетична яскравість описується законом Стефана-Больцмана:

$$B_0(T) = \sigma'_0 \cdot T_p^4, \quad (8.9)$$

де  $\sigma'_0$  – стала, яка дорівнює  $1,8047$  Вт/(ср·м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>).

На підставі закону Стефана-Больцмана одержимо:

$$\varepsilon_T \cdot \sigma'_0 \cdot T^4 = \sigma'_0 \cdot T_p^4 \quad (8.10)$$

звідки

$$T = T_p \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon_T}} \quad (8.11)$$

Ця формула дозволяє виконати перехід до дійсної температури тіла  $T$ , знаючи коефіцієнт випромінювання і радіаційну температуру  $T_p$ , виміряну пірометром.

### 8.1.2 Оптичні пірометри типу ОППІР-17

Оптичний пірометр ОППІР або пірометр візуальний із „зникаючою” ниткою змінного розжарювання, застосовується для вимірювання яскравісної температури у видимій частині спектра.

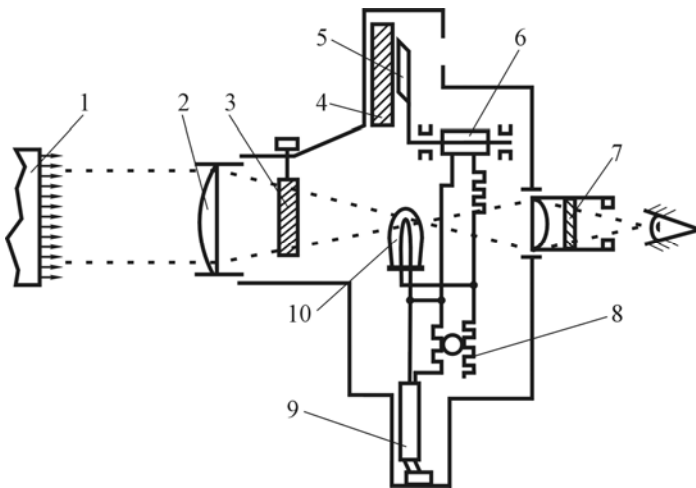


Рис.8.1.Схема пірометра ОППІР-17:  
1 – тіло-випромінювач; 2 – лінза; 3 – світлофільтр; 4 – шкала; 5 – покажчик; 6 – рамка; 7 – світлофільтр; 8 – реостат; 9 – акумулятор; 10 – лампа розжарювання

При вимірюванні силу струму змінюють за допомогою реостата 8. Коли нитка стає невидимою на фоні розжареного тіла, визначають температуру тіла за шкалою 4 мілівольтметра, включеного паралельно лампі й проградуйованого безпосередньо в градусах Цельсія.

Пірометри цього типу дозволяють вимірювати температуру тіл, нагрітих вище температури початку видимого світіння, за їх спектральною монохроматичною яскравістю, тобто за яскравістю, яка спостерігається в монохроматичних променях. Виділення монохроматичної ділянки спектра випромінювання ( $\lambda = 0,65$  мкм) об'єкта здійснюється за допомогою червоного світлофільтра 7.

Оптичний пірометр ОППІР-17 має шкалу з двома межами показів: 800...1400 °С і 1200...2000 °С. Перемикається прилад на різні діапазони вимірювань шляхом введення або виведення димчастого послаблювального світлофільтра 3.

З метою визначення дійсної температури в покази пірометра вводиться поправка на нечорноту реального тіла (табл. 8.1).

При вимірюванні температури тіла, випромінювання якого близька до абсолютно чорного тіла, при умові нормального положення пірометра в просторі (оптична вісь горизонтальна, шкала вертикальна), покази приладу відрізняють-

Дія оптичного пірометра (рис. 8.1) заснована на порівнянні у світлі з ефективною довжиною хвилі яскравості світіння тіла 1, температуру якого визначають (випромінювача), і каліброваної нитки лампи розжарювання 10, через яку пропускається електричний струм від акумулятора 9. Нитка лампи розжарювання за допомогою оптичної системи проектується на оптичному зображенні розжареної поверхні тіла. Розжарення нитки пірометричної лампи, а отже, й її яскравість, залежить від сили струму, який протікає по нитці. При вимірюванні силу струму змінюють за допомогою реостата 8. Коли нитка стає невидимою на фоні розжареного тіла, визначають температуру тіла за шкалою 4 мілівольтметра, включеного паралельно лампі й проградуйованого безпосередньо в градусах Цельсія.

ся від дійсної температури не більше  $\pm 1,5\%$  номінального значення шкали відповідної границі вимірювання.

Таблиця 8.1. Дійсні температури, які відповідають яскравісним при різній випромінювальній здатності

Матеріал	Монохроматичний коефіцієнт випромінювальної здатності, $\epsilon_\lambda$	Яскравісні (виміряні) температури, °С						
		700	800	900	1000	1100	1200	1300
Чисте залізо	0,35	747	858	969	1082	1196	1311	1427
Чавун	0,70	716	819	923	1027	1131	1236	1341
Шамот	0,75	712	815	917	1021	1125	1229	1333
Сталі	0,80	710	812	814	1077	1119	1222	1325
	0,90	704	805	907	1008	1109	1210	1312
	0,95	702	803	903	1004	1104	1205	1306
	1,00	700	800	900	1000	1100	1200	1300

### Для вимірювання температури пірометром необхідно:

1. Підключити пірометр до акумуляторної батареї.
2. Направити об'єктив пірометра на тіло, температура якого вимірюється. Спостерігач при цьому повинен вибрати таке положення пірометра, щоб поле зору повністю перекривалося зображенням тіла.
3. Обертаючи поворотне кільце реостата, досягти, щоб нитка розжарювання стала непомітною на фоні тіла.
4. Провести відлік яскравісної температури тіла за шкалою мілівольтметра.
5. Ввести в одержані покази поправку на нечорноту реального тіла (табл. 8.1) згідно із спектральним монохроматичним коефіцієнтом випромінювальної здатності  $\epsilon_\lambda$  матеріалу, з якого виготовлено тіло.

### 8.1.3 Радіаційні пірометри типу РАПІР

В основу дії радіаційних пірометрів покладений принцип вимірювання температури за величиною повної енергетичної яскравості тіла, тобто його радіаційної температури.

В радіаційних пірометрах променистий потік енергії, випромінюваної розжареним тілом, концентрується лінзою об'єктива на теплоприймачі, який перетворює енергію випромінювання в електричну. Одержаний сигнал вимірюється за допомогою електровимірювального приладу.

Радіаційні пірометри типу РАПІР призначені для вимірювання температури поверхні розжарених тіл у межах 400...2500 °С. Первинним перетворювачем пірометра є радіаційний термоелектричний телескоп ТЕРА-50 (рис. 8.2).

Променевий потік енергії концентрується об'єктивом 6 через діафрагму 5 на робочих спаях термобатарей 4, яка складається з десяти послідовно з'єднаних термопар „хромель-копель”. Виводи 4 термобатарей з'єднуються із затискачами 3 (рис. 8.2). Робоча поверхня термобатарей зачорнена.

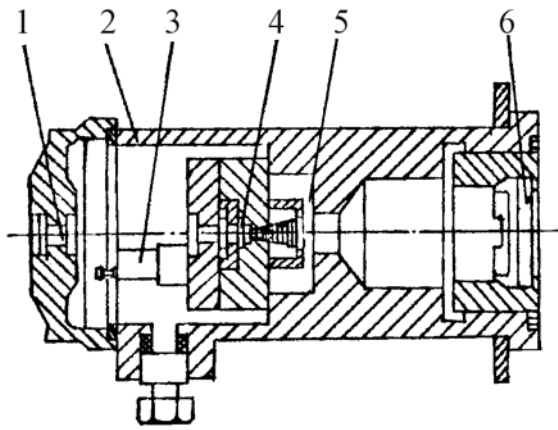


Рис. 8.2. Схема телескопа ТЕРА-50: 1 – окуляр; 2 – корпус; 3 – затискачі; 4 – термо-батарея; 5 – діафрагма; 6 – об'єktiv

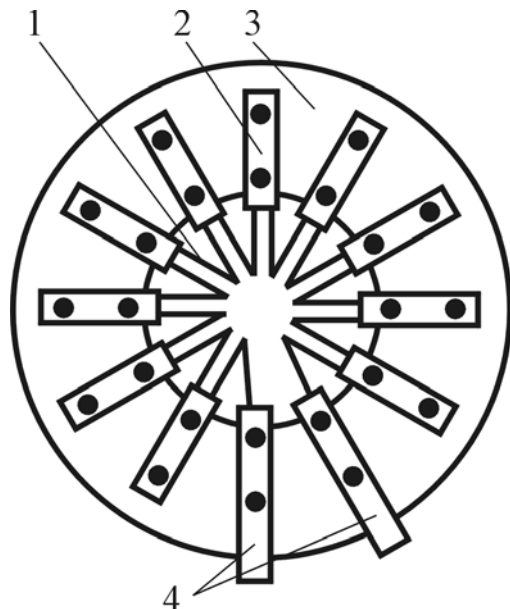


Рис. 8.3. Термобатарея телескопа ТЕРА-50: 1 – термопари; 2 – металеві пластини; 3 – слюдяне кільце; 4 – виводи

## 8.2 Лабораторне устаткування

Установка для вивчення методів вимірювання температури за допомогою пірометрів випромінювання (рис. 8.4) складається з печі 4, в робочій камері якої знаходиться розжарюване тіло 5, виготовлене із графіту. Оптичний 2 і радіаційний 3 пірометри змонтовані на рухомій панелі 7 і можуть почергово направлятись на розжарюване тіло 5. Дійсна температура тіла, яке нагрівається, вимірюється термоелектричним термометром 6 типу ТПП і автоматичним потенціометром 1, який має вбудований позиційний регулятор для підтримування заданої температури тіла під час вимірювань.

Вторинним приладом, який працює в комплекті з телескопом ТЕРА-50, є автоматичний потенціометр ЕПД-12.

Візування телескопа виконується через окуляр 1 із світлофільтром. Усі елементи телескопа змонтовано в циліндричному корпусі 2.

Будова термобатареї показана на рис. 8.3. Робочі кінці термопар 1 розміщені по колу в центрі слюдяного кільця 3; їх вільні кінці закріплені за допомогою тонких металевих пластин 2 на тому самому кільці.

Телескоп ТЕРА-50 одноможовий і призначений для роботи з одним або двома вимірювальними приладами.

Радіаційні пірометри РАПІР випускаються чотирьох модифікацій, які відрізняються градуванням. Основна похибка вимірювань складає 1,5%. Для врахування неповноти випромінювання реальних тіл у схемах підключення телескопів ТЕРА-50 до потенціометрів передбачається спеціальний коригувальний пристрій, за допомогою якого в покази пірометра можна ввести поправки за показами іншого приладу, наприклад, термоелектричного термометра.

### 8.3 Порядок виконання роботи

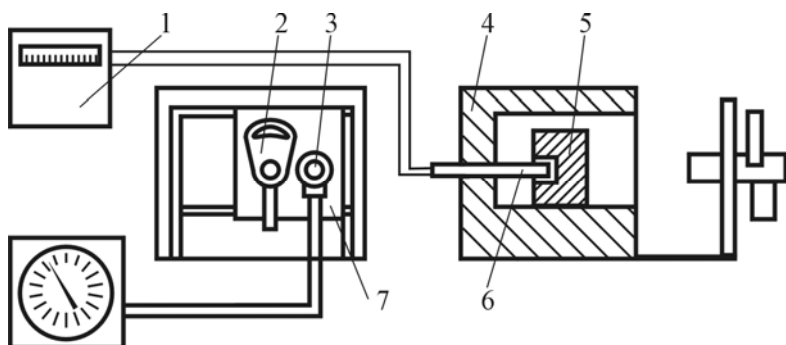


Рис. 8.4. Лабораторна установка для вимірювання температури пірометрами випромінювання: 1 – автоматичний потенціометр; 2 – оптичний пірометр; 3 – радіаційний пірометр; 4 – піч; 5 – розжарюване тіло; 6 – термопара; 7 – рухома панель

1. Увімкнути вимірювальні прилади (потенціометри). Виставити показник завдання температури регулятора на температуру, яка відповідає початковій поділці на шкалі оптичного пірометра.

2. Підключити оптичний пірометр ОППІР-17 до батареї живлення.

3. Спостерігаючи через окуляр оптичного пірометра, встановити його в робоче положення так, щоб робоче тіло повністю перекривало поле зору пірометра.

4. При досягненні розжарюваним тілом початкової заданої температури (при цьому має спрацювати регулятор) провести вимірювання температури тіла.

5. У подальшому змінювати задану температуру на регуляторі через 100...150 °С і повторювати вимірювання.

6. Починаючи з температури розжареного тіла 900 °С, виконувати вимірювання по черзі оптичним і радіаційним пірометрами, встановлюючи їх у робоче положення пересуванням панелі 7 (див. рис. 8.4). При першому вимірюванні температури радіаційним пірометром (900 °С), користуючись коректором, встановити стрілку потенціометра ЭПД-12 відповідно показам термоелектричного термометра. Установча ручка коректора знаходиться в нижній частині лицьової панелі потенціометра. Вимірювання проводити до температур не вище 1200...1250 °С.

7. Одержані результати занести до табл. 8.2.

Таблиця 8.2. Результати вимірювань та розрахунків

Показники		Індекс досліду				
		1	2	3	4	5
Дійсна температура за термоелектричним термометром, °С						
ОППІР-17	Яскравісна температура, °С					
	Ступінь чорноти					
	Дійсна температура, °С					
	Абсолютна похибка, °С					
	Відносна похибка, %					
РАПІР	Радіаційна температура, °С					
	Абсолютна похибка, °С					
	Відносна похибка, %					

## 8.4 Оброблення результатів

1. Визначити поправки на неповноту випромінювання за табл. 8.1 та скоригувати результати вимірювань оптичним пірометром. Монохроматичний коефіцієнт випромінювальної здатності графіту складає 0,93.

2. Порівнюючи дані, одержані при вимірюванні температури термоелектричним термометром і пірометрами випромінювання, розрахувати середні похибки вимірювання температур пірометрами.

3. Зробити висновки щодо застосування пірометрів в системах контролю температури.

## 8.5 Заходи безпеки

Під час виконання досліджень необхідно виконувати загальні правила з техніки безпеки, які наведено в розділі «Техніка безпеки».

## 8.6 Контрольні запитання

1. На якому фізичному явищі заснований принцип вимірювання температури за допомогою пірометрів?

2. Дайте визначення випромінювальної здатності тіл.

3. Як визначаються яскравість і випромінювальна здатність реальних тіл?

4. Наведіть визначення яскравісної та радіаційної температури тіл та методи їх визначення.

5. Поясніть будову і принцип дії оптичного пірометра.

6. Який порядок дій при вимірюванні температури оптичним пірометром?

7. Поясніть будову і принцип дії радіаційного пірометра.

8. Наведіть приклади застосування пірометрів у технологічних процесах.

9. Наведіть приклади термометрії та пірометрії.

10. Межі та галузі використання пірометрії.

## 8.7 Зміст звіту

Звіт має містити такі матеріали:

– назву та мету роботи, короткі теоретичні відомості;

– послідовність виконання роботи та схему установки;

– результати досліджень з відповідними розрахунками у вигляді таблиці;

– висновки.

## ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

### **Під час знаходження в лабораторії необхідно:**

1. Приступати до експериментів тільки після отримання офіційного допуску від викладача.
2. На робоче місце брати з собою тільки протоколи лабораторних робіт, ручки та олівці, калькулятор (з цією метою може бути використаний мобільний телефон).
3. Перебуваючи на робочому місці, уважно стежити за станом тумблерів, перемикачів та сигнальних лампочок на лабораторних стендах.
4. Проводити налаштування лабораторних установок та їх калібровку, складати електричні схеми у суворій відповідності із методичними вказівками.
5. Виконувати дослідження групами (бригадами) мінімум по дві особи. В разі особистого виконання роботи студентом його дії контролює викладач.
6. У разі несправності або неповноцінного функціонування установки звернутися до викладача.
6. Після закінчення роботи вимкнути лабораторний стенд.

### **Під час знаходження в лабораторії заборонено:**

1. Знаходитися на робочому місці іншої бригади.
2. Знаходитися у верхньому одязі на робочих місцях.
3. Брати на робочі місця із собою сумки, портфелі, рюкзаки, елементи одягу та інші сторонні предмети, не передбачені протоколом роботи.
4. Вмикати або вимикати лабораторні установки без дозволу викладачів.
5. Вмикати або вимикати установки, які не відносяться до виконання даної лабораторної роботи.
6. Намагатися полагодити або налаштувати лабораторні установки без дозволу викладачів.
7. Під час робочого циклу не перешкоджати і не допомагати роботі установок своїм втручанням, не доторкатися до частин, які рухаються або можуть знаходитися під напругою.
8. Використовувати мобільні телефони, фото-, відео-, Інтернет-техніку та інше побутове приладдя, яке створює шум, радіоперешкоди та заважає роботі лабораторного устаткування.
9. Заносити в лабораторію напої, їжу, пакувальні матеріали.
10. Самовільно покидати лабораторію або заходити до неї.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург С.А. Основы автоматики и телемеханики. – М.–Л.: Энергия, 1965. – 512 с.
2. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для вузов. – 3-е изд. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.
3. Дембовский В.В. Автоматизация литейных процессов. Справочник. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 264 с.
4. Майзель М.М. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов: Уч. пос. – М.: Высш. шк. – 1964. – 579 с.