

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**Ю. П. Кондратенко, Г. В. Кондратенко,
О. О. Черно, А. К. Попов**

**ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ**

Методичні вказівки до лабораторних робіт

Під редакцією д.т.н., проф. Ю.П. Кондратенка

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2008

УДК 681.586

Вимірювальні перетворювачі систем автоматичного керування: Методичні вказівки до лабораторних робіт / *Ю.П. Кондратенко, Г.В. Кондратенко, О.О. Черно, А.К. Попов*. Під ред. д. т. н., проф. *Ю.П. Кондратенка*. – Миколаїв: НУК, 2008. – 24 с.

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

Вказівки містять опис лабораторних стендів, конструктивних особливостей та принципу дії вимірювально-перетворювальних елементів автоматики. Коротко викладені теоретичні основи й методика експериментального одержання статичних характеристик.

Призначені для студентів спеціальності 8.091401 – системи управління і автоматики.

Рецензент кандидат технічних наук, професор Гуров А.П.

Згідно з наказом ректора НУК № 08 від 09.01.2008 методичні вказівки публікуються в авторській редакції.

Відповідальність за редагування несе автор.

ВСТУП

В системах автоматичного керування та контролю завжди виникає необхідність вимірювання різних фізичних величин та перетворення їх в сигнали. Тому вимірювально-перетворювальні елементи (датчики) є одними з основних елементів автоматики. В різних системах вимірюванню підлягають самі різноманітні фізичні величини: переміщення, швидкість, прискорення, сила, тиск, температура, струм, магнітна індукція і т. ін. Майже для кожної з цих величин є кілька типів датчиків, які відрізняються один від одного за конструкцією та принципом дії, причому кожен має як переваги, так і недоліки в порівнянні з іншими, що слід враховувати при виборі типу датчика для конкретної системи.

Загальновідомим є те, що неможливо керувати точніше, ніж вимірювати, тому основною вимогою, якій повинні задовольняти вимірювально-перетворювальні елементи – це точність. Крім цього, до датчиків висувається ще багато вимог, серед яких основними є надійність, стабільність параметрів, перевадозахищеність, компактність, дешевизна.

Дані вказівки присвячені комплексу лабораторних робіт з вивчення конструкції та принципу дії різних типів датчиків, призначених для вимірювання та перетворення в сигнал лінійних та кутових переміщень, струму та температури. Проведення лабораторних робіт дозволить поглибити і закріпити знання студентів з дисципліни "Елементи і пристрої автоматики та систем управління".

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Мета роботи: вивчити конструкцію та принцип дії потенціометричного датчика кутових переміщень та отримати експериментальним шляхом його статичну характеристику.

Теоретичні відомості

Потенціометричний датчик призначений для виміру та перетворення лінійних і кутових переміщень в електричний сигнал. Він являє собою змінний опір, величина вихідної напруги якого залежить від положення

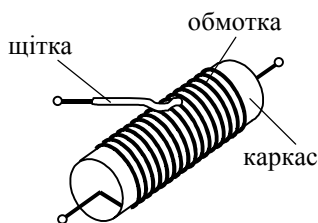


Рис. 1.1. Потенціометричний датчик

струмоз'ємного контакту. Змінним опором служить намотана на каркас в один ряд обмотка, по зачищеній поверхні якої ковзає струмознімач (рис. 1.1). Каркас виконується з ізоляційного матеріалу (гетинакс, текстоліт, кераміка), обмотку звичайно виготовляють із емальованого проводу, виготовленого з матеріалу із високим питомим опором (константан, манганін, фехраль і сплави на основі благородних металів). Діаметр

проводу визначає точність потенціометра. Датчики високого класу точності намотуються дротом діаметром 0,03..0,1 мм, датчики низького класу – 0,1..0,4 мм. Обмотка укладається на каркас рівномірно, оскільки це також впливає на точність роботи датчика. Струмознімач (щітка) виконується з матеріалу, більш м'якого, ніж матеріал обмотувального проводу, щоб уникнути перетирання витків при тривалій роботі.

Залежно від характеру руху повзунка потенціометри підрозділяються на датчики лінійного й кутового переміщення. Щітка датчика лінійних переміщень робить прямолінійний поступальний рух, а щітка датчика кутового переміщення – круговий рух.

Принцип дії потенціометричного датчика полягає в наступному: до затискачів прикладається напруга постійного або змінного струму незмінної величини. При переміщенні движка потенціометра вихідна напруга U міняється пропорційно вхідній величині x .

Для режиму холостого ходу статична характеристика датчика лінійна, тому що справедливо співвідношення:

$$U_{\text{вих}_0} = U \cdot \frac{r}{R},$$

де U – напруга живлення потенціометра; R – опір обмотки; r – опір частини обмотки, що доводиться на довжину переміщення x движка потенціометра (рис. 1.2, *а*).

Враховуючи, що $\frac{r}{R} = \frac{x}{l}$, де l – загальна довжина намотування, одержимо:

$$U_{\text{вих}_0} = \frac{U}{l} x = kx,$$

де k – коефіцієнт перетворення потенціометра.

Для потенціометра кутового переміщення при відсутності навантаження:

$$U_{\text{вих}_0} = k\phi,$$

де ϕ – кут повороту движка від нульового положення (рис. 1.2, *б*).

Отримані вирази показують, що статична характеристика лінійних потенціометрів при відсутності навантаження представляє пряму, що проходить через початок координат, з коефіцієнтом нахилу k (рис. 1.2, *в*).

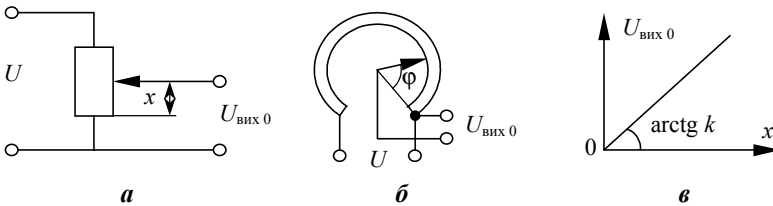


Рис. 1.2.

Наведена статична характеристика дозволяє укласти, що розглянуті потенціометричні перетворювачі не реагують на знак вхідного сигналу, тобто вони належать до класу одноктактних елементів. Однак на основі одноктактних потенціометрів можна побудувати двоктактні вимірювальні перетворювачі, що реагують на знак вхідного сигналу. Існує кілька схем включення потенціометрів, що утворять двоктактний потенціометричний датчик (рис. 1.3).

Розглянемо статичні характеристики цих датчиків при відсутності навантаження. Для схем, зображених на рис. 1.3, *а*, *б*, статична харак-

теристика являє собою пряму II, а для схем, наведених на рис. 1.3, *в*, *г* – пряму I (рис. 1.4). Відмінність характеристик полягає в їх крутизні. У схемах з двома движками (рис. 1.3, *в*, *г*) потенціал точки β одержує збільшення, рівне по абсолютній величині збільшенню потенціалу точки α , але зворотне за знаком. У результаті різниця потенціалів $U_\alpha - U_\beta$ збільшується вдвічі в порівнянні зі схемами *а*, *б*, де потенціал однієї з точок увесь час зберігає постійне значення. Таким чином, схеми із двома движками мають при тих самих параметрах потенціометрів удвічі більші коефіцієнти перетворення сигналу в порівнянні зі схемами з одним движком.

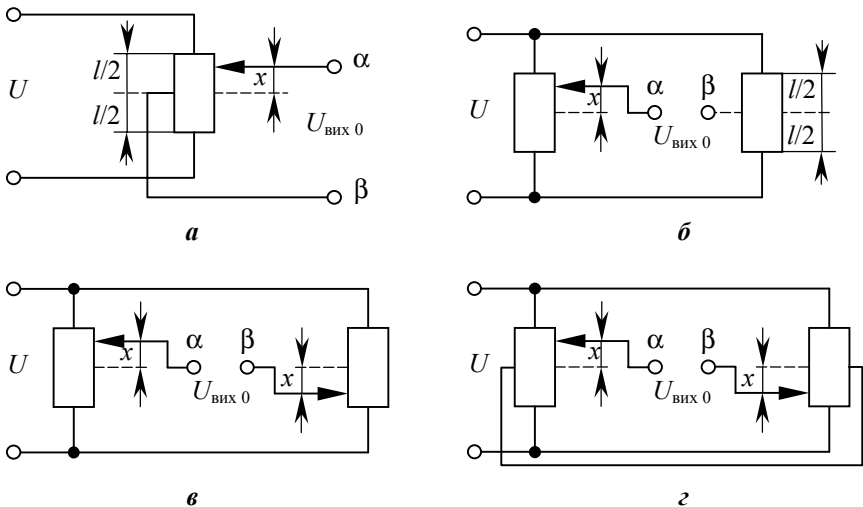


Рис. 1.3. Принципові схеми двотактних потенціометрів

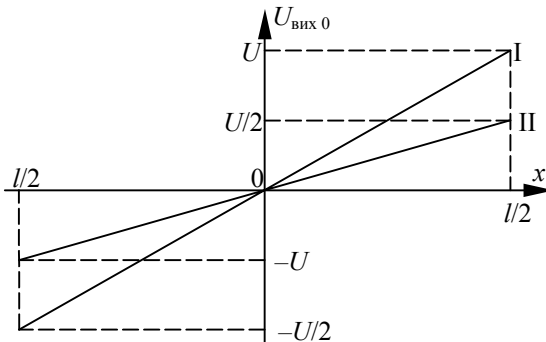


Рис. 1.4. Статичні характеристики двотактних потенціометрів

Розглянуті ідеальні характеристики потенціометричних датчиків можуть сильно відрізнятись від реальних за рахунок наявності різного роду похибок, які необхідно враховувати при проектуванні систем автоматичного управління.

Методика одержання статичної характеристики потенціометричного датчика

1. Зібрати відповідну схему одноктактного (рис. 1.2, **б**), або двоктактного (рис. 1.3) потенціометричного датчика.
2. На вхід схеми подати постійну напругу U .
3. До виходу схеми підключити вольтметр.
4. Змінюючи положення повзунка датчика, фіксувати напругу $U_{\text{вих}}$.
5. Результати експерименту занести в табл. 1.1.
6. За даними таблиці побудувати графіки статичних характеристик датчиків.

Висновки

У результаті виконання роботи був досліджений одноктактний потенціометричний датчик, представлений на рис. 1.2, **б**, і двоктактний датчик (рис. 1.3, **в**). Отримані дані занесені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

Одноктактний	Φ , град							
	U , мВ							
Двоктактний	Φ , град							
	U , мВ							

За даними таблиці 1.1 необхідно побудувати статичні характеристики.

Зміст звітів

1. Короткий виклад конструкцій потенціометричних датчиків.
2. Короткі теоретичні відомості.
3. Таблиці результатів експерименту.
4. Статичні характеристики потенціометричних датчиків.
5. Підрахунок абсолютної й відносної похибок.
6. Висновки.

Контрольні питання

1. Призначення, конструкція та принцип дії потенціометричних датчиків.
2. Статичні характеристики одноктних та двоктних потенціометричних датчиків.
3. Недоліки потенціометричних датчиків та засоби їх усунення.

Література

1. Подлесный Н.И., Рубанов В.Г. Элементы систем автоматического управления и контроля. – К.: Вища школа, 1991.
2. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКТИВНОГО, ЄМНІСНОГО І ФОТОМЕТРИЧНОГО ДАТЧИКІВ

Мета роботи: вивчити конструкції та принцип дії індуктивного, ємнісного та фотометричного датчиків переміщень. Експериментальним шляхом отримати статичні характеристики датчиків.

Опис лабораторного стенду

Лабораторна установка являє собою блок датчиків, що складається з індуктивного, ємнісного і фотодатчиків переміщення. В установці є також генератор, що забезпечує роботу датчиків, і компаратор для індикації досягнення параметром (наприклад L або C) певної величини, знаходження параметра в деяких межах або виходу за ці межі. Для індикації стану параметрів служать:

- мікроамперметр (індикація безперервної зміни);
- світлодіоди (індикація стану компаратора);
- механічна шкала (індикація переміщень приводів датчиків).

Вибір типу датчика здійснюється кнопковим перемикачем із залежною фіксацією (L , C , F).

Вибір режиму роботи компаратора здійснюється ручками налаштування ("Чутливість", "ПОС"). Включається компаратор незалежно від підключеного типу датчика кнопковим вимикачем "Компаратор".

В установці є ручка керування "Уст. 0" для установки нуля при введенні індуктивного/ємнісного/фотодатчиків у стан, коли відповідному типу датчика параметр має мінімально можливе значення.

В установці є можливість підключення зовнішніх індуктивних та ємнісних датчиків. При цьому може виникнути необхідність у підвищенні або зниженні частоти внутрішнього генератора. Перемикання вимірювальної системи із внутрішніх на зовнішні датчики здійснюється перемикачем "Внутр./зовнішн."

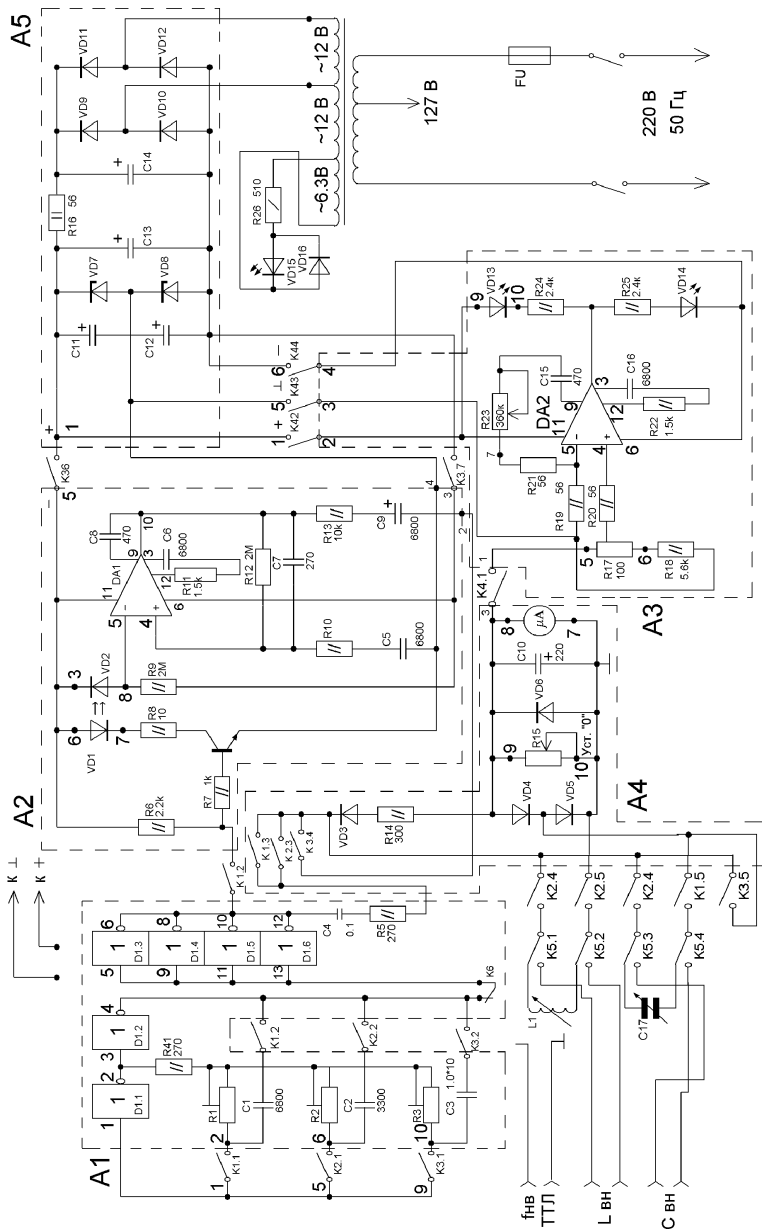
Принципова схема пристрою (рис. 2.1) складається з наступних вузлів.

1. Генератор, що виробляє одну з трьох фіксованих частот, точне підстроювання яких здійснюється підстроювальними резисторами. У генераторі є вхід для підведення частоти від зовнішнього джерела, далі сигнал подається на вимірювальну частину схеми через буферні елементи. Генератор виконаний на мікросхемі К155ЛН1.

2. Вимірювальна частина схеми працює на вимір ЕРС самоіндукції в котушках індуктивності й розрядного струму ємності. Правильність роботи забезпечується відповідним включенням діодів. Розділові конденсатори на вході забезпечують відсікання постійної складової. Оскільки в режимі виміру ємності та індуктивності частоти досить високі (порядку 200 КГц), в якості розділового застосований конденсатор малої ємності; при роботі фотодатчика частоти більш низькі через інерційні світло- і фотодіоди, тому в якості розділового застосований конденсатор більшої ємності.

При підключенні до вимірювальної частини схеми фотодатчика вимірюється амплітуда подаваної імпульсної напруги. При цьому сигнал через розділовий конденсатор подається на вимірювальну частину схеми, а виводи, до яких підключалася ємність, – закорочуються.

3. Фотодатчик виконаний на транзисторі типу КТ315, світлодіод типу АЛ107, фотодіод типу ФД156, операційний підсилювач типу К553УД1В. Режим роботи фотодатчика забезпечують резистори й конденсатор. Транзистор працює як підсилювач струму; навантаженням підсилювача струму є світлодіод, який перетворює посилені імпульси струму в імпульси світлової енергії. Між світлодіодом і фотодіодом розташовані пластини змінного пропускання світла по довжині. Фотодіод перетворить світлову енергію, що проникає на нього через пластину в електричний сигнал малої амплітуди, що підсилюється операційним підсилювачем. Коефіцієнт підсилення і смугу пропускання визначають резистори і конденсатори



- D1 - K155 ЛН1
- R1, R2, R3 - 470 Ом
- C11 - C14 - 500*2.5
- DA1, DA2 - K553УД1В
- VT1 - КТ315Г
- VD13 - АЛ 307А
- VD14 - АЛ 307 В
- VD16 - АЛ 30 В
- VD9, VD12 : Д7Ж
- VD1 - АЛ 107 А
- VD2 - ФД-3
- VD3 - VD6: Д 220

Рис. 2.1. Принципова електрична схема лабораторного стенду

в колі зворотного зв'язку, а також кола корекції операційного підсилювача. Фотодіод чутливий до температури і відносно потужним інфрачервоним засвітлюванням. При нагріванні фотодіода до 30..36°C амплітуда імпульсного сигналу падає до нуля на виході підсилювача. Нормальною варто вважати температуру 18..24°C.

4. Компаратор виконаний на операційному підсилювачі К553УД1У. Кола корекції забезпечують усталену роботу й відсутність самозбудження. Резистор у колі сигналу встановлює точку спрацьовування компаратора, резистор у колі позитивного зворотного зв'язку забезпечує точку відпускання компаратора. Конденсатор у колі зворотного зв'язку забезпечує відсутність багаторазових перемикань компаратора через пульсації живлячої напруги або поганої фільтрації сигналу.

5. Блок живлення установки має малу потужність і складається з трансформатора, мостового випрямляча, фільтрів, компенсційного двополярного стабілізатора +5В, 0В, –5В.

Конструктивно первинні вимірювальні перетворювачі виконані в такий спосіб:

– індуктивний вимірювальний перетворювач являє собою котушку індуктивності, намотану на каркас, усередину якого всувається (висувається) відрізок феритового стрижня. Котушка закріплена нерухомо. До капронової гайки прикріплена платформа, на якій кріпиться феритовий стрижень і покажчик його переміщення відносно котушки індуктивності. Обертовий рух ручки привода перетворюється в поступальне переміщення феритового стрижня за допомогою черв'ячної передачі, що складається зі стрижня й напрямних, що запобігають обертанню платформи і сердечника котушки. Обертовий рух на черв'ячну передачу передається за допомогою редуктора;

– вимірювальний перетворювач фотодатчика являє собою фотодіод, нерухомо закріплений у гільзі з вікном відповідних розмірів, що висвітлюється імпульсами світла, вимірюваними світлодіодом, також закріпленим нерухомо; світлодіод вставлений у гільзу з вікном відповідних розмірів; пластина зі змінною по довжині прозорістю закріплена на рухомій платформі, як і стрижень котушки індуктивності; пластина, переміщуючись між фотопарою, змінює інтенсивність імпульсів світлового потоку;

– ємнісний вимірювальний перетворювач являє собою стандартний конденсатор змінної ємності; секції конденсатора електрично з'єднані паралельно; обертовий рух на конденсатор передається через редуктор з відповідним коефіцієнтом передачі.

Експериментальне отримання статичних характеристик датчиків

В ході експериментів необхідно для різних значень кутового (для ємнісного датчика) або поступального (для індуктивного і фотодатчика) переміщення зафіксувати відповідні значення вихідної напруги та струму. Результати звести в таблиці 2.1 – 2.3.

Таблиця 2.1. Дослідження ємнісного датчика

φ, град	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
I, мкА										
U, мВ										

Таблиця 2.2. Дослідження індуктивного датчика

X, см	0	1	2	3	4	5	6	7	7.8
Прямий напрямок									
I, мкА									
U, мВ									
Зворотний напрямок									
I, мкА									
U, мВ									

Таблиця 2.3. Дослідження фотодатчика

X, см	0	1	2	3	4	5	6	7	7.8
Прямий напрямок									
I, мкА									
U, мВ									
Зворотний напрямок									
I, мкА									
U, мВ									

За даними експериментів необхідно побудувати статичні характеристики датчиків. Із графіків статичних характеристик визначити абсолютні похибки і розрахувати величини відносних похибок.

Зміст звітів

1. Короткий виклад конструкцій індуктивного, ємнісного та фотометричного датчиків переміщення.

2. Короткі теоретичні відомості.
3. Таблиці результатів експерименту.
4. Статичні характеристики датчиків.
5. Підрахунок абсолютної й відносної похибок.
6. Висновки.

Контрольні питання

1. Конструкції та принцип дії індуктивного, ємнісного та фотометричного датчиків переміщення.
2. Переваги та недоліки індуктивного, ємнісного та фотометричного датчиків переміщення.

Література

1. Измерительные преобразователи / *Р.Г. Джагунов, Е.Б. Плавинский, В.В. Никольский, А.М. Верестенник*. Учеб. пособие. – О.: Астропринт, 2002. – 216 с.
2. *Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Мальшиев В.А.* Элементы и функциональные устройства судовой автоматики. – С.Пб.: ЭЛМОР, 1998.
3. *Подлесный Н.И., Рубанов В.Г.* Элементы систем автоматического управления и контроля. – К.: Вища школа, 1991.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДАТЧИКА ХОЛА В СИСТЕМІ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРУ СТРУМУ

Мета роботи: вивчити конструкцію та принцип дії пристрою безконтактного виміру сили струму на основі датчика Хола. Визначити статичну характеристику датчика.

Теоретичні відомості

Принцип дії датчика Хола заснований на ефекті відхилення електронів, що рухаються у магнітному полі (рис. 3.1) [1]. При живленні датчика від джерела стабілізованого струму напруга на його виході визначається миттєвим значенням проекції вектора магнітної індукції на нормаль до площини датчика:

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = U_{\text{СМ}} + k_1 I_{\text{ИСТ}} B_n(t), \quad (3.1)$$

де k_1 – постійний коефіцієнт; $I_{\text{ИСТ}}$ – струм джерела; $U_{\text{СМ}}$ – напруга зсуву нуля.

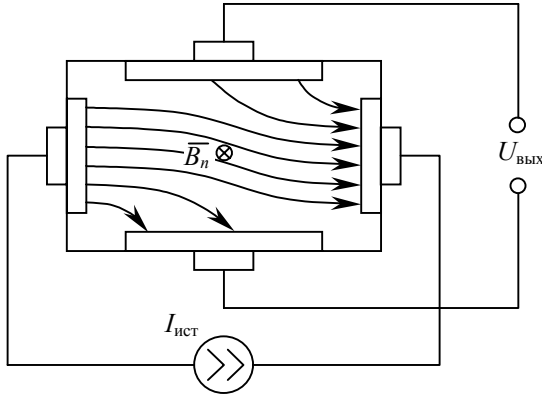


Рис. 3.1. Схема підключення та принцип дії датчика Хола

Для безконтактного виміру струму в силовому колі датчик Хола поміщають у розріз феритового кільця, що охоплює струмоведучий провід (рис. 3.2).

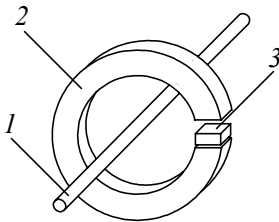


Рис. 3.2. Пристрій безконтактного вимірення струму за допомогою датчика Хола:
1 – струмоведучий провід; 2 – феритове кільце;
3 – датчик Хола.

Миттєве значення магнітної індукції в повітряному зазорі визначається наступним виразом:

$$B(t) = \frac{\mu_0 W}{\delta} i(t), \quad (3.2)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна проникність повітря; W – число витків силового проводу, що проходять крізь феритове кільце; δ – величина по-

ротно-імпульсної модуляції, і потім подається на затвор польового транзистора IRL2505 [4], який, працюючи в ключовому режимі, комутує коло нагрівача. Струм силового кола контролюється за допомогою включеного послідовно з нагрівачем шунта R4 і поміщеного в розріз феритового кільця (рис. 3.2) датчика Хола HW300A [3]. Датчик Хола живиться від джерела стабілізованого струму, побудованого на базі інтегрального стабілізатора напруги LM317L [5]. Контроль температури нагрівача здійснюється за допомогою напівпровідникового термодатчика LM335, встановленого на робочій поверхні нагрівача.

На лицьову панель стенда виводяться 4 сигнали: напруга на нагрівальному елементі (вихід 1), спадання напруги на шунті (вихід 2), напруга на виході датчика Хола (вихід 3) і напруга на виході датчика температури (вихід 4).

Порядок виконання роботи

1. Включенням тумблера "мережа" на лицьовій панелі подати на стенд живлення.
2. Повернути ручку змінного резистора R3 у середнє положення.
3. За допомогою осцилографа перевірити наявність прямокутних імпульсів на шунті та виході датчика Хола.
4. Повернути ручку змінного резистора R3 у крайнє ліве положення, що відповідає нульовому рівню напруги.
5. Підключивши до виходу датчика Хола вольтметр постійного струму, зафіксувати напругу зсуву нуля.
6. Установивши ручку змінного резистора R3 у положення, що відповідає 10%, зафіксувати значення середньої напруги на шунті та на виході датчика Хола. Зробити аналогічні виміри для інших значень середньої напруги із кроком 10%. Результати звести в таблицю 1.

Таблиця 3.1.

$U_{\text{ср}}, \%$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$U_{\text{ш.ср}}, \text{В}$											
$U_{\text{д.х.ср}}, \text{В}$											

Обробка результатів експерименту

1. Для кожного значення середньої напруги на шунті за допомогою закону Ома визначити відповідні значення середнього струму $I_{\text{ср}}$.
2. Побудувати експериментальну статичну характеристику $U_{\text{д.х.ср}}(I_{\text{ср}})$.

3. У тій же системі координат побудувати аналогічну характеристику, розраховану за формулою (3.3).

4. За експериментальною статичною характеристикою визначити коефіцієнт передачі датчика за струмом та порівняти отримане значення з теоретичним.

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Таблиці результатів експерименту.
3. Теоретична та експериментальна статичні характеристики.
4. Розрахунок коефіцієнта передачі датчика за струмом.
5. Розрахунок похибок.
6. Висновки.

Контрольні питання

1. Призначення і принцип дії датчиків Хола.
2. Конструкція і принцип дії пристрою безконтактного виміру струму на базі датчика Хола.
3. Способи підвищення чутливості й точності.

Література

1. *Клаасен К.Б.* Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
2. 8-bit AVR Microcontroller with 1K Bytes In-System Programmable Flash ATtiny13. – [http:// www.atmel.com](http://www.atmel.com).
3. HW-300 InSb Hall Element. – [http:// www.ssec.honeywell.com](http://www.ssec.honeywell.com).
4. IRL2535. – [http:// www.irf.com](http://www.irf.com).
5. LM317L 3-Terminal Adjustable Regulator. – [http:// www.national.com](http://www.national.com).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ НАГРІВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕРМОПАРИ ТА НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ТЕРМОДАТЧИКА

Мета роботи: вивчити конструкцію та принцип дії термопари і напівпровідникового датчика температури. Дослідити за допомогою термодатчиків процес підвищення температури нагрівального елемента.

Теоретичні відомості

Термопара являє собою два різномірних провідники, спаяні між собою з обох кінців (рис. 4.1) [1].

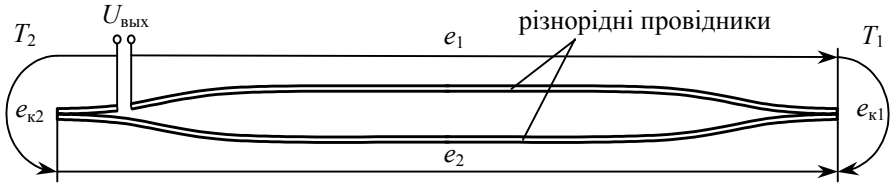


Рис. 4.1. Конструкція термопари

Дія термопари заснована на ефекті Зеебека: у колі, що складається з різномірних провідників, виникає термо-ЕРС, що залежить від температур ділянок кола та матеріалів провідників. Ефект Зеебека ґрунтується на наступних явищах. Якщо уздовж провідника існує градієнт температур, електрони на гарячому кінці здобувають більш високі енергії та швидкості, ніж на холодному. У результаті виникає потік електронів від гарячого кінця до холодного, і на холодному кінці накопичується негативний заряд, а на гарячому залишається некомпенсований позитивний заряд. Оскільки середня енергія електронів залежить від природи провідника і по-різному росте з температурою, при тій самій різниці температур термо-ЕРС на кінцях різних провідників будуть відрізнятися:

$$e_1 = k_1 \cdot (T_1 - T_2); \quad e_2 = k_2 \cdot (T_1 - T_2),$$

де T_1 і T_2 – температури гарячого і холодного кінців відповідно; k_1 та k_2 – коефіцієнти, що залежать від фізичних властивостей відповідно 1-го та 2-го провідників. Результуюча різниця потенціалів називається об'ємною термо-ЕРС:

$$e_{об} = e_1 - e_2 = (k_1 - k_2)(T_1 - T_2).$$

У місцях спайки різномірних провідників з'являється контактна різниця потенціалів, що залежить від площі та матеріалів прилягаючих поверхонь і пропорційна їхній температурі:

$$e_{к1} = k_{пов} T_1; \quad e_{к2} = k_{пов} T_2,$$

де $k_{пов}$ – коефіцієнт поверхонь дотичних металів. У результаті з'являється друга складова вихідної напруги – контактна термо-ЕРС:

$$e_к = e_{к1} - e_{к2} = k_{пов} \cdot (T_1 - T_2).$$

Напруга на виході термопари визначається як сума об'ємної та контактної термо-ЕРС:

$$U_{\text{вих}} = e_{\text{об}} + e_{\text{к}} = (k_1 - k_2 + k_{\text{пов}})(T_1 - T_2) = k \cdot (T_1 - T_2),$$

де k – коефіцієнт передачі.

Недоліки термопари:

- мала чутливість (порядку 0,1 мВ/°К);
- високий вихідний опір;
- необхідність підтримки постійної температури одного з кінців.

Перерахованих недоліків позбавлені напівпровідникові датчики температури [2]. Найпоширеніший напівпровідниковий термодатчик являє собою стабілітрон, на якому спадання напруги пропорційно його температурі (рис. 4.2).

Недоліком напівпровідникового датчика (у порівнянні з термопарою) є неможливість вимірювання високих температур: верхня границя вимірювання складає 150..300 °С.

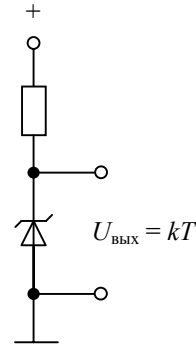


Рис. 4.2. Схема включення напівпровідникового термодатчика

Порядок виконання роботи

Опис лабораторного стенду наведено в лабораторній роботі №3. Для проведення даної роботи необхідно також наявність універсального вимірювального приладу (мультиметра) з термопарою. Робота виконується в наступному порядку.

1. Включенням тумблера "мережа" на лицьовій панелі подати на стенд живлення.
2. Повернути ручку змінного резистора R3 у середнє положення.
3. За допомогою осцилографа перевірити наявність прямокутних імпульсів на шунті R4.
4. Повернути ручку змінного резистора R3 у крайнє ліве положення, що відповідає нульовому рівню напруги.
5. Переключити мультиметр у режим виміру температури і підключити до нього термопару.
6. Прикріпити робочий кінець термопари до нагрівального елемента і зафіксувати значення температури в °С згідно з показанням мультиметра.

7. За допомогою вольтметра постійного струму зафіксувати значення напруги на виході напівпровідникового термодатчика LM335.

8. Установити ручку змінного резистора R3 у середнє положення і фіксувати показання мультиметра і значення напруги на виході напівпровідникового термодатчика щохвилини протягом 15 хв. Результати звести в таблицю 1.

Таблиця 4.1.

$t, \text{хв}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$t_{\text{п.т}}^{\circ}, \text{ }^{\circ}\text{C}$																
$U_{\text{п.т}}, \text{В}$																

Обробка результатів експерименту

1. Для кожного значення $U_{\text{п.т}}$ визначити відповідні значення температури $t_{\text{п.т}}^{\circ}$ в $^{\circ}\text{C}$:

$$t_{\text{п.т}}^{\circ} = \frac{U_{\text{п.т}}}{k} - 273^{\circ},$$

де k – коефіцієнт передачі напівпровідникового термодатчика [2].

2. В одній системі координат побудувати графіки перехідних процесів $t_{\text{п.т}}^{\circ}(t)$ і $t_{\text{п.т}}^{\circ}(t)$.

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Таблиці результатів експерименту.
3. Графіки перехідних процесів нагрівання.
4. Висновки.

Контрольні питання

1. Призначення та принцип дії термопари.
2. Призначення та принцип дії напівпровідникового датчика температури.

Література

1. Жадобин Н.Е., Крылов А.П., Малышев В.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики. – С.Пб.: ЭЛИМОР, 1998.
2. LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A. – <http://www.national.com>.

ЗМІСТ

Вступ	3
<i>Лабораторна робота №1. Потенціометричні вимірювальні перетворювачі</i>	4
<i>Лабораторна робота №2. Дослідження індуктивного, ємнісного та фотометричного датчиків</i>	8
<i>Лабораторна робота №3. Дослідження датчика Хола в системі безконтактного виміру струму</i>	13
<i>Лабораторна робота №4. Дослідження процесів нагрівання за допомогою термопари та напівпровідникового термодатчика</i>	17

Навчальне видання

КОНДРАТЕНКО Юрій Пантелейович
КОНДРАТЕНКО Галина Володимирівна
ЧЕРНО Олександр Олександрович
ПОПОВ Андрій Кірович

**ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ**

Методичні вказівки до лабораторних робіт

Під редакцією д.т.н., проф. Ю.П. Кондратенка

(українською мовою)

Комп'ютерна верстка *В.Г. Мазанко*
Коректор *М.О. Паненко*

Свідцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 01.02.08. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 1,2. Обл.-вид. арк. 1,3.
Тираж 100 прим. Вид. № 2. Зам. № 19. Ціна договірна

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5