

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра електроенергетики, електротехніки та  
електромеханіки

**КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ З ОСНОВАМИ**  
**МЕТРОЛОГІЇ**

методичні рекомендації для виконання практичних робіт для  
здобувачів вищої освіти ступеня «Бакалавр» спеціальності 141  
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
денної та заочної форм навчання

**Миколаїв**

**2023**

УДК 006.91:621.039.564  
К64

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 13.11.2023 р., протокол № 3.

Укладачі:

О. С. Садовий – канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

І. П. Атаманюк – д-р техн. наук, професор кафедри прикладної математики, Варшавського університету наук про життя (Республіка Польща);

І.С. Білюк – канд. техн. наук, доцент завідувач кафедри автоматички, НУК ім. адм. Макарова.

© Миколаївський національний аграрний  
університет, 2023

## Зміст

Передмова.....	3
1. Визначення похибок вимірювальних приладів.....	4
1.1 Короткі теоретичні відомості.....	4
1.1.1. Основні поняття і визначення .....	4
1.1.2. Класифікація методів вимірювань .....	5
1.1.3. Похибки вимірювань.....	7
1.1.4. Основні характеристики вимірювальних приладів.....	8
1.1.5. Визначення похибок вимірювань.....	10
1.1.6. Визначення найбільших можливих абсолютних та відносних похибок .....	11
1.1.7. Визначення найбільших можливих відносних похибок при непрямому методі вимірювань.....	12
1.2. Приклади рішення типових задач	13
1.3. Завдання до контрольної роботи № 1	13
2. Розширення межі вимірювання приладів безпосередньої оцінки	19
2.1 Короткі теоретичні відомості	23
2.2. Приклади рішення типових задач	23
2.3. Завдання до контрольної роботи № 2	30
3. Питання підсумкового контролю з курсу дисципліни	37
контрольно-вимірювальні прилади.....	
4. Порядок та критерії оцінювання знань по дисципліні «контрольно-вимірювальні прилади».....	40
Література.....	41

## ПЕРЕДМОВА

Для успішного засвоєння дисципліни "Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології" досить важливе значення мають різноманітні практичні вправи та рішення задач, які надають можливість більш глибокого засвоєння теоретичних питань, а також сприяння отриманню навичок по експлуатації засобів електричних вимірювань.

Методичні рекомендації складено у відповідності з навчальною програмою курсу "Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології". Перед завданнями кожного з розділів подано стислі теоретичні відомості, а також приклади рішення типових задач, які роз'яснюють ті або інші методи розрахунку елементів вимірювальних схем, а також вибору електровимірювальних приладів. Завдання підібрано різноманітного рівня складності. Деякі з завдань запозичені з рекомендованої літератури.

Методичні рекомендації призначені для практичних занять здобувачів вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Миколаївського національного аграрного університету.

# 1. ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

## *1.1. Короткі теоретичні відомості*

### *1.1.1. Основні поняття і визначення*

Вимірюванням називається знаходження фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів.

Результат вимірювання є значення фізичної величини, знайдене шляхом її вимірювання.

Наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності, а також способи досягнення необхідної точності називається метрологією.

Під єдністю вимірювань розуміють такий стан вимірювань, при якому їх результати виражені у вказаних одиницях і погрішності вимірювань відомі із заданою вірогідністю. Єдність вимірювань необхідна для забезпечення можливості зіставлення результатів вимірювань виконаних в різних місцях, в різний час, з використанням різних методів і засобів вимірювань.

Вимірювання здійснюються за допомогою технічних засобів вимірювань, які діляться на заходи, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні прилади, вимірювальні установки і вимірювальні системи.

Міра - засіб вимірювань, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру.

Вимірювальний перетворювач - засіб вимірювань для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки або зберігання, але що не піддається непослідовному сприйняттю спостерігачем.

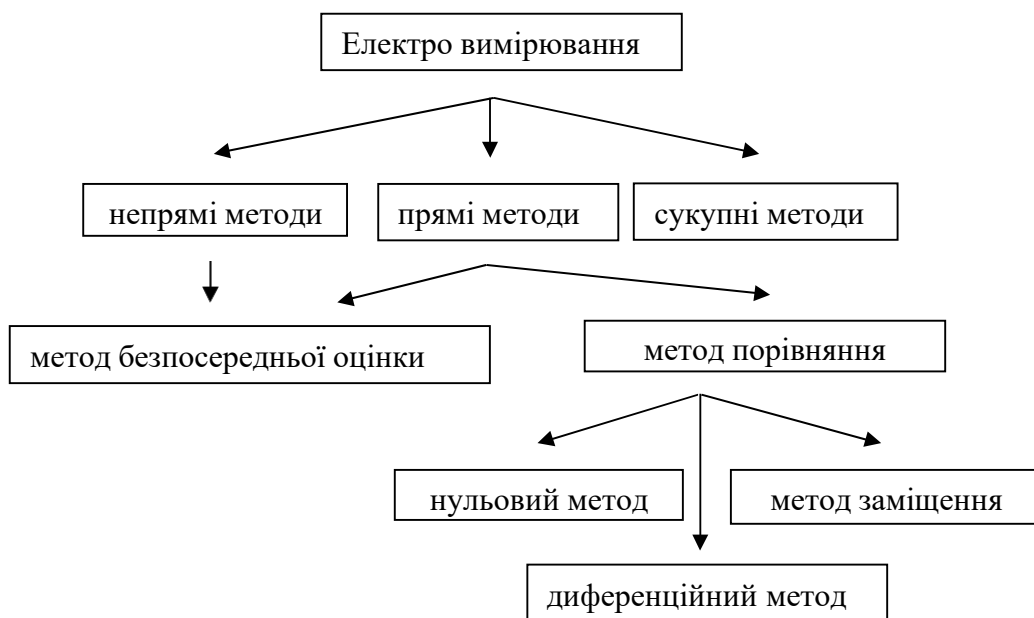
Електричний датчик - це один або декілька вимірювальних перетворювачів, які призначені для перетворення вимірюваної неелектричної величини в електричну.

Вимірювальний прилад - засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

Вимірювальна установка - сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань, призначена для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для безпосереднього сприйняття спостерігачем і розташована в одному місці.

### 1.1.2. Класифікація методів вимірювань

Зміряти дану величину - означає визначити методом фізичного експерименту, скільки разів міститься в ній інша величина такого ж роду, прийнята за одиницю.



Прямі вимірювання - це такі вимірювання, при яких безпосередньо вимірюють величину, що цікавить, за допомогою приладів (вимірювання сили струму -  $I$ , напруга  $U$ ).

Непрямі вимірювання - це такі вимірювання, при яких вимірювану величину обчислюють за наслідками прямих вимірювань інших величин, пов'язаних з вимірюваною величиною відомою математичною залежністю (наприклад, змірявши силу струму  $I$  і напруга  $U$ , обчислимо потужність  $P = IU$ )

Сукупні вимірювання проводяться одночасно над декількома однойменними величинами, причому шукані значення величин знаходять рішенням системи рівнянь, отриманих при прямих вимірюваннях різних поєднань цих величин (наприклад, знаходження опорів двох резисторів за наслідками вимірювання опору послідовного і паралельного з'єднання цих резисторів, означає опір знаходять з системи двох рівнянь).

Метод безпосередньої оцінки. Вимірювану величину визначають за показаннями одного або декількох приладів, проградуєваних в одиницях вимірюваних величин.

Методи порівняння. Вимірювану величину порівнюють з мірою, при цьому застосовують також вимірювальний прилад, проте він не вимірює безпосередньо шукану величину. До методів порівняння відносяться:

- нульовий метод, при якому дія вимірюваної величини зрівноважується відомою величиною (мірою), при цьому вимірювальний прилад, включений в ланцюг, показує нуль (вимірювальні мости  $R$ ,  $L$ ,  $M$ );

- диференціальний метод, при якому на вимірювальний прилад впливає різниця між вимірюваною величиною і відомою, відтворюючою мірою. На відміну від нульового методу в цьому випадку вимірювана величина врівноважується не повністю. Точність методу підвищується при зменшенні різниці між вимірюваною і відомою величинами;

- метод заміщення, при якому на вимірювану величину заміщають відомою регульованою величиною (мірою) такого ж роду, підбираючи її так, щоб не змінювалися показання приладу в ланцюзі (наприклад, визначення ємкості конденсатора, включеного в коливальний контур, добиваються резонансу, а потім замість конденсатора з невідомою ємкістю  $C_x$  включають змінний конденсатор і знов добиваються резонансу зміною значення ємності  $C_o$  утворюючи кінцевий результат  $C_x = C_o$ );

### *1.1.3. Похибки вимірювань*

При будь-яких вимірюваннях із-за недосконалості їх методів, неточності вимірювань приладів і інших чинників виникають похибки, тобто вимірювана величина відрізняється від її дійсного значення, під яким розуміють величину, яка знайдена точнішими методами і приладами.

Алгеброїчна різниця між знайденим  $X$  і дійсним  $X_o$  значенням вимірюваної величини називається абсолютною похибкою вимірювання  $\Delta X = X - X_o$ .

Відносною похибкою вимірювання називається вираз у відсотках відношення абсолютної похибки вимірювання до



дійсного значення вимірюваної величини.

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_0} \cdot 100\% ,$$

Залежно від причин виникнення похибки вимірювань підрозділяють на:

- систематичні, які при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини залишаються незмінними або міняються по цілком певному закону (неточне градуювання шкали, неточна установка стрілки, прилад знаходиться в зоні дії постійних магнітних полів і т.д.);

- випадкові, які не підкоряються якому-небудь закону. Ці погрішності виникають із-за численних, змінних причин випадкового характеру, між якими відсутні взаємні зв'язки (механічні струси, тимчасова відсутність контакту в схемі і т.д.);

- промахи - дуже великі похибки, різко змінюють результати вимірювань. Вони виникають в наслідку несправності вимірювальних приладів, неправильного відліку за шкалою, помилок у вимірювальних схемах і т.д. Результати вимірювань, що містять промахи, не є достовірними і повинні бути виключені.

#### *1.1.4. Основні характеристики вимірювальних приладів*

Функція перетворення - функціональна залежність між вихідною величиною  $y$  і вхідною величиною  $x$ . Може задаватися аналітично, таблично або графічно.

Чутливість - це відношення зміни вихідної величини вимірювального приладу до зміни вхідної величини, що викликала її.

$$S = \frac{dy}{dx} ,$$

Абсолютна похибка приладу.  $\Delta A$  - різниця між свідченням приладу  $A_{зМ}$  і дійсним значенням вимірюваної величини  $A_д$ :

$$\Delta A = A_{зМ} - A_д.$$

Поправка приладу.  $\delta A$  - це абсолютна похибка із зворотнім знаком:  $\delta A = -\Delta A$ . Абсолютна похибка і поправка виражається в тих же одиницях, що і вимірювана величина.

Відносна похибка приладу.  $\gamma$  - це вираз у відсотках абсолютної погрішності  $\Delta A$  до дійсного значення  $A$  вимірюваної величини:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\%.$$

Ступінь точності характеризують приведеною похибкою приладу  $\gamma_n$  під якою розуміють виражене у відсотках відношення абсолютної похибки  $\Delta A$  до верхньої межі вимірювання (номіналу) приладу  $A_H$ .

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_H} \cdot 100\%.$$

Для приладів, з нерівномірною шкалою, приведена похибка визначається залежно від довжини шкали -  $l_{ш}$

$$\gamma = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%,$$

де  $\Delta l$  - довжина відрізка дуги шкали приладу, що лежить між відмітками вимірюваного і дійсного значень вимірювальної величини.

Найбільша приведена похибка, яка допускається для вимірювального приладу по ГОСТу, носить назву похибки, що допускається:

$$\gamma_g = \frac{\Delta A_{найб}}{A_H} \cdot 100\%.$$

Поріг чутливості - це зміна вимірюваної величини, щовикликає найменшу зміну свідчень, що розрізняється при нормальному для цього приладу способі відліку

### 1.1.5. Визначення похибок вимірювань

1.1.5.1. Величина опору була виміряна омметром з нерівномірною шкалою. Довжина шкали  $l_m = 100$  мм. Прилад показав

$R_{3M} = 600$  Ом. Дійсне значення вимірюваного опору  $R_o = 640$  Ом.

Відповідає відмітці за шкалою, що відстає від показаного на  $\Delta l = 1,2$  мм. Визначити приведену погрішність приладу і поправку

при вимірюванні:

1.1.5.2. Приведена похибка приладу:

$$\gamma_i = \frac{\Delta l}{l_o} \cdot 100\% = \frac{1,2}{100} \cdot 100\% = 1,2\%$$

1.1.5.3. Абсолютна похибка приладу:

$$\Delta R = R_{3M} - R_o = 600 - 640 = -40 \text{ Ом},$$

1.1.5.4. Поправка приладу:  $\delta R = -\Delta R = 40$ .

1.1.5.5. Вольтметр з верхньою межею вимірювання напруги  $U_T = 150$ В при включенні в ланцюг показав  $U_{3M} = 63$ В. Показання

зразкового вольтметра, включеного паралельно  $U_o = 60$  В.

Визначити абсолютну, відносну і приведену похибку і поправку приладу:

1.1.5.6. Абсолютна похибка:

$$\Delta U = U_{3M} - U_o = 63 - 60 = 3 \text{ В},$$

### 1.1.5.7. Відносна похибка:

$$\gamma = \frac{\Delta U}{U_o} \cdot 100\% = \frac{3}{60} \cdot 100 = 5\% ,$$

1.1.5.8. Приведена відносна похибка:

$$\gamma_I = \frac{\Delta U}{U_I} \cdot 100\% = \frac{3}{150} \cdot 100 = 2\% ,$$

1.1.5.9. Поправка приладу:

$$\delta U = -\Delta U = 3 .$$

*1.1.6. Визначення найбільших можливих абсолютних та відносних похибок*

Найбільша абсолютна похибка:,  $\Delta A_{HM} = \frac{\pm \gamma_g A_H}{100\%}$ , ( $\gamma_g$  - найбільша

приведена похибка). Величина, що визначає клас точності приладу вказується на його шкалі.

Найбільша можлива відносна похибка:  $\gamma_{HB} = \frac{\gamma_g A_H}{A_{3M}}$ .

Є два (А): класу 1 з межею вимірювання 50А і клас 2,5 з межею вимірювання 15 А. Яким з цих приладів слід застосувати для вимірювання сили струму 10 А, щоб найбільша можлива відносна похибка не перевищувала 4%, і яка при цьому буде найбільша можлива абсолютна похибка?

1.1.6.1. Найбільша можлива відносна похибка при вимірюванні першим амперметром:  $\gamma_{HB1} = \frac{\gamma_{g1} I_{H1}}{I_{3M}} = \frac{1 \cdot 50}{10} = \pm 5\% ,$

1.1.6.2. Найбільша можлива відносна похибка при вимірюванні другим амперметром:  $\gamma_{HB2} = \frac{\gamma_{g2} I_{H1}}{I_{3M}} = \frac{2,5 \cdot 15}{10} = \pm 3,75\% ,$

1.1.6.4. Для вимірювань слід застосувати другий амперметр, оскільки при цьому  $\gamma_{HB} \leq 4\% .$

1.1.6.5. Найбільша можлива абсолютна похибка вимірювання:

$$\Delta A_{HB} = \frac{Y_g I_{H2}}{100\%} = \frac{\pm 2,5 \cdot 15}{100\%} = \pm 0,375A .$$

Отже, вимірювана сила струму 10 А може відрізнятися від дійсної не більше ніж на  $\pm 0,375\%$ . З прикладу виходить, що результатом вимірювання буде точнішим, коли значення вимірюваної величини близьке до межі вимірювання приладу.

### 1.1.7. Визначення найбільших можливих відносних похибок при непрямому методі вимірювань

Хай шукана величина визначається виразом:,  $X = B^n C^m D^k$  :

де  $B, C, D$  - величини отримані при прямих вимірюваннях.

Прологарифмуємо, а потім продиференціюємо даний вираз:

$$\ln X = n \ln B + m \ln C + k \ln D .$$

Замінімо диференціали  $dX, dB, dC, dD$  приростами  $\Delta X, \Delta B, \Delta C, \Delta D$

які можна розглядати як абсолютні похибки

Відносні

$\frac{\Delta X}{X} = n \frac{\Delta B}{B} + m \frac{\Delta C}{C} + k \frac{\Delta D}{D}$

$\gamma_X = n\gamma_B + m\gamma_C + k\gamma_D .$

Для визначення найбільшої можливої абсолютної похибки

$\Delta A_{HB}$  при непрямому вимірюванні необхідно обчислити вимірювану

величину  $\Delta A_{3M}$ .

$$\gamma_{HB} = \frac{\gamma_g A_H}{A_{3M}} \gamma_g A_n = \gamma_{HB} A_{3M} ,$$

$$\Delta A_{HB} = \frac{\gamma_g A_H}{100\%} \Delta A_{HB} = \gamma_{HB} A_{3M} ,$$



## 1.2. Приклади рішення типових задач

*Приклад 1.2.1* Визначити найбільшу відносну і абсолютну похибки при вимірюванні непрямим методом енергії, споживаної ЕД постійного струму за 10 г. його роботи. Підведена напруга 220 В змінна (V) класу точності 1,5 з межею вимірювання 250 В, а сила струму 25А - (A) класу точності 1 з межею вимірювання 50 А. Час зміряний з точністю до 3 хв.

- найбільша можлива відносна похибка вимірювання напруги:

$$\gamma_{HBU} = \frac{\gamma_U A_n}{A_{3M}} = \pm \frac{1,5 \cdot 250}{220} = \pm 1,7\% ,$$

- найбільша можлива відносна похибка вимірювання сила струму:

$$\gamma_{HBI} = \frac{\gamma_I A_n}{A_{3M}} = \pm \frac{1 \cdot 50}{25} = \pm 2,7\% ,$$

- найбільша можлива відносна похибка вимірювання часу:

$$\gamma_t = \frac{\gamma_{moch}}{t_{3M}} 100\% = \frac{3}{600} 100\% = \pm 0,5\% ,$$

- найбільша можлива відносна похибка вимірювання енергії:

$$\gamma_w = \pm(\gamma_{HBU} + \gamma_{HBI} + \gamma_t) = \pm(1,7 + 2,7 + 0,5) = \pm 4,2\% ,$$

- вимірювальна енергія:

$$W_{3M} = U_{3M} \cdot I_{3M} \cdot t_{3M} = 220 \cdot 25 \cdot 10 = 55 \text{ кВт/г},$$

- найбільша абсолютна похибка вимірювання енергії:

$$\Delta W_{HB} = \gamma_w \frac{W}{100} = 4,2 \frac{55}{100} = 2,21 \text{ кВт/г},$$

## 1.3. Завдання до контрольної роботи № 1

Вирішити задачу відповідно до варіанту (номер задачі відповідає номеру варіанта).

1.3.1. Вольтметр класу точності 1,0 з межею вимірювання 300 В має 150 поділок. Повірка було виконано на відмітках 30, 60, 100, 120 і 150 поділок, при цьому абсолютна похибка в цих точках складає 1,8; 0,7; 2,5; 1,2 і 0,8 В. Визначити відповідність приладу вказаному класу точності і відносні похибки на кожній відмітці.

1.3.2. Визначити для вольтметра з межею вимірювання 30 В класу точності 0,5 відносну похибку для точок 10, 15, 20, 25, 30 В і найбільшу абсолютну похибку приладу.

1.3.3. Визначити для амперметра з межею вимірювання 100 А класу точності 1,0 відносну похибку для точок 15, 50, 75, 100 А і найбільшу абсолютну похибку приладу.

1.3.4. Амперметр класу точності 1,0 з межею вимірювання 100 А має 150 поділок. Повірку було виконано на відмітках 30, 60, 100, 120 і 150 поділок, при цьому абсолютна похибка в цих точках складає 1,9; 0,8; 2,4; 1,1 і 0,75 А. Визначити відповідність приладу вказаному класу точності і відносні похибки на кожній відмітці.

1.3.5. Вольтметр з межею вимірювання 7,5 В і максимальним числом поділок 150 має найбільшу абсолютну похибку 36 мВ. Визначити клас точності приладу і відносну похибку в точках 40, 90, 110 і 130 поділок.

1.3.6. Амперметр з межею вимірювання 10 А і максимальним числом поділок 150 має найбільшу абсолютну похибку 40 мА. Визначити клас точності приладу і відносну похибку в точках 40, 90, 110 і 130 поділок.

1.3.7. Міліамперметр з межею вимірювання 300 мА і максимальною кількістю поділок 150 було повірено в точках 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 і 150 поділок. Еталонний прилад вказав

наступні покази (мА): 39,8; 80,1; 120,4; 159,7; 199,5; 240; 279,6; 300,3. Визначити клас точності приладу і побудувати для нього графік поправок (залежність поправки від показу приладу).

1.3.8. При повірці амперметра з межею вимірювання 10 А класу точності 0,5 відносна похибка на відмітці 2 А склала 4,5%. Визначити відповідальність приладу вказаному класу точності, якщо абсолютна похибка у вказаній точці має найбільше значення.

1.3.9. Амперметр класу точності 1,5 має 100 поділок. Ціна поділки 0,5 А. Визначити межу вимірювання приладу, найбільшу абсолютну похибку і відносну похибку в точках 10, 30, 50, 70 і 90 поділок.

1.3.10. Амперметр класу точності 2,5 має 100 поділок. Ціна поділки 0,5 А. Визначити межу вимірювання приладу, найбільшу абсолютну похибку і відносну похибку в точках 15, 35, 60, 75 і 95 поділок.

1.3.11. Мілівольтметр магнітоелектричної системи класу точності 0,5 з межами вимірювань 3;1,5; 0,6; 0,3; 0,15 В має 150 поділок. Визначити для кожної межі найбільше і найменше значення напруг в точці, яка відповідає 40 поділкам.

1.3.12. Визначити клас точності мікроамперметра з номінальним струмом 100 мкА, якщо найбільше значення абсолютної похибки отримано на відмітці 40 мкА і дорівнює 1,7 мкА. Визначити відносну похибку приладу для цього значення.

1.3.13. Визначити найбільшу відносну і абсолютну похибки при вимірюванні непрямим методом енергії, яка споживається електродвигуном постійного струму за 5 годин його роботи. Напругу живлення двигуна 110 В було виміряно вольтметром класу

точності 2,5 з межею вимірювання 150 В, а сила струму 15 А – амперметром класу точності 1,5 з межею вимірювання 50 А. Час визначено з точністю до 2 хвилин.

1.3.14. Є два вольтметри: класу точності 1,5 з межею вимірювання 250 В і класу 2,5 з межею вимірювання 200 В. Який з цих приладів необхідно використати для вимірювання напруги 170 В і яка при цьому буде найбільша можлива абсолютна похибка?

1.3.15. Визначити найбільшу відносну і абсолютну похибки при вимірюванні непрямим методом потужності за допомогою амперметра та вольтметра. Напругу 80 В було виміряне вольтметром класу точності 2,5 з межею вимірювання 150 В, а сила струму 7 А – амперметром класу точності 1,5 з межею вимірювання 15 А.

1.3.16. Визначити найбільшу відносну і абсолютну похибки при вимірюванні непрямим методом потужності за допомогою омметра і амперметра. Опір 100 Ом було виміряне омметром класу точності 2,5, з межею вимірювання 1000 Ом; сила струму 22 А – амперметром класу точності 1,5 з межею вимірювання 25 А.

1.3.17. Для вольтметра класу точності 1,5 з межею вимірювання 300 В який має 150 поділок було виконано перевірку на відмітках 40, 70, 110, 130 і 150 поділок. Абсолютна похибка в цих точках складає 1,8; 0,7; 2,5; 1,2 і 0,8 В. Визначити відповідність приладу вказаному класу точності і відносні похибки на кожній відмітці.

1.3.18. Для вольтметра з межею вимірювання 50 В класу точності 1,0 визначити відносну похибку для точок 20, 30, 40, 50 В і найбільшу абсолютну похибку приладу.

1.3.19. Визначити для амперметра з межею вимірювання 50 А класу точності 0,5 відносну похибку для точок 25, 30, 45, 50 А і найбільшу абсолютну похибку приладу.

1.3.20. Амперметр класу точності 1,5 з межею вимірювання 100 А має 150 поділок. Повірку було виконано на відмітках 40, 60, 110, 130 і 150 поділок, при цьому абсолютна похибка в цих точках складає 1,8; 0,81; 2,39; 1,11 і 0,76 В. Визначити відповідальність приладу вказаному класу точності і відносні похибки на кожній відмітці.

1.3.21. Вольтметр з межею вимірювання 10 В і максимальним числом поділок 150 має найбільшу абсолютну похибку 41 мВ. Визначити клас точності приладу і відносну похибку в точках 45, 95, 110 і 140 поділок.

1.3.22. Амперметр з межею вимірювання 15 А і максимальним числом поділок 100 має найбільшу абсолютну похибку 40 мА. Визначити клас точності приладу і відносну похибку в точках 30, 70, 90 і 100 поділок.

1.3.23. При повірці амперметра з межею вимірювання 15 А класу точності 1,5 відносна похибка на відмітці 4 А склала 4,5%. Визначити відповідність приладу вказаному класу точності, якщо абсолютна похибка у вказаній точці має найбільше значення.

1.3.24. Вольтметр класу точності 1,5 має 100 поділок. Ціна поділки 0,5 В. Визначити межу вимірювання приладу, найбільшу абсолютну похибку і відносну похибку в точках 10, 30, 50, 70 і 90 поділок.

1.3.25. Вольтметр класу точності 2,0 має 150 поділок. Ціна по

ділки 1 В. Визначити межу вимірювання приладу, найбільшу абсолютну похибку і відносну похибку в точках 35, 65, 80, 95 і 145 поділок.

1.3.26. Мілівольтметр магнітоелектричної системи класу точності 1,0 з межами вимірювань 3; 1,5; 0,6; 0,3; 0,15 В має 150 поділок. Визначити для кожної межі найбільше і найменше значення напруг в точці, яка відповідає 40 поділкам.

1.3.27. Визначити найбільшу відносну і абсолютну похибки при вимірюванні непрямим методом енергії, яка споживається електродвигуном постійного струму за 15 годин його роботи. Напругу живлення двигуна 210 В було виміряно вольтметром класу точності 2,5 з межею вимірювання 150 В, а сила струму 12 А – амперметром класу точності 1,5 з межею вимірювання 50 А. Час визначено з точністю до 3 хвилин.

1.3.28. Є два вольтметри: класу точності 0,5 з межею вимірювання 250 В і класу 2,5 з межею вимірювання 150 В. Який з цих приладів необхідно використати для вимірювання напруги 120 В і яка при цьому буде найбільша можлива абсолютна похибка?

1.3.29. Визначити найбільшу відносну і абсолютну похибки при вимірюванні непрямим методом потужності за допомогою амперметра та вольтметра. Напругу 60 В було виміряно вольтметром класу точності 1,5 з межею вимірювання 150 В, а сила струму 8 А – амперметром класу точності 2,5 з межею вимірювання 15 А.

1.3.30. Визначити найбільшу відносну і абсолютну похибки при вимірюванні непрямим методом потужності за допомогою омметра і амперметра. Опір 110 Ом було виміряно омметром класу

точності 1,5, з межею вимірювання 1000 Ом; сила струму 20 А – амперметром класу точності 1,0 з межею вимірювання 25 А.

## **2. РОЗШИРЕННЯ МЕЖІ ВИМІРЮВАННЯ ПРИЛАДІВ БЕЗПОСЕРЕДНЬОЇ ОЦІНКИ**

### **2.1. Короткі теоретичні відомості**

В будь-якому приладі електровимірювання повний поворот його рухомої частини, при якому вказівна стрілка відхиляється до правої крайньої відмітки шкали, відбувається при певній силі струму, що протікає через прилад. Цю силу струму називають струмом повного відхилення стрілки, або номінальним струмом приладу.

В приладах магнітоелектричної системи струм повного відхилення стрілки має дуже невелику величину (від 0,5 до 30 мА для вольтметрів і декілька десятків міліамперів для амперметрів). Тому для вимірювання струмів і напруг, що перевищують вказані значення, застосовують пристосування, що дозволяють розширити межі вимірювання.

Для розширення меж вимірювання приладів магнітоелектричної системи по струму застосовуються шунти, а за напругою — додаткові резистори.

#### *Шунти, їх розрахунок*

Шунт є чотирьох затискним резистором, величина опору якого значно менше опору рамки вимірювального механізму. Його включають послідовно в ланцюг, що вимірюється. Паралельно шунту приєднують вимірювальний механізм (рис. 2.1. а). В такому



з'єднанні вимірювальний прилад (амперметр) використовується для вимірювання сили струму.

Для включення шунта в ланцюг, що виміряється, служать масивні затискачі  $T$  і  $T'$  так звані струмовими. Перехідні контактні опори цих затисків додаються до власного опору шунта. Перехідні опори нестійкі і не можуть бути точно враховані. Для виключення впливу їх на свідчення приладу вимірника приєднують до шунта за допомогою потенційних затискачів  $\Gamma$  і  $\Gamma'$ . Вони завжди розташовуються всередині між струмовими затискачами.

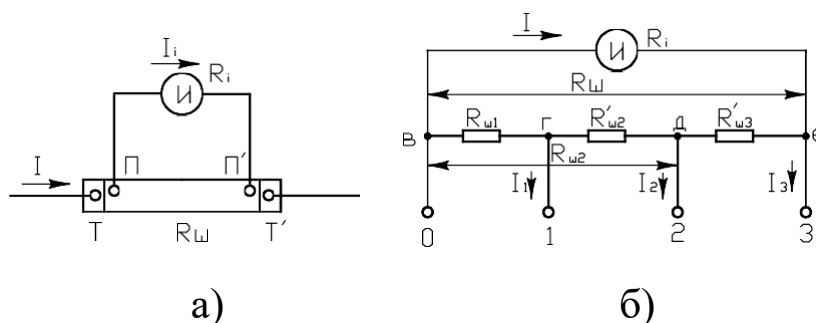


Рис. 2.1. Приєднання вимірювальних механізмів до шунтів При такому включенні опір шунта між потенційними затискачами не залежить від перехідних опорів струмових затискачів, завдяки чому виключається вплив перехідного опору струмових затисків на свідчення приладу.

Для виводу розрахункової формули, що визначає опір шунта  $R_{ш}$ , спочатку знаходять падіння напруги  $U_{\Pi}$  між точками  $\Pi$  і  $\Pi'$  підключення вимірника.

Позначивши струм, що виміряється  $I$ , струм повного відхилення стрілки  $I_i$ , опір приладу  $R_i$  знаходять падіння напруги на паралельному з'єднанні приладу і шунта

$$U_{\Pi} = I R_{ш} = I_i \frac{R_{ш} R_i}{R_{ш} + R_i}$$

Скоротивши ліву і праву частини рівності на  $R_i$  і перетворивши його, отримаємо

$$R_{ш} \left( \frac{I}{I_i} - 1 \right) = R_i.$$

В рівності відношення  $\frac{I}{I_i} = n$  називають шунтуючим множителем. Ця величина показує, в скільки разів розширяється межа вимірювання приладу по струму. Підставивши шунтуючий множник у формулу, одержують остаточний вираз, по якому визначають опір шунта;

$$R_{ш} = R_i \cdot (n - 1),$$

Приведений розрахунок дозволяє визначити опір одного граничного шунта. Проте в практиці дуже часто застосовуються багатомежеві прилади – міліамперметри, амперметри, що допускають вимірювання різної сили струму на різних межах. Одна з можливих схем багатомежевого амперметра зображена на рис. 2.1. б. Затискач 0 є загальним при всіх вимірюваннях. Решта затискачів використовується залежно від заданої межі вимірювання сили струму. Найбільша межа вимірювання буде у приладу, включеного в ланцюг за допомогою затискачів 0-1, і найменша межа — 0-3.

Розрахунок всього опору шунта між точками  $a$  і  $e$  і опори ділянки шунта  $R_{ш1}$  визначаються по формулі. Позначивши опір всього шунта  $R_{ш3}$  (між точками  $a$  і  $e$ ), опір ділянки шунта між точками  $a$  і  $c$  —  $R_{ш1}$  опір приладу  $R_i$  і шунтуючий множник ділянки

шунта  $n_1$  підставляють їх у формулу

$$R_{ш} = \frac{R_i + (R_{ш3} - R_{ш1})}{n_1 - 1},$$

Вирішуючи написану рівність щодо  $R_{ш1}$ , отримаємо:

$$R_{ш1} = \frac{R_i + R_{шз}}{n_1}.$$

Оскільки сума  $R_i + R_{шз}$  при розрахунку будь-якої ділянки шунта залишається незмінною, її можна замінити величиною  $R$ , так званою постійним опором контуру. При цьому остаточний вид формули спрощується  $R_{ш1} = R | n_1$ :

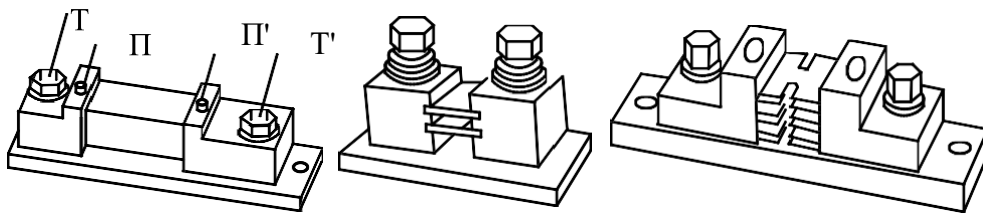


Рис.2.2. Зовнішній вид шунтів

Отже, для визначення величини опору будь-якої ділянки багатомежевого шунта необхідний опір контуру розділити на шунтуючий множник даної ділянки шунта.

Шунти виготовляються з манганинового дроту, стрічки або стрижнів, укріплених між масивними наконечниками, на яких є струмові і потенційні затиски. Деякі з них показані на рис. 2.2. Шунти можуть встановлюватися усередині приладу, якщо прилад розрахований на вимірювання невеликої сили струму (звичайно до 100 А). Зовнішні шунти застосовуються з приладами, що вимірюють великі сили струму. Вони підрозділяються на індивідуальні і взаємозамінні (що калібруються).

Індивідуальний шунт застосовують тільки з тим приладом, який градувався з даним шунтом. Взаємозамінний шунт можна застосовувати з будь-яким приладом, межа вимірювання якого (по напрузі) рівна падінню напруги, вказаному на шунті. Номінальні

падіння напруги на взаємозамінних шунтах згідно ГОСТ 8042—61

можуть бути 60 або 75 мВ (ГОСТ 8042—56 допусків 45, 75, 100 і 150 мВ). Залежно від точності їх підгонки підрозділяють на класи: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5. Числа позначають допустиме відхилення величини опору шунта у відсотках від його номінального значення. Вимірювальний прилад приєднують до шунта за допомогою спеціальних дротів, опір яких 0,035 Ом при температурі 20° С.

## 2.2. Приклади рішення типових задач

Приклад 2.2.1. Розрахувати опір шунта до амперметра з номінальним струмом 0,5 А і внутрішнім опором 1,99 Ом для розширення межі вимірювання сили струму до 100 А (див. рис; 2.1, а).

Рішення.

1. Визначаємо шунтуючий множник:

$$n = I / I_i = 100 / 0,5 = 200 .$$

2. Обчислюємо опір шунта:

$$R_{III} = R_i / (n - 1) = 1,99 / (200 - 1) = 0,01 \text{ Ом}.$$

Приклад 2.2.2. Визначити номінальний струм амперметра з внутрішнім опором 0,57 Ом і струмом повного відхилення стрілки, рівним 5 А, якщо його підключити до шунта з опором 0,03 Ом.

Решение.1. Визначаємо величину шунтуючого множника з формули:

$$R_{III} = \frac{R_i}{n - 1}; \quad n = \frac{R_i - R_{III}}{R_{III}} = \frac{0,57 - 0,03}{0,03} = 20 .$$

2. Обчислюємо номінальний струм приладу з шунтом:

$$I_i = n \dots I = I_i n = 5 \cdot 20 = 100 \text{ A.}$$

Приклад 2.2.3. Розрахувати величини опорів ділянок багатомежевого шунта (див. рис. 2.1. б);  $R_{ш1}$ ,  $R_{ш2}$ ,  $R_{ш3}$ , для вимірювання граничних значень сили струму 1А; 5А і 50А, якщо до шунта підключений магнітоелектричний вимірювальний механізм з опором рамки 4,9 Ом і струмом повного відхилення стрілки, рівним 20 мА.

Рішення. 1. Визначаємо шунтуючі множники для кожної межі вимірювань сили струму:

$$n_1 = \frac{I_1}{I_i} = \frac{50}{0,02} = 2500; \quad n_2 = \frac{I_2}{I_i} = \frac{5}{0,02} = 250;$$

$$n_3 = \frac{I_3}{I_i} = \frac{1}{0,02} = 50;$$

2. Обчислюємо величину опору контуру всього шунта  $R_{ш3}$ :

$$R_{ш3} = R_{ш1} + R'_{ш2} + R'_{ш3} = \frac{R_i}{n_3 - 1} = \frac{4,9}{50 - 1} = 0,1 \text{ Ом}$$

3. Обчислюємо величину опору контуру:

$$R = R_{ш3} + R_i = 0,1 + 4,9 = 5 \text{ Ом.}$$

4. Визначаємо величину опору шунта  $R_{ш2}$  на ділянці  $\delta - \epsilon$ :

$$R_{ш2} = \frac{R}{n_2} = \frac{5}{250} = 0,02 \text{ Ом}$$

5. Обчислюємо величину опору ділянки шунта  $R_{ш1}$ :

$$R_{ш1} = \frac{R}{n_1} = \frac{5}{2500} = 0,002 \text{ Ом.}$$

6. Знаходимо величину опору ділянки шунта  $R'_{ш2}$ :

$$R'_{ш2} = R_{ш2} - R_{ш1} = 0,02 - 0,002 = 0,018 \text{ Ом.}$$

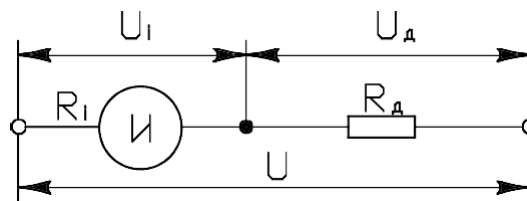


7. Обчислюємо величину опору ділянки шунта  $R'_{\emptyset 3}$ ;

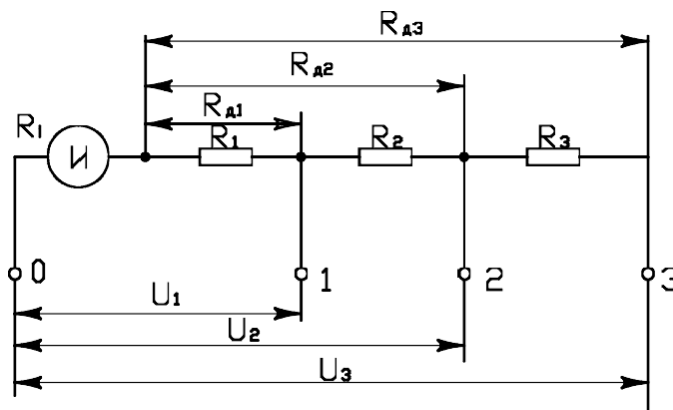
$$R_{ш3} = R_{ш3} - R_{ш3} = 0,1 - 0,02 = 0,08 = 0,1 \text{ Ом.}$$

### Додаткові резистори, їх розрахунок.

Для вимірювання напруг, що перевищують напругу, на яку розрахований вимірювальний механізм (або прилад), послідовно з ним включають додатковий резистор. В цьому випадку частина вимірюємої напруги падає на опір вимірювального механізму (або приладу), решта частини – на додатковому резисторі.



а)



б)

Рис. 2.3. З'єднання вимірювальних механізмів з додатковими резисторами

Величину опору додаткового резистора визначають залежно від даних вимірювального механізму і необхідної межі вимірювання напруги. Позначивши величину необхідної межі вимірювання напруги  $U$ , величину напруги, при якій стрілка вимірника відхиляється до кінця шкали  $U_i$ , опір рамки вимірника  $R_i$  і величину опору резистора  $R_d$ , обчислюють силу струму  $I$  в ланцюзі приладу

$$I = \frac{U}{R_i + R_o} = \frac{U_i}{R_i},$$

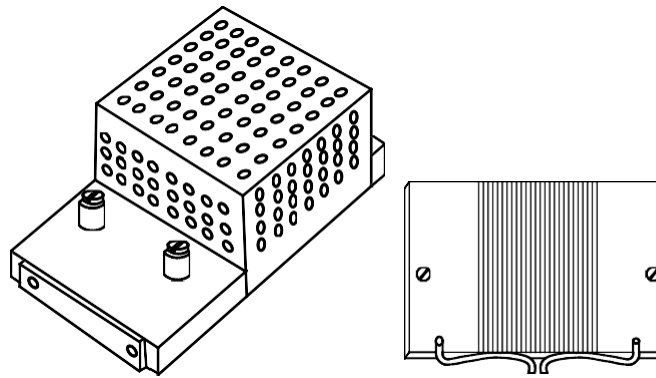


Рис. 2.4. Зовнішній вигляд додаткових резисторів

Вирішуючи рівність відносно  $R_o$ , визначають його величину

$$R_o = R_i \left( \frac{U}{U_i} - 1 \right) = R_i (m - 1).$$

У виразі відношення  $\frac{U}{U_i} = m$  називають множителем

додаткового резистора, що показує, в скільки разів збільшується межа вимірювання приладу по напрузі. По формулі розраховується додатковий резистор, величина опору якого, як випливає з формули, значно більше величини опору рамки приладу.

Серед сучасних вольтметрів магнітоелектричної системи дуже часто зустрічаються багатомезеві вольтметри, у яких додатковий резистор складається з ділянок (рис. 2.3. б)  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_3$ . В цьому випадку розраховують спочатку додатковий резистор  $R_{o1} = R_1$  першої межі вимірювання напруги  $U_1$ . Потім обчислюють  $R_{o2}$  і, вирахувавши з результату величину  $R_{o1}$ , одержують опір ділянки  $R_2$ .

В такій же послідовності визначають опори решти ділянок додаткового резистора.

Додаткові резистори (рис. 2.4.) виготовляють з манганінового ізолюваного дроту, намотуючи її біфілярно на секціоновані каркаси у вигляді котушок або на пластини з ізоляційного

матеріалу. Їх встановлюють усередині корпусу приладу у вольтметрах на номінальну напругу до 600 В.

Зовнішні додаткові резистори поміщають в закритий корпус (рис. 2.4.). Вони подібно шунтам можуть бути індивідуальними і взаємозамінними (що калібруються). Взаємозамінні додаткові резистори діляться на класи: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 1,0. Їх виготовляють на номінальні струми 0,01; 0,02; 0,05- 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 7,5 мА.

Резистори можна застосовувати з будь-яким приладом, у якого струм повного відхилення стрілки відповідає номінальному струму взаємозамінного резистора.

Приклад 2.2.2. Визначити номінальну напругу  $U$  вольтметра (див. рис. 2.3. а), у якого опір рамки вимірювального механізму рівно 30 Ом, струм повного відхилення стрілки складає 10 мА, Послідовно з вимірювальним механізмом включений додатковий резистор з опором 29970 Ом

Рішення. 1. Визначаємо напругу на рамці вимірювального механізму при струмі повного відхилення стрілки

$$U_i = R_i I_i = 30 \cdot 0,01 = 0,3 \text{ В.}$$

2. Знаходимо значення  $m$  — множника додаткового резистора

$$R_{\partial} = R_i (m - 1); m = \frac{R_{\partial}}{R_i} + 1 = \frac{29970}{30} + 1 = 1000.$$

3. Визначаємо номінальну напругу вольтметра:

$$U | U_i = m; U = m U_i = 1000 \cdot 0,3 = 300 \text{ В.}$$

Приклад 2.2.3. Розрахувати опір  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ділянок додаткового резистора  $R_{\partial 3}$ , багатомежевого вольтметра (див. рис.

2.3.б) і потужності, споживані приладом на кожній межі

вимірювання, якщо опір рамки вимірювального механізму рівно 50 Ом, струм повного відхилення стрілки складає 5 мА, межі вимірювання 5, 30 і 150 В.

Рішення. 1. Визначаємо напругу повного відхилення стрілки вимірювального механізму:

$$U_i = R_i I_i = 50 \cdot 0,05 = 0,25 \text{ В.}$$

2. Обчислюємо множники  $m_1$ ,  $m_2$  і  $m_3$  додаткових резисторів для кожної межі вимірювання і напруги:

$$m_1 = \frac{U_1}{U_i} = \frac{5}{0,25} = 20; \quad m_2 = \frac{U_2}{U_i} = \frac{30}{0,25} = 120 \quad m_3 = \frac{U_3}{U_i} = \frac{150}{0,25} = 600.$$

3. Обчислюємо опір резистора  $R_1$ :

$$R_1 = R_{\partial 1} = R_i(m - 1) = 50(20 - 1) = 950 \text{ Ом.}$$

4. Обчислюємо опір резистора  $R_2$ :

$$R_2 = R_{\partial 2} - R_{\partial 1} = R_i(m_2 - 1) - R_{\partial 1} = 50(120 - 1) - 950 = 5000 \text{ Ом.}$$

5. Знаходимо опір резистора  $R_3$ :

$$R_3 = R_{\partial 3} - R_{\partial 2} = R_i(m_3 - 1) - R_{\partial 2} = 50(600 - 1) - 5950 = 24000 \text{ Ом.}$$

6. Обчислюємо потужності, споживані приладом на кожній межі вимірювання:

$$R_1 = U_1 I = 5 \cdot 0,005 = 0,025 \text{ Вт.}$$

$$R_2 = U_2 I = 30 \cdot 0,005 = 0,15 \text{ Вт.}$$

$$R_3 = U_3 I = 150 \cdot 0,005 = 0,725 \text{ Вт.}$$

*Температурна компенсація.*

Температура зовнішнього середовища впливає на роботу приладу електровимірювання. Особливо позначається вплив

температури на опір провідників, що створюють електричний ланцюг приладу.



У разі включення магнітоелектричного вимірювального приладу - мікроамперметра або міліамперметра - без шунта в ланцюг струм проходить по рамці приладу і зміна опору мідної обмотки рамки практично не впливає на величину струму, залежного від опору всього ланцюга. Якщо ж прилад включається з шунтом (амперметр), та зміна температури приводить до зміни опору мідної обмотки рамки (температурний коефіцієнт міді  $\alpha_{lm} = 0,44\%$ ) Опір манганинового шунта (температурний коефіцієнт  $\alpha_{m.n} \approx 0$ ) практично залишається постійним. Тому відбувається зміна розподілу струмів в паралельних гілках, отже, змінюється шунтуючий множник і виникає погрішність в свідченнях приладу.

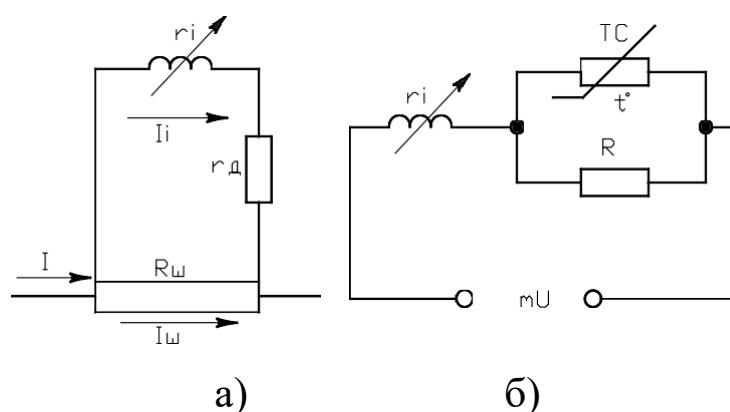


Рис. 2.5. Схеми температурної компенсації

Для усунення погрішностей унаслідок впливу температури в магнітоелектричних амперметрах послідовно з рамкою вимірювального механізму включають додатковий резистор  $r_0$  (рис. 2.5. а), виконані з манганинового дроту. Завдяки цьому відносна зміна опору ланцюга рамки вимірника в порівнянні з опором ланцюга шунта зменшується. Отже, зменшується і відносна зміна струму  $I_i$ , протікаючого в ланцюзі рамки приладу порівняно із

струмом  $I_w$  шунта. Таке включення додаткового резистора називають температурною компенсацією.

Схеми температурної компенсації можуть бути і більш складні залежно від класу точності і призначення вимірювального приладу. У вольтметрах, як було розглянуто вище, застосовуються додаткові резистори з манганинового дроту. Вони одночасно з розширенням меж вимірювання забезпечують достатню температурну компенсацію.

В сучасних мілівольтметрах невисокого класу точності застосовують термокомпенсатори (рис. 2.5. б). Термокомпенсатор складається з напівпровідникового термоопору  $T_0$  і резистора  $R$  з манганіна, сполучених між собою паралельно і включених послідовно з приладом. Така схема має майже лінійну залежність від температури у межах  $20 \pm 10^\circ\text{C}$  і забезпечує надійну температурну компенсацію.

### **2.3. Завдання до контрольної роботи № 2**

Вирішити задачу відповідно до варіанту (номер задачі відповідає номеру варіанта).

2.3.1. Необхідно виміряти струм приймача у межах 20 - 25 А. Є мікроамперметр з межею вимірювання 200 мкА, внутрішнім опором 300 Ом і максимальною кількістю поділок 100. Визначити опір шунта для розширення межі вимірювання до 30 А і відносну похибку вимірювання на відмітці 80 поділок. Якщо клас точності приладу 1,0.

2.3.2. Межа вимірювання мікроамперметра на 150 мкА повинна бути розширена до 15 А. Визначити опір шунта, якщо його

внутрішній опір дорівнює 400 Ом. Визначити клас точності приладу, якщо найбільше значення абсолютної похибки приладу 100 мА.

2.3.3. Для розширення межі виміру амперметра з внутрішнім опором 0,5 Ом у 50 разів необхідно підключити шунт. Визначити опір шунта, струм повного відхилення стрілки і максимальне значення струму на розширеної межі, якщо падіння напруги на шунті 75 мВ.

2.3.4. Амперметр з внутрішнім опором 0,015 Ом і межею вимірювання 20 А має шунт опором 0,005 Ом. Визначити межу вимірювання амперметра з шунтом, а також струм у колі, якщо показання амперметра складає 12 А.

2.3.5. Магнітоелектричний прилад з опором 10 Ом і струмом повного відхилення 7,5 мА може бути використаний у якості амперметра на 30 А. Визначити опір шунта.

2.3.6. Амперметр з шунтом, опір якого 0,005 Ом, розрахований на межу виміру 60 А, його внутрішній опір 15 Ом. Визначити струм повного відхилення вимірювальної котушки приладу.

2.3.7. Амперметр класу точності 1,5 з межею вимірювання 100 А має шунт з опором 0,001 Ом. Визначити опір вимірювальної котушки приладу, якщо струм повного відхилення 25 мА. Визначити також найбільшу абсолютну і відносну похибки вимірювання наступних значень струмів: 20, 30, 80 А.

2.3.8. Мілівольтметр з межею вимірювання 75 мВ і внутрішнім опором 25 Ом має 150 поділок шкали. Визначити опір

шунта, щоб приладом можна було виміряти межове значення струму 30 А. Визначити ціну поділки у двох випадках.

2.3.9. Є багатомежовий амперметр при шунтуючому добутку 100А має межу 2,5 А і падіння напруги на його затискачах при струмі повного відхилення 75 мВ. Визначити опір шунтів і межі вимірювання при наступних коефіцієнтах шунтування: 200, 1000, 3000, 5000.

2.3.10. Амперметр класу точності 1,0 з межею вимірювання 100 А має шунт з опором 0,001 Ом. Визначити опір вимірювальної котушки приладу, якщо струм повного відхилення 25 мА. Визначити також найбільшу абсолютну і відносну похибки вимірювання наступних значень струмів: 25, 50, 75 А.

2.3.11. При шунтуючому добутку 100А багатомежовий амперметр має межу 2,5 А і падіння напруги на його затискачах при струмі повного відхилення 75 мВ. Визначити опір шунтів і межі вимірювання при наступних коефіцієнтах шунтування: 300, 2000, 4000, 6000.

2.3.12. Розрахувати опори ділянок додаткового резистора вольтметра з трьома межами і потужності, які споживаються приладом на кожній межі, якщо опір рамки вимірювального механізму дорівнює 50Ом, струм повного відхилення стрілки складає 5 мА, межа вимірювання 5, 30 і 150 В.

2.3.13. Мікроамперметр з межею вимірювання 1000 мкА і внутрішнім опором 300 Ом необхідно використати у якості вольтметра на межу 30 В. Визначити додатковий опір.

2.3.14. Мілівольтметр з межею вимірювання 750 мВ необхідно використати у якості багатомежового вольтметра з межами 7,5; 15;

75; 150 В. Додатковий опір на міді 7,5 В складає 1350 Ом. Визначити додатковий опір на кожній з меж, а також опір приладу і струм повного відхилення стрілки.

2.3.15. У вольтметра електродинамічної системи з межею вимірювання 300 В і внутрішнім опором 30 кОм необхідно розширити межу до 1500 В. Визначити додатковий опір вольтметра і максимальну потужність, що споживається на основній і розширеній межі.

2.3.16. Межа вимірювання вольтметра електромагнітної системи складає 7,5 В при внутрішньому опорі 200 Ом. Визначити додатковий опір, який необхідно увімкнути для розширення межі вимірювання до 600 В.

2.3.17. Розрахувати величини опорів ділянок шунта з двома межами для вимірювання номінальних струмів 50 і 100 А, якщо до шунта підключений магнітоелектричний вимірювальний механізм з опором рамки 5,9 Ом і струмом повного відхилення, який дорівнює 30 мА.

2.3.18. Для вимірювання напруги джерела 350 В використали два послідовно увімкнений вольтметра з межами 300 і 250 В і з внутрішніми опорами відповідно 7 і 3 кОм. Визначити покази приладів, максимальну абсолютну і відносну похибки, якщо прилади мають клас точності 0,5.

2.3.19. Межа вимірювання вольтметра магнітоелектричної системи складає 7,5 В при внутрішньому опорі 190 Ом. Визначити додатковий опір, який необхідно увімкнути для розширення межі вимірювання до 500 В.

2.3.20. Необхідно виміряти струм приймача у межах 35 - 45 А. Є мікроамперметр з межею вимірювання 250 мкА, внутрішнім опором 320 Ом і максимальною кількістю поділок 100. Визначити опір шунта для розширення межі вимірювання до 50 А і відносну похибку вимірювання на відмітці 80 поділок. Якщо клас точності приладу 1,0.

2.3.21. Визначити номінальну напругу вольтметра у якого опір рамки вимірювального механізму дорівнює 30 Ом, струм повного відхилення стрілки складає 10 мА. Послідовно з вимірювальним механізмом увімкнено додатковий резистор з опором 29970 Ом.

2.3.22. Межа вимірювання мікроамперметра на 200 мкА повинна бути розширена до 20 А. Визначити опір шунта, якщо його внутрішній опір дорівнює 350 Ом. Визначити клас точності приладу, якщо найбільше значення абсолютної похибки приладу 90 мА.

2.3.23. Розрахувати величини опорів ділянок шунта з трьома межами для вимірювання номінальних струмів 5, 10 і 60 А, якщо до шунта підключений магнітоелектричний вимірювальний механізм з опором рамки 4,9 Ом і струмом повного відхилення, який дорівнює 20 мА.

2.3.24. Для розширення межі виміру амперметра з внутрішнім опором 0,6 Ом у 60 разів необхідно підключити шунт. Визначити опір шунта, струм повного відхилення стрілки і максимальне значення струму на розширеної межі, якщо падіння напруги на шунті 70 мВ.

2.3.25. Амперметр з внутрішнім опором 0,012 Ом і межею вимірювання 25 А має шунт опором 0,006 Ом. Визначити межу

вимірювання амперметра з шунтом, а також струм у колі, якщо показ амперметра складає 11 А.

2.3.26. Електромагнітний прилад з опором 11 Ом і струмом повного відхилення 7,5 мА може бути використаний у якості амперметра на 50 А. Визначити опір шунта.

2.3.27. Визначити номінальний струму амперметра з внутрішнім опором 0,56 Ом в струмом повного відхилення стрілки, який дорівнює 10 А, якщо його підключити до шунта з опором 0,04 Ом.

2.3.28. Розрахувати опори ділянок додаткового резистора вольтметра з двома межами і потужності, які споживаються приладом на кожній межі, якщо опір рамки вимірювального механізму дорівнює 45 Ом, струм повного відхилення стрілки складає 6 мА, межа вимірювання 50 і 250 В.

2.3.29. Межа вимірювання мікроамперметра на 250 мкА повинна бути розширена до 20 А. Визначити опір шунта, якщо його внутрішній опір дорівнює 350 Ом. Визначити клас точності приладу, якщо найбільше значення абсолютної похибки приладу 100 мА.

2.3.30. Для вольтметра з опором рамки вимірювального механізму 40 Ом і струмом повного відхилення стрілки 10 мА, необхідно визначити номінальну напругу. Послідовно з вольтметром увімкнено додатковий резистор з опором 29960 Ом.

### **3. ПИТАННЯ ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ З КУРСУ ДИСЦИПЛІНИ КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ**

1. Класифікація методів вимірювання.
2. Похибки вимірювань. Різновиди похибок в залежності від причин їх виникнення.
3. Похибки вимірювальних приладів.
4. Міжнародна система одиниць. Основні величини СИ, електричні і магнітні одиниці, кратні і дольні одиниці.
5. Класифікація електровимірювальних приладів по системах.
6. Загальна будова приладів безпосередньої оцінки. Деталі електровимірювальних приладів.
7. Обертний момент, момент протидії, встановлюючий момент.
8. Чуттєвість і постійна електровимірювального приладу.
9. Маркування електровимірювальних приладів.
10. Конструкція та принцип дії приладів магнітоелектричної системи.
11. Розширення межі вимірювання амперметрів магнітоелектричної системи. Розрахунок шунтів.
12. Розширення межі вимірювання вольтметрів магнітоелектричної системи. Розрахунок додаткових опорів.
13. Конструкція та принцип дії приладів електромагнітної системи.
14. Конструкція та принцип дії приладів електродинамічної системи.



15. Схеми вмикання вимірювального механізму електродинамічної системи для вимірювання струму, напруги та потужності.
16. Конструкція та принцип дії приладів феродинамічної системи.
17. Конструкція та принцип дії приладів електростатичної системи.
18. Прилади термоелектричної системи.
19. Прилади детекторної системи.
20. Прилади електронної системи.
21. Поняття про цифрові вимірювальні прилади.
22. Температурна компенсація приладів магнітоелектричної системи.
23. Вимірювання опорів непрямим методом (амперметра – вольтметра).
24. Вимірювання опорів одинарним вимірювальним мостом на постійному струмі.
25. Вимірювання опорів подвійним вимірювальним мостом.
26. Вимірювання великих опорів методом заміщення.
27. Прилади для вимірювання опорів. Будова логометра.
28. Вимірювальні трансформатори напруги.
29. Вимірювальні трансформатори струму.
30. Вимірювальні трансформатори постійного струму.
31. Вимірювання потужності у колах постійного струму.
32. Вимірювання активної потужності у колах однофазного змінного струму.
33. Вимірювання активної потужності у трифазних колах.

34. Вимірювання реактивної потужності в колах трифазного струму.
35. Конструкція та робота трифазних ватметрів.
36. Вимірювання потужності з використанням вимірювальних трансформаторів.
37. Вимірювання електричної енергії. Конструкція та робота однофазного індукційного лічильника.
38. Вимірювання активної енергії в трифазних колах.
39. Вимірювання реактивної енергії в трифазних колах.
40. Вмикання трифазних лічильників електричної енергії через вимірювальні трансформатори.
41. Конструкція та робота електродинамічного лічильника енергії постійного струму.
42. Повірка лічильників електричної енергії.
43. Конструкція та робота електродинамічного та феродинамічного фазометрів.
44. Вимірювання індуктивності і взаємної індуктивності непрямим методом.
45. Вимірювання ємності за допомогою моста змінного струму.
46. Вимірювання індуктивності і взаємної індуктивності мостом змінного струму.
47. Вимірювання магнітного потоку, магнітної індукції та напруженості магнітного поля.
48. Принцип дії та конструкція реостатного перетворювача неелектричних величин.
49. Принцип дії і конструкція індукційних перетворювачів.

50. Принцип дії і конструкція термоелектричних перетворювачів.

51. Принцип дії і основні різновиди фотоелектричних перетворювачів.

52. Вимірювання лінійних і кутових переміщень.

53. Вимірювання товщини.

54. Вимірювання рівня рідини.

55. Вимірювання тиску.

56. Вимірювання прискорень.

#### **4. ПОРЯДОК ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ ПО ДИСЦИПЛІНІ «КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ З ОСНОВАМИ МЕТРОЛОГІЇ»**

Оцінювання здобувачів вищої освіти здійснюється відповідно до Положення про організацію освітнього процесу у Миколаївському національному аграрному університеті, Оцінювання результатів навчання здійснюється за відповідними формами організації освітнього процесу, а саме: поточний та підсумковий контроль знань здобувачів вищої освіти. Порядок зарахування пропущених занять, зокрема: у формі усного опитування (при пропущенні лекції) та виконання індивідуального завдання (при пропущенні практичного завдання).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань. Частина I : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2020. 148 с.
2. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань : навчальний посібник / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 123 с.
3. Crowder S., Delker C., Forrest E., Martin N. Introduction to Statistics in Metrology. Springer, 2021. 351 p.
4. Єрмілова Н. В., Кислиця С. Г. Основи метрології і електричних вимірювань : навч. посібник до самостійного вивчення курсу для студентів спеціальності 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” денної та заочної форм навчання. Полтава : ПолтНТУ, 2017. 141 с.
5. Електричні вимірювання : підручник для студентів вищих навчальних закладів / за редакцією професора Д. І. Блецкана. Ужгород : ВАТ “Видавництво “Закарпаття”, 2008. 400 с.
6. Connie L. Dotson. Fundament of Dimentional Metrology. 5nd ed. Delmar Cengage Learning, 2006. 656 p.
7. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук та ін. ; за ред. проф. Є. С. Поліщука. 2-е вид., переробл. і доповн. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2012. 534 с.
8. Основи метрології та вимірювальної техніки : підручник : У 2 т. / Дорожовець М. та ін. ; за ред. Б. Стадника. Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2005. Т. 2. Вимірювальна техніка. 656 с.

Навчальне видання

КОНТРОЛЬНО - ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ З  
ОСНОВАМИ МЕТРОЛОГІЇ

Методичні рекомендації

Укладач: **Садовий** Олексій Степанович

Формат 60x84 1/16. Ум.друк. арк. 2,63

Тираж\_\_\_\_прим. Зам. №\_\_\_\_\_

Надруковано у видавничому відділі

Миколаївського національного аграрного університету

54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013р.