

**ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ**  
**Кафедра «Електротехніка та електричні машини»**

**ЗАВДАННЯ**

**та методичні вказівки  
до виконання контрольної роботи  
з дисципліни**

***“ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ”***

**для студентів спеціальностей  
“Електричний транспорт”,  
“Електричні системи та комплекси  
транспортних засобів”  
заочної форми навчання**

**Харків 2010**

рекомендовано до друку на засіданні кафедри  
“Електротехніка та електричні машини” 26 грудня 2008 р.,  
протокол № 6.

Рекомендуються для студентів спеціальності  
“Електричний транспорт”, “Електричні системи та комплекси  
транспортних засобів” заочної форми навчання.

Укладачі:

проф. М.М. Бабаєв,  
доценти П.Я. Придубков,  
А.А. Прилипко

Рецензент

доц. С.В.Кошевий

ЗАВДАННЯ  
та методичні вказівки  
до виконання контрольної роботи  
з дисципліни  
“ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ”  
для студентів спеціальностей  
“Електричний транспорт”,  
“Електричні системи та комплекси  
транспортних засобів”  
заочної форми навчання

Відповідальний за випуск Прилипко А.А.

Редактор Губарева К.А.

---

Підписано до друку 30.01.09 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,75 Обл.-вид.арк. 2,0.

Замовлення № Тираж 100 Ціна

---

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК 2874 від 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДАЗТу,  
61050, Харків - 50, майдан Фейєрбаха, 7

**УКРАЇНЬСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**Кафедра електротехніки та електричних машин**

**ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ**

**з методичними вказівками до їх виконання  
з дисципліни**

**“Основи метрології та електричні вимірювання”  
для студентів спеціальності**

**“Електричний транспорт”,**

**“Електричні системи та комплекси транспортних  
засобів”**

**заочної форми навчання**

**Харків 2009**

Завдання та методичні вказівки розглянуто і  
рекомендовано до друку на засіданні кафедри  
“Електротехніка та електричні машини”

Укладачі:

проф. Бабаєв М.М.  
доценти Придубков П.Я.  
Прилипко А.А.

Рецензент

доц.

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
1 Загальні методичні вказівки .....	5
2 Завдання на контрольну роботу і методичні вказівки до розв'язання задач .....	6
2.1 Задача 1 Повірка технічних приладів і основи метрології .....	6
2.1.1 Завдання .....	7
2.1.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі 1 .....	8
2.2 Задача 2 Вимірювання струму і напруги у колах постійного струму .....	10
2.2.1 Завдання .....	10
2.2.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі 2 .....	10
2.3 Задача 3 Методи і похибки електричних вимірювань ..	12
2.3.1 Завдання .....	12
2.3.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі 3 .....	12
2.4 Задача 4 Вимірювання струму в колах змінного несинусоїдного струму .....	16
2.4.1 Завдання .....	16
2.4.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі 4 .....	18
2.5 Задача 5 Вимірювання активної потужності у колах трифазного струму .....	21
2.5.1 Завдання .....	21
2.5.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі 5 .....	24
2.6 Задача 6 Вибір вимірювальної апаратури .....	26
2.6.1 Завдання .....	26
2.6.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі 6 .....	28
Список літератури .....	32

## ВСТУП

Метрологія – це наука про виміри, яка вивчає засоби вимірювальної техніки, правила, які забезпечують єдність вимірювання, та методи досягнення необхідної точності. З одного боку, вона є однією з найстаріших наук. Метрологія включає теоретичні, практичні та юридичні аспекти вимірювань у всіх галузях науки і техніки. З іншого боку, це найсучасніша наука. Відкриття в таких науках, як фізика, математика, обчислювальна техніка, хімія, юриспруденція та інші дозволяють удосконалити метрологію, яка в свою чергу є каталізатором розвитку усіх сфер суспільної діяльності.

Дисципліна “Основи метрології та електричні вимірювання” нерозривно пов'язана з курсами фізики і теоретичних основ електротехніки, оскільки вимірюванням піддаються різноманітні фізичні величини і фізичні параметри процесів, а для засобів вимірювань використовується багато фізичних закономірностей. Слід зазначити взаємне збагачення вказаних дисциплін і даного курсу, що виявляється у використанні нових досягнень у галузі фізики і теоретичної електротехніки, а досягнення у галузі метрології і вимірювань, насамперед у відношенні точності і достовірності вимірювань фізичних величин, дозволяють виявляти нові явища і закономірності та уточнювати вже відомі. У сучасних методах і засобах вимірювань широко використовуються електроніка та обчислювальна техніка, тому необхідні відомості повинні вивчатися у відповідних дисциплінах.

Електровимірювальна техніка інтенсивно розвивається в усіх напрямках. Електровимірювальні прилади служать не тільки для контролю й урахування електричної енергії при її генеруванні і розподілі, але і для контролю технологічних процесів у різноманітних галузях промисловості і транспорту, контролю якості матеріалів і готових виробів шляхом вимірювання неелектричних величин електричними методами.

Безупинний розвиток науки і техніки, а також універсальність застосування електричних вимірювань визначають повсякчасне розширення номенклатури засобів електричних вимірювань.

## **1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

Контрольну роботу студенти виконують самостійно до початку занять у лабораторії, вивчивши попередньо теоретичний матеріал курсу.

Для полегшення вивчення курсу навчальними планами передбачені лекції з окремих його розділів.

Завдання на контрольну роботу складається із шести задач. Варіант контрольної роботи вибирається за двома останніми цифрами навчального шифру студента.

Якщо навчальний шифр студента є однозначним числом, то за передостанню цифру слід взяти нуль.

Студенти повинні виконати дану контрольну роботу в терміни, встановлені індивідуальним планом навчальної роботи.

Оформлення контрольних робіт повинно відповідати вимогам методичних посібників [4] та [5].

Зокрема:

1.1 На початку кожної контрольної роботи повинні бути зазначені: номер контрольної роботи; дисципліна; прізвище, ім'я, по батькові; курс, факультет, фах; навчальний шифр.

1.2 Контрольні роботи оформляються чорнилом, акуратно, без виправлень і повинні бути виконані так, щоб можна було без утруднень прочитати кожну букву, знак, слово.

Роботи, оформлені недбало, що викликають утруднення або сумніви при їхньому читанні, повертаються студенту для перероблення.

1.3 Усі розрахункові дії повинні супроводжуватися стислими, але чіткими поясненнями.

1.4 Для позначення електричних розмірностей можуть застосовуватися тільки умовні літерні позначення відповідно до [4].

Літерні позначення одиниць вимірювання можуть застосовуватися у тексті тільки після числових значень розмірностей (наприклад: 5 А, 127 В, 800 Вт).

1.5 Схеми, векторні діаграми і графіки повинні виконуватися із застосуванням креслярських інструментів. Схеми, рисунки, векторні діаграми і графіки повинні бути пронумеровані і мати підрисункові підписи. У тексті контрольної роботи потрібно обов'язково робити посилання на відповідні схеми, діаграми і графіки.

1.6 Криві і графіки повинні мати розміри не менше 10Х10 см. Графіки повинні бути побудовані на міліметровому папері і підклеєні до тексту роботи. При виборі масштабів треба мати на увазі, що число одиниць у 1 см (або відрізка довжини, прийнятому за одиницю, наприклад, у стороні однієї клітинки паперу) повинно виражатися числами  $1 \times 10^n$ ;  $2 \times 10^n$  або  $5 \times 10^n$ , де  $n$  – будь-яке ціле число.

Масштаб повинен бути зазначений на координатних осях.

Написи, які позначають розміри, що відкладаються по осях, слід робити зліва від осі ординат біля її кінця і під віссю абсцис також біля її кінця, а умовні знаки одиниць вимірювань ставити в останніх числових значеннях величин.

1.7 Робота повинна бути підписана із вказівкою дати її завершення.

## **2 ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ**

### **2.1 Задача 1**

#### **Повірка технічних засобів і основи метрології**

Повірка засобів вимірювальної техніки – встановлення придатності засобів вимірювальної техніки, на які



поширюється державний метрологічний нагляд, до застосування на підставі результатів контролю їхніх метрологічних характеристик.

### **2.1.1 Завдання**

Технічний амперметр магнітоелектричної системи з номінальним струмом  $I_n$ , кількістю номінальних поділок  $\alpha_n=100$  має оцифровані поділки від нуля до номінального значення, проставлені на кожній п'ятій частині шкали (стрілки знеструмлених амперметрів займають нульове положення).

Повірка технічного амперметра здійснювалася зразковим амперметром тієї ж системи.

Вихідні дані для виконання задачі вказані в таблиці 2.1.

- 1 Вказати умови повірки технічних приладів.
- 2 Визначити поправки вимірювань.
- 3 Побудувати графік поправок.
- 4 Визначити приведену похибку.
- 5 Вказати, до якого найближчого стандартного класу точності належить даний прилад.

Якщо прилад не відповідає встановленому класу точності, вказати це окремо.

6 Дати відповіді на питання:

- 1) що називається вимірюванням?
- 2) що таке міра і вимірювальний прилад? Як вони підрозділяються за призначенням?
- 3) що таке похибка? Дайте визначення абсолютної, відносної і приведенної похибок.

### **2.1.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі 1**

У метрології розглядаються загальні питання вимірювань: одиниці фізичних величин і їх системи, еталони і засоби передачі розмірностей одиниць від еталонів зразковим і робочим засобам вимірювань, загальні методи опрацювання результатів вимірювань і оцінки їхньої

точності і достовірності, основи забезпечення єдності вимірювань.

Під єдністю вимірювань розуміють такий стан вимірювань, при якому їх результати виражені в узаконених одиницях. Такі одиниці встановлюються у кожній країні особливим законодавством з урахуванням рекомендацій міжнародних організацій.

У 1960 р. XI Генеральна конференція з мір і ваг із метою міжнародної уніфікації одиниць фізичних величин прийняла єдину Міжнародну систему одиниць СІ, що введена в нашій країні з 1 січня 1963 р. Єдність вимірювань необхідна для забезпечення можливості зіставлення результатів вимірювань, виконаних у різних місцях, у різний час, із використанням різних методів і засобів вимірювань.

Точність вимірювань характеризується близькістю їхніх результатів до дійсного значення величини, що вимірюється.

Залежно від ступеня точності електровимірювальні прилади електромеханічної групи, як правило, поділяються на дев'ять класів: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Число, що позначає клас, є найбільшою приведеною похибкою приладу на всіх відмітках робочої частини його шкали.

Прилади більш високого класу точності, застосовувані в лабораторній практиці, називаються лабораторними, на відміну від приладів обмеженого ступеня точності, використовуваних для технічних вимірювань.

Весь необхідний теоретичний матеріал, а також формули для розв'язання цієї задачі можуть бути отримані з підручників, що рекомендуються [1, с. 11-22; 2, с. 23-39; 4, с. 14-27].

Результати розв'язання задачі 1 записати в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

Оцифровані поділки шкали, А	Абсолютна похибка $\Delta$ , А	Поправки вимірювань $\delta$ , А	Приведена похибка $\gamma_p$ , %
-----------------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------


## 2.2 Задача 2

### Вимірювання струму і напруги у колах постійного струму

#### 2.2.1 Завдання

Вимірювальний механізм (ВМ) магнітоелектричної системи розрахований на струм  $I_n$  і напругу  $U$  та має шкалу на  $\alpha_n$  поділок.

1 Скласти схему вмикання вимірювального механізму із шунтом і вивести формулу  $R_{ш}$ .

2 Визначити постійну вимірювального механізму за струмом  $C_1$ , розмір опору шунта  $R_{ш}$  і постійну амперметра  $C'_1$ , якщо цим приладом потрібно вимірювати струм  $I_n$ .

3 Визначити потужність, споживану амперметром при номінальному значенні струму  $I_n$ .

4 Скласти схему вмикання вимірювального механізму з додатковим опором і вивести формулу  $R_d$ .

5 Визначити постійну вимірювального механізму за напругою  $C_U$ , величину додаткового опору  $R_d$  і постійну вольтметра  $C'_U$ , якщо цим приладом потрібно вимірювати напругу  $U_n$ .

6 Визначити потужність, споживану вольтметром при номінальному значенні напруги  $U_n$ .

#### 2.2.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі 2

Весь необхідний теоретичний матеріал, а також формули для розв'язання цієї задачі можуть бути отримані з підручників, що рекомендуються [1, с. 79-80; 2, с. 101-103; 4, с. 111-117].

Вихідні дані для розв'язання задачі 2 наведені в таблиці 2.3.



## 2.3 Задача 3

### Методи і похибки електричних вимірювань

#### 2.3.1 Завдання

Для вимірювання опору непрямим методом використовувалися два прилади: амперметр і вольтметр магнітоелектричної системи.

Вимірювання опору проводилося при температурі  $t^{\circ}\text{C}$  приладами групи **A**, **B** або **B**. Дані приладів, їхні показання, а також група приладів і температура навколишнього повітря, при якому провадився вимір опору, наведені в таблиці 2.4.

Визначити:

- 1) розмір опору  $R'_x$  за показаннями приладів і накреслити схему;
- 2) величину опору  $R_x$  з урахуванням схеми вмикання приладів;
- 3) найбільші можливі (відносну  $\gamma_R$ , абсолютну  $\Delta_R$ ) похибки результату вимірювання цього опору;
- 4) у яких межах знаходяться дійсні значення опору, що вимірюється.

#### 2.3.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі 3

При вимірюванні опору методом двох приладів – амперметра і вольтметра – застосовуються дві схеми. У цьому випадку наближене значення опору  $R'_x$  відповідно до закону Ома визначається як  $R'_x = \frac{U}{I}$ .



Одна зі схем (без урахування внутрішнього опору приладів) використовується у тих випадках, коли опір, що вимірюється, великий у порівнянні з опором амперметра; інша – у тих випадках, коли опір, що вимірюється, малий у порівнянні з опором вольтметра. Оскільки в практиці вимірювань цим методом підрахунок опору  $R'_x$  звичайно проводиться за наближеною формулою, то необхідно знати, яку схему варто вибрати для того, щоб розмір похибки був найменший. Щоб правильно вибрати схему, необхідно спочатку визначити співвідношення  $R'_x/R_A$  і  $R_V/R'_x$  та за найбільшим з них прийняти і накреслити схему вмикання приладів.

Величина опору  $R_x$  визначається з урахуванням внутрішнього опору приладів  $R_A$  або  $R_V$  залежно від прийнятої схеми.

Починаючи до розв'язання пункту 3, необхідно мати на увазі, що похибки електровимірювальних приладів розділяються на дві категорії: а) основна похибка, що залежить тільки від внутрішніх властивостей і стану самого приладу; б) додаткові похибки, обумовлені впливом зовнішніх факторів і відхиленням умов експлуатації приладу від нормальних (наприклад, відхиленням температури навколишнього повітря від нормальної).

Похибка вимірювання  $\gamma$  буде являти собою суму основної похибки  $\gamma_d$  (клас точності приладу) і додаткової похибки  $\gamma_t$ , викликані відхиленням температури навколишнього повітря від нормальної (приймається звичайно  $t_n=20^0$  С); причому слід приймати випадок найбільш несприятливий, коли

$$\pm\gamma=\pm\gamma_d\pm\gamma_t.$$



Відносна похибка при непрямому методі вимірювання опору визначається за формулою

$$\pm\gamma_R = \pm\gamma_U \pm\gamma_I,$$

де  $\gamma_U$  і  $\gamma_I$  – відносна похибка вимірювань напруги і струму.

Величини  $\gamma_U$  і  $\gamma_I$  можуть бути визначені за формулами, наведеними в літературі, що рекомендується.

Так, відносна похибка при вимірюванні напруги буде

$$\pm\gamma_U = \frac{\Delta U}{U} 100\% = \frac{\pm\gamma U_H}{100\%} \cdot \frac{100\%}{U} = \pm\gamma \frac{U_H}{U}.$$

Аналогічно визначається відносна похибка і при вимірюванні струму.

Для визначення абсолютної похибки  $\Delta R$ , а також меж зміни дійсного значення опору  $R$ , що вимірюється, слід користуватись співвідношенням

$$\pm\gamma_R = \frac{R}{R_x} 100\%.$$

Після виконання залежно від умов експлуатації прилади розділяються на три групи: **A**, **B** і **B**. Нижче, у таблиці 2.5, наводяться норми для робочих кліматичних умов з температури для приладів різноманітних груп.

Таблиця 2.5

Параметри навколишнього повітря	Групи приладів		
	A	B	B
Температура	Від +10 до +35 <sup>0</sup> C	Від –30 до +40 <sup>0</sup> C	Від –50 до +60 <sup>0</sup> C

Зміна показань приладу, викликана відхиленням температури навколишнього повітря від нормальної до

будь-якої в межах робочих температур, не повинна перевищувати значень, зазначених в таблиці 2.6, на кожні  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  зміни температури.

Таблиця 2.6

Клас точності приладу	Припустима зміна показань приладів груп, %		
	А	Б	В
0,05	$\pm 0,05$		
0,1	$\pm 0,1$		
0,2	$\pm 0,2$	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$
0,5	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,3$
1,0	$\pm 1,0$	$\pm 0,8$	$\pm 0,5$
1,5	$\pm 1,5$	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$
2,5	$\pm 2,5$	$\pm 2,0$	$\pm 1,2$
4,0	$\pm 4,0$	$\pm 3,0$	$\pm 2,0$

## 2.4 Задача 4

### Вимірювання струму у колах змінного несинусоїдного струму

#### 2.4.1 Завдання

1 У коло несинусоїдного струму увімкнені амперметр магнітоелектричної системи та амперметр електродинамічної системи. Амперметри мають однакові номінальні струми  $I_n=5 \text{ A}$  і шкали з однаковою номінальною кількістю поділок  $\alpha_n=100$ .

Накреслити схему кола і визначити, на яку кількість поділок шкали відхилиться стрілка: а) магнітоелектричного амперметра; б) електродинамічного амперметра, якщо в колі проходить струм

$$i = I_0 + I_{1m} \sin \omega t + I_{3m} \sin(3\omega t \pm \psi_3).$$

Побудувати в масштабі в одних осях координат графіки заданого струму  $i=f(t)$  за час одного періоду основної гармоніки струму.

Значення  $I_0, I_{1m}, I_{3m}$  і  $\psi_3$  для окремих варіантів задані в таблиці 2.7.

2 У коло несинусоїдного струму увімкнені амперметр електродинамічної системи та амперметр детекторної (випрямляючої) системи. Амперметри мають однакові номінальні струми  $I_n=5 \text{ A}$  і шкали з однаковою номінальною кількістю поділок  $\alpha_n=100$ .

На яку кількість поділок шкали відхилиться стрілка:

- а) електродинамічного амперметра;
- б) детекторного амперметра, якщо в колі проходить струм

$$i = I_{1m} \sin \omega t + I_{3m} \sin(3\omega t \pm \psi_3).$$

#### **2.4.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі 4**

Несинусоїдні струми і напруги можуть вимірюватися приладами різноманітних систем. Так, наприклад, прилади електромагнітної, електродинамічної і теплової систем реагують на діючі значення величин: прилади детекторної (випрямляючої) системи – на середнє за модулем значення величини, прилади магнітоелектричної системи – на постійну складову, амплітудні електронні вольтметри – на максимальне значення функції.

При розв'язанні пункту 1,а цієї задачі необхідно написати вирази миттєвого і середнього обертаючих моментів, а потім кут повороту рухомої частини амперметра магнітоелектричної системи.

При розв'язанні пункту 2, б необхідно написати вирази миттєвого і середнього значень обертаючого моменту, що діє на рухому частину вимірювального механізму

випрямляючого приладу, а потім написати вираз кута повороту його рухомої частини.

З огляду на те, що прилади детекторної системи реагують на середнє значення струму  $I_{cp}$ , необхідно, маючи рівняння струму  $i = f(t)$ , визначити середнє за модулем значення несинусоїдного струму.

Якщо за початок відліку часу прийняти момент проходження через нуль першої гармоніки струму і врахувати, що початок третьої гармоніки струму зсунуто по відношенню до початку першої на кут  $\psi_3$ , то для кривих, що не містять постійної складової і парних гармонік, після інтегрування одержимо

$$I_{cp} = \frac{2}{\pi} \left( I_{1m} \cos \varphi_1 + \frac{1}{3} I_{3m} \cos \varphi_3 + \dots \right).$$

Як відомо, градування приладу провадиться у чинних значеннях при синусоїдному струмі, тому кут повороту рухомої частини приладу необхідно виразити залежно від чинного значення струму. Позначивши коефіцієнт форми кривої несинусоїдного струму, що вимірюється, через  $k'_\phi$ , можна написати для схеми з двопівперіодним випрямленням

$$k'_\phi = \frac{I}{I_{cp}},$$

кривих, що не містять постійної складової і парних гармонік, після інтегрування одержимо

$$I_{cp} = \frac{2}{\pi} \left( I_{1m} \cos \varphi_1 + \frac{1}{3} I_{3m} \cos \varphi_3 + \dots \right).$$

Як відомо, градування приладу провадиться у чинних значеннях при синусоїдному струмі, тому кут повороту рухомої частини приладу необхідно виразити залежно від чинного значення струму.

Позначивши коефіцієнт форми кривої несинусоїдного струму, що вимірюється, через  $k'_\phi$ , можна написати для схеми з двопівперіодним випрямленням

$$k'_\phi = \frac{I}{I_{cp}},$$

де  $I$  - чинне значення струму.

Отримавши вираз постійної за струмом при синусоїдальній формі кривої  $C_1$ , треба написати вираз постійної за струмом для заданого несинусоїдного струму

$$C'_1 = C_1 \frac{k'_\phi}{k_\phi},$$

де  $k_\phi=1,11$  – коефіцієнт форми кривої для синусоїдного струму.

Після цього визначається кут повороту рухомої частини приладу при заданому струмі

$$\alpha = \frac{I}{C'_1}.$$

Більш докладно з роботою приладів у колах із несинусоїдними струмами і напругами можна ознайомитися у літературі, що рекомендується [1, с. 61-73, 103-108; 2, с. 116-120, 128-132].

Необхідно звернути увагу на те, що позначення кожної з величин у тексті і формулах, а також на діаграмі повинно бути однаковим.

## 2.5 Задача 5

### Вимірювання активної потужності у колах трифазного струму

#### 2.5.1 Завдання

Для вимірювання активної потужності трипровідного кола трифазного струму із симетричним активно-індуктивним навантаженням, з'єднаним зіркою або трикутником, необхідно вибрати два однакових ватметри з номінальним струмом  $I_n$ , номінальною напругою  $U_d$  і кількістю поділок шкали  $\alpha_n=150$ .

Вихідні дані для розв'язання задачі наведені в таблиці 2.8.

1 За даними варіанта для нормального режиму роботи кола:

- а) намалювати схему вмикання ватметрів у коло;
- б) довести, що активну потужність трипровідного кола трифазного струму можна подати у вигляді суми двох складових;
- в) побудувати в масштабі векторну діаграму, виділивши на ній вектори напруг і струмів, під дією яких знаходяться паралельні і послідовні обмотки ватметрів;
- г) визначити потужності  $P_1$  і  $P_2$ , що вимірюються кожним із ватметрів;
- д) визначити кількість поділок шкали  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ , на які відхиляються стрілки ватметрів.

2 За даними варіанта при обриві однієї фази приймача енергії:

- а) намалювати схему вмикання ватметрів у коло;
- б) побудувати в масштабі векторну діаграму, виділивши на ній вектори напруг і струмів, під дією яких знаходяться паралельні і послідовні обмотки ватметрів;





в) визначити потужності  $P_1$  і  $P_2$ , що вимірюються кожним із ватметрів;

г) визначити кількість поділок шкали  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ , на які відхиляються стрілки ватметрів.

Результати розрахунків записати в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9

	Найменування величин	Одиниця вимірювання	Результати розрахунку
Визначити за пунктом 1	Потужність кола $P_n$	Вт	
	Лінійна напруга $U_n$	В	
	Лінійний струм $I_n$	А	
	Номінальна напруга ватметра $U_H$	В	
	Номінальний струм ватметра $I_H$	А	
	Постійна ватметра $C_p$	$\frac{\text{Вт}}{\text{поділ}}$	
	Потужність, що вимірюється першим ватметром $P_1$	Вт	
	Потужність, що вимірюється другим ватметром $P_2$	Вт	
	Кількість поділок шкали $\alpha_1$		
	Кількість поділок шкали $\alpha_2$		
Визначити за пунктом 2	Потужність, що вимірюється першим ватметром $P_1$	Вт	
	Потужність, що вимірюється другим ватметром $P_2$	Вт	
	Кількість поділок шкали $\alpha_1$		
	Кількість поділок шкали $\alpha_2$		

Примітка – Задане трипровідне коло трифазного струму являє собою з'єднання трьох нерухомих магнітно-незв'язаних котушок.

## 2.5.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі 5

При розв'язанні пункту 1 цієї задачі необхідно відповідно до завдання свого варіанта накреслити схему вмикання ватметрів у трипровідне коло трифазного струму і дати на ній розмітку генераторних затисків послідовної і паралельної обмоток кожного з ватметрів.

Після цього слід навести доказ, що активна потужність у трифазному колі може бути виміряна двома ватметрами, при цьому повинна бути врахована схема з'єднання приймачів енергії (таблиця 2.8).

Якщо приймачі енергії з'єднані за схемою **зірка**, то виведення формули активної потужності для цього випадку наведено у рекомендованій літературі. Якщо приймачі енергії з'єднані за схемою **трикутник**, то миттєву потужність трифазного кола слід подати як

$$p = p_{AB} + p_{BC} + p_{CA} = u_{AB}i_{AB} + u_{BC}i_{BC} + u_{CA}i_{CA},$$

де  $u_{AB}, u_{BC}, u_{CA}$  – миттєві значення фазних напруг;  
 $i_{AB}, i_{BC}, i_{CA}$  – миттєві значення фазних струмів.

Після цього слід скористатися другим законом Кірхгофа, за яким  $u_{AB} + u_{BC} + u_{CA} = 0$ . З цього рівняння виключається одна з напруг, наприклад  $u_{AB} = -u_{BC} - u_{CA}$  (для схеми, в якій паралельні обмотки ватметрів знаходяться під дією напруг  $u_{AC}$  і  $u_{BC}$ ). Потім проводяться необхідні перетворення, щоб одержати остаточний вираз потужності, що відповідає схемі вмикання ватметрів.

Визначивши струми і напруги, під дією яких знаходяться послідовні і паралельні обмотки ватметрів, необхідно вибрати два однакових ватметри з номінальним струмом  $I_n = 5A$  або  $I_n = 10A$ , номінальною напругою  $U_n = 150 V$ ,  $U_n = 300 V$  або  $U_n = 600 V$  і кількістю поділок шкали  $\alpha_n = 150$  поділок.

Постійна ватметра визначається за формулою

$$C_p = \frac{U_n I_n}{\alpha_n}.$$

При розв'язанні пункту 2 цієї задачі необхідно також накреслити схему вмикання ватметрів, указавши на ній обрив однієї з фаз приймача енергії (див. таблицю 2.8).

Якщо приймачі енергії з'єднані за схемою *трикутник*, то при обриві однієї з фаз опір її буде дорівнювати нескінченності, отже, струм у ній буде дорівнювати нулю. Струми у двох інших фазах залишаться такими, якими були до обриву фази. Внаслідок цього зміняться лінійні струми, що і повинно бути враховано при побудові векторної діаграми і визначенні показань ватметрів.

Якщо приймачі енергії з'єднані за схемою *зірка*, то при обриві однієї з фаз струм у ній буде дорівнювати нулю. Дві інші фази виявляться з'єднаними між собою послідовно і увімкненими до лінійної напруги. Для визначення струму в цих фазах необхідно попередньо визначити опір фази, виходячи з даних для нормального режиму роботи приймача

$$z_\phi = \frac{U_\phi}{I_\phi}.$$

Для симетричної трифазної системи струм у послідовно з'єднаних фазах визначається як

$$I' = \frac{U_\phi}{2z_\phi}.$$

Ці значення струму і повинно бути прийняте при побудові векторної діаграми і визначенні показань ватметрів при обриві фази приймача.

Більш докладно з методами вимірювань активної потужності в колах трифазного струму можна ознайомитися у рекомендованій літературі [1, с. 128-132; 2, с. 404-408].

## **2.6 Задача 6**

### **Вибір вимірювальної апаратури**

#### **2.6.1 Завдання**

У високовольтному трипровідному колі трифазного струму необхідно виміряти лінійні струми, лінійну напругу, коефіцієнт потужності кола і витрати активної енергії всього кола.

Підібрати для цієї мети два вимірювальних трансформатори струму (ВТС), два вимірювальних трансформатори напруги (ВТН) і увімкнути до них такі вимірювальні прилади: два амперметри електромагнітної системи, два однофазних індукційних лічильники активної енергії; один трифазний фазометр електромагнітної або електродинамічної системи; один вольтметр електромагнітної системи.

Відстань від трансформатора до вимірювальних приладів  $\ell$  (провід мідний, перерізом  $S=2,5 \text{ мм}^2$ ), номінальна напруга мережі  $U_1$  і лінійний струм  $I_1$  наведені в таблиці 2.10. Накреслити схему вмикання ВТС і ВТН у коло, а також показати увімкнення до них усіх вимірювальних приладів.

Виконати розмітку затискачів обмоток ВТС, ВТН, лічильників і фазометра. Показати заземлення повторних обмоток ВТС і ВТН.



## **2.6.2 Методичні вказівки до розв'язання задачі № 6**

При доборі вимірювальних трансформаторів струму необхідно враховувати, що для забезпечення правильності їхньої роботи загальний опір усіх проводів і обмоток приладів у вторинному колі не повинен перевищувати номінального навантаження.

Номінальним навантаженням трансформатора струму називається найбільший опір, на який може бути замкнена вторинна обмотка за умови, що похибки його не перевищили припустимих значень.

Вибір трансформаторів напруги проводиться за їх допустимою номінальною потужністю. Таким чином, у трансформатор напруги можна увімкнути таку кількість приладів, при якій їхня потужність при номінальній нарузі не перевищує номінальної потужності трансформатора. Номінальні дані вимірювальних трансформаторів струму і напруги наведені в таблицях 2.11, 2.12.

При розв'язанні цієї задачі насамперед необхідно визначити опори обмоток амперметрів, а також опори послідовних обмоток лічильників і фазометра.

При розрахунку навантаження, що вмикається у трансформатори струму, необхідно враховувати не тільки опір приладів, але й опір сполучних проводів.

Параметри обмоток приладів наведені в таблиці 2.13.

Більш докладно з вибором і схемами вмикання вимірювальної апаратури можна ознайомитися в рекомендованій літературі [1, с. 80-88, 141-142; 2, с. 103-109, 394-400].

Таблиця 2.11 – Вимірjувальні трансформатори струму

Тип	Номинальний струм		Клас точності	Номинальне навантаження, Ом	Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi$
	первинний	вторинний			
И 54	0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50	5	0,2	0,1	–
		5	0,5		
И 54/1	0,5; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50	5	0,2	0,4	0,8-1
			0,2	0,4	0,5-0,8
			0,2	0,05	1
			0,2	0,5	0,8
			0,5	0,4	0,5-0,8
И 55/1	0,5; 1; 2 5; 10; 20; 50	0,5	0,1	30	1
И 56 М	1-1000	1	0,1	15	0,8-1
		5	0,1	0,6	0,8-1
		5	0,05	0,2	1
И 508М	100; 250; 500; 600;	5	0,2	0,2	0,8-1
И 509	5-1000	5	0,2	0,6	0,5-1
И 512	0,5-3000	1	0,05	15	1
		5		0,6	1
И 515	0,5; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50	5	0,1	0,4	0,8-1
И 532	5; 6; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 750; 800; 1000	1	0,05-0,5	15	1
		5		0,6	1
И 1820	30; 50; 75; 100; 150; 200; 5 5	1	1	5	–
		1	1	5	–
		0,5	1	55	–
УТТ-5	15; 50; 100; 150; 200; 300; 600;	5	0,2	0,2	0,8-1
УТТ-6МІ	100; 150; 200; 250;		0,2	0,4	0,8-1

	300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1200; 1500; 2000	5	0,2	0,6	0,8
--	---	---	-----	-----	-----

Таблиця 2.12 – Вимірювальні трансформатори напруги

Тип	Номінальна напруга		Клас точності	Номінальна потужність навантаження вторинного кола, В·А	Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi$
	первинна, кВ	вторинна, В			
УТН-1	0,380/ $\sqrt{3}$	100	0,2	15,0	0,8-1
	0,380	100	0,2	15,0	0,8-1
	0,500	100	0,2	15,0	0,8-1
	0,380/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	0,2	10,0	0,8-1
	0,380	100/ $\sqrt{3}$	0,2	10,0	0,8-1
	0,500	100/ $\sqrt{3}$	0,2	10,0	0,8-1
	0,380/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	0,2	5,0	0,8-1
	0,380	100/3	0,2	5,0	0,8-1
	0,500	100/3	0,2	5,0	0,8-1
И 50	3,0; 6,0; 10,0; 15,0	100/ $\sqrt{3}$ 100	0,2	10,0 15,0	0,8-1
И 510	3,0; 6,0; 10,0; 15,0	100/ $\sqrt{3}$ 100 150	0,1	10,0 15,0 15,0	0,8-1



Таблиця 2.13 – Параметри обмоток приладів

Тип приладу	Номінальні величини		Клас точності і	Номінальна область частот, Гц	Номінальний опір обмоток, Ом	
	струм, А	напруга, В			послідовної	паралельної
Амперметр Э 513/4	0,5	–	0,5	40-100	0,12	–
	1,0	–	0,5		0,035	–
Амперметр Э 514/1	1,0	–	0,5	40-100	0,035	–
	2,0	–	0,5		0,12	–
Амперметр Э 514/2	2,5	–	0,5	40-60	0,012	–
	5,0	–	0,5		0,005	–
Амперметр Э 514/3	5,0	–	0,5	40-100	0,008	–
Вольтметр Э 515/2	–	60	0,5	40-60	–	2400
Вольтметр Э 515/3	–	75	0,5	40-60	–	10000
		150	0,5			20000
		300	0,5			40000
		600	0,5			80000
Лічильник однофазний СО-2М2	5,0	127	2,5	50	0,08	10700
		220				32000
Лічильник однофазний СО-И445/4Т	2,5	110			0,25	8000
		127				10700
	5,0	220	2,0	50-60	0,08	32000
		230				35000
250	41500					
Фазометр трифазного струму Д 120	5	127	1,5	50	0,12	2500
		220				7500
		380				22000
Фазометр трифазного струму Э 120	5	127	1,5	50	0,01	10700
		220				32000

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Электрические измерения /Под ред. А.В. Фремке и Е.М. Душина. – Л.: Энергия, 1980.

2 Основы метрологии и электрические измерения /Под ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоатомиздат, 1987.

3 Попов В.С. Электрические измерения. – М.: Энергия, 1974.

4 Коновалов Е.В., Козар Л.М. Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – Ч. 1.

5 Коновалов Е.В. Студентська навчальна звітність. Графічно конструкторські документи. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Ч. 2.





Таблиця 2.1 – Числові значення для задачі 1

Повірюваний амперметр	Одиниці вимірювання	Передостання цифра шифру	Остання цифра шифру									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Абсолютна похибка $\Delta_i$	А	-	-0,01	+0,03	-0,04	+0,02	-0,03	+0,05	-0,04	+0,02	-0,06	+0,03
		-	+0,02	-0,04	+0,06	-0,08	+0,05	-0,08	+0,03	+0,04	-0,03	+0,06
		-	-0,03	+0,05	-0,03	+0,07	+0,04	-0,04	+0,06	-0,05	+0,08	-0,05
		-	+0,04	-0,06	+0,02	-0,05	-0,08	+0,02	-0,07	+0,06	-0,02	+0,04
		-	-0,05	+0,07	-0,01	+0,04	-0,06	+0,03	-0,02	-0,08	+0,05	-0,02
Номінальний струм $I_N$	А	0; 5	2,5	20	15	20	5,0	10	5	10	2,5	15
		1; 6	10	1,0	20	15	1,0	2,5	15	20	5,0	2,5
		2; 7	5,0	10	1,0	2,5	2,5	20	10	2,5	10	5,0
		3; 8	20	15	2,5	10	5	5	20	5,0	20	10
		4; 9	15	2,5	10	5	20	15	2,5	15	1,0	20
Примітка – Абсолютна похибка $\Delta_i$ зазначена для кожної оцифрованої поділки шкали після нуля у порядку їхнього зростання, включаючи номінальний струм амперметра.												

Таблиця 2.3 – Числові значення для задачі 2

Найменування величин	Одиниця вимірювання	Передостання цифра шифру	Остання цифра шифру									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напруга ВМ $U_B$ Струм ВМ $I_B$ Кількість поділок $\alpha_H$	мВ мА	-	45	75	50	100	75	60	100	75	80	100
		-	5	7,5	10	10	15	30	25	25	40	50
		-	50	75	100	50	150	75	100	150	50	100
Напруга $U_H$	В	0; 5	45	300	15	200	30	60	25	75	200	100
	В	1; 6	90	150	45	20	60	30	50	150	40	15
	В	2; 7	18	75	50	150	90	150	100	300	80	30
	В	3; 8	135	225	100	50	120	300	150	15	100	50
	В	4; 9	180	15	150	100	150	15	250	30	150	10
Струм $I_H$	А	0; 1	1,0	1,5	2,0	10	1,5	3,0	25	30	20	5
	А	6; 2	1,5	3,0	10	2,0	3,0	1,5	2,5	25	5,0	15
	А	7; 3	2,0	6,0	5,0	3,0	4,5	6,0	5,0	15	10	0,5
	А	8; 4	2,5	4,5	1,5	5,0	15	4,5	7,5	1,5	0,5	1,0
	А	9; 5	3,0	7,5	0,5	2,5	30	0,3	0,5	7,5	4,0	20

Таблиця 2.4 – Числові значення для задачі 3

Найменування величин		Одиниця вимірювання	Передостан-ня цифра шифру	Остання цифра шифру									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дані вольтметра	Межа вимірювання $U_n$	В	-	300	150	15	75	300	30	300	150	75	30
	Струм повного відхилення стрілки приладу при $U_n$	мА	-	3	7,5	1	1	7,5	1	1	3	1	7,5
	Клас точності $\gamma$	%	-	0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0
	Показання вольтметра $U$	В	0; 5	220	140	12	60	240	27	270	100	50	20
		В	1; 6	280	130	10	70	260	25	180	110	60	26
		В	2; 7	250	120	8	65	210	23	230	140	70	18
		В	3; 8	170	110	11	75	250	28	240	120	65	22
		В	4; 9	290	150	14	55	200	29	160	130	75	25
	Дані амперметра	Межа вимірювання $I_n$	А	-	1,5	3,0	1,5	7,5	0,3	15	1,5	1,5	0,3
Падіння напруги на затискачах приладу $I_n$		мА	-	100	95	100	140	27	100	100	100	27	100
Клас точності $\gamma$		%	-	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	0,2	1,0	0,5	0,2	1,5
Показання амперметра $I$		А	0; 1	1,0	0,5	1,0	5	0,2	9	0,5	0,4	0,1	10
		А	6; 2	1,3	0,7	1,2	6	0,18	10	0,6	0,5	0,15	8
		А	7; 3	1,1	0,9	0,9	7	0,26	11	1,1	1,0	0,17	14
		А	8; 4	1,5	1,1	0,8	4	0,24	12	1,3	1,2	0,27	7
	А	9; 5	1,4	1,3	0,7	3,5	0,16	13	1,5	1,8	0,3	5	
Група приладів	-	-	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	
Температура $t$	°С	-	10	0	-10	30	10	0	25	30	40	10	

Таблиця 2.7 – Числові значення для задачі 4

Найменування величини	Одиниця вимірювання	Перед-остання цифра шифру	Остання цифра шифру									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Струм $I_0$	А	–	0,5	1,5	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Струм $I_{1m}$	А	0; 5	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4,5
	А	1; 6	4,0	4,5	3,8	3,2	3,0	4,4	4,0	3,5	3,0	4,0
	А	2; 7	3,5	3,0	4,0	3,4	3,6	4,2	3,8	4,0	3,5	4,2
	А	3; 8	3,0	2,5	4,2	3,6	4,0	3,5	4,4	4,5	4,0	3,8
	А	4; 9	2,5	3,5	4,4	3,8	4,5	3,8	4,2	3,6	4,2	4,4
Струм $I_{3m}$	А	0; 1	2,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5	1,0	2,0
	А	6; 2	2,0	2,5	1,8	1,4	2,0	1,2	1,8	1,8	1,2	2,2
	А	7; 3	1,5	1,0	2,0	1,6	2,5	1,4	1,6	2,0	2,2	2,8
	А	8; 4	1,0	1,5	2,2	2,5	1,2	1,6	1,5	2,4	1,8	3,0
	А	9; 5	1,5	2,0	2,4	2,0	2,6	1,8	1,4	2,5	1,6	3,2
Кут $\psi_3$	рад	–	0	$\frac{\pi}{6}$	$\pi$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\pi$	$\frac{\pi}{6}$	0	$\pi$	$\frac{\pi}{6}$

Таблиця 2.8 – Числові значення для задачі 5



Найменування величини	Одиниця вимірювання	Перед-остання цифра шифру	Остання цифра шифру									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Потужність кола S	кВ·А	0; 5	3,0	6,0	5,5	5,0	3,2	1,5	2,0	2,5	3,5	1,8
	кВ·А	1; 6	3,5	5,5	6,0	5,5	3,0	2,0	2,5	2,0	3,0	2,2
	кВ·А	2; 7	2,5	5,0	6,5	6,0	3,6	2,5	1,5	1,8	2,5	2,8
	кВ·А	3; 8	2,0	4,5	5,0	4,5	5,0	3,0	5,0	3,0	2,0	1,4
	кВ·А	4; 9	1,8	4,0	4,5	4,0	6,0	3,5	5,8	3,5	1,5	3,5
Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi$	–	0; 1	0,7	0,8	0,9	0,72	0,82	0,88	0,83	0,92	0,84	0,72
	–	6; 2	0,72	0,82	0,92	0,74	0,83	0,80	0,85	0,90	0,86	0,70
	–	7; 3	0,74	0,84	0,73	0,76	0,84	0,81	0,87	0,88	0,85	0,76
	–	8; 4	0,76	0,86	0,75	0,78	0,85	0,82	0,89	0,86	0,83	0,74
	–	9; 5	0,78	0,88	0,71	0,80	0,86	0,84	0,91	0,83	0,74	0,80
Фазна напруга $U_{\phi}$	В	–	127	220	380	220	380	127	380	220	127	127
Схема з'єднання	–	–			$\Delta$		$\Delta$		$\Delta$	$\Delta$		
Послідовні обмотки ватметрів, увімкнені в проводи	–	–	AiB	BiC	CiA	AiB	BiC	CiA	AiB	BiC	CiA	AiB
Обриви фази	–	–	A	B	AB	C	BC	A	CA	AB	B	C

Таблиця 2.10 – Числові значення для задачі 6

Найменування величини	Одиниця вимірювання	Передостання цифра шифру	Остання цифра шифру									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номінальна напруга $U_1$	В	–	6000	500	3000	1000 0	1500 0	6000	500	3000	1000 0	1500 0
Лінійний струм $I_1$	А	0; 5	40	100	75	30	20	50	150	50	40	30
	А	1; 6	15	75	50	15	25	30	100	30	20	25
	А	2; 7	30	150	75	25	30	40	200	40	30	20
	А	3; 8	60	200	40	40	15	60	250	50	25	15
	А	4; 9	50	250	60	20	40	75	100	75	50	40
Відстань від вимірювальних приладів до трансформатора $\ell$	А	0; 1	15	10	10	15	20	15	10	20	10	20
	А	6; 2	14	11	14	18	21	16	12	19	9	15
	А	7; 3	13	12	15	19	22	17	14	18	8	23
	А	8; 4	12	13	16	20	23	18	16	17	12	21
	А	9; 5	11	14	17	16	24	19	8	16	15	18