

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання контрольних робіт  
з дисциплін

**«Основи метрології та електровимірювань»  
і «Основи метрології та електричних вимірювань»**

(для студентів заочної форми навчання  
за напрямками підготовки  
6.050701 – «Електротехніка та електротехнології»  
і 6.050702 – «Електромеханіка»)

Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з дисциплін «Основи метрології та електровимірювань» і «Основи метрології та електричних вимірювань» (для студентів заочної форми навчання за напрямами підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» і 6.050702 – «Електромеханіка») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Д. В. Тугай, Я. Б. Форкун, М. Л. Глебова. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 44 с.

Укладачі: к. т. н., доц. Д. В. Тугай,  
к. т. н., доц. Я. Б. Форкун,  
к. т. н., доц. М. Л. Глебова

Рецензент: д. т. н., проф. А. Г. Сосков

Рекомендовано кафедрою теоретичної та загальної електротехніки,  
протокол № 12 від 21.06.2012 р.

## ЗМІСТ

Вступ .....	<b>4</b>
1. Загальні вказівки .....	<b>5</b>
2. Програма курсу .....	<b>5</b>
3. Зразковий перелік лабораторних робіт .....	<b>12</b>
4. Контрольні роботи .....	<b>12</b>
Задача № 1 .....	<b>16</b>
Задача № 2 .....	<b>21</b>
Задача № 3 .....	<b>25</b>
Задача № 4 .....	<b>32</b>
Задача № 5 .....	<b>38</b>
5. Додаткові задачі .....	<b>40</b>
Список джерел .....	<b>42</b>

## ВСТУП

Досягнення високої якості продукції вимагає, насамперед, стабільності виробництва, що неможливо забезпечити без достовірності вимірюваної інформації про якість вихідних матеріалів, сировини, напівфабрикатів, про режими та параметри технологічних процесів, про характеристики готової продукції. Якість самої вимірювальної інформації визначається рівнем метрологічного забезпечення. У сучасному розумінні метрологічне забезпечення – це встановлення й застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності та необхідної точності вимірювань. Особливого значення питання метрологічного забезпечення набувають у зв'язку з необхідністю провадити контроль безпосередньо в потоці в умовах автоматизованого виробництва.

Не менше значення має рівень метрологічного забезпечення для правильного кількісного обліку як підґрунтя економіки, скорочення втрат матеріальних цінностей, електричної й теплової енергії, нафтопродуктів, газу тощо. Тому вимірювання як основне джерело об'єктивної інформації набувають важливого значення. Кожне наукове відкриття, кожна нова закономірність, що лежать в основі фізичних явищ, пов'язані з необхідністю створення нових засобів вимірювань, що, у свою чергу, призводить до нових наукових досягнень. Темпи технічного прогресу у сфері матеріального виробництва й успіхи наукових досліджень істотно залежать від технічного рівня, якості й надійності приладів, засобів автоматизації та обчислювальної техніки, а також обсягів їхнього виробництва.

Сучасна інформаційно-вимірювальна техніка має у своєму розпорядженні сукупність засобів вимірювань більш ніж двохсот різних фізичних величин: електричних, магнітних, теплових, механічних, світлових, хімічних та інших. Величезна їхня кількість у процесі вимірювань перетворюється на електричні величини, як найбільш зручні для передачі, посилення, порівняння, точного вимірювання. Тому в розвитку сучасної інформаційно-вимірювальної техніки переважне значення має розвиток засобів вимірювання електричних величин. Сьогодні для вимірювань неелектричних величин все більше використовуються різноманітні електричні прилади.

Широке застосування сучасних методів і засобів автоматичного керування, високопродуктивних методів формування, обробки й передачі інформації, заснованих на залученні електроніки й обчислювальної техніки, дозволяє підвищити ефективність і якість праці.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Програма цих курсів передбачає:

1. Вивчення матеріалу на основі методичних вказівок.
2. Виконання контрольної роботи.
3. Виконання лабораторних робіт.
4. Складання заліку.

При вивченні курсів необхідно прагнути зрозуміти фізичні процеси, що протікають у вимірювальних приладах і перетворювачах, набути навичок самостійного вибору методу та засобів вимірювань, навчитися оцінювати похибку результатів вимірювань, знати загальні відомості про інформаційно-вимірювальні системи.

Контрольна робота виконується після вивчення відповідних розділів курсу. Роботу потрібно писати акуратно і грамотно в учнівських зошитах (18 аркушів). Схеми й діаграми виконуються відповідно до діючих стандартів із використанням креслярських інструментів. Наприкінці роботи необхідно навести список використаних джерел, поставити підпис і дату.

Контрольні роботи складаються з теоретичних питань і задач. Номери і зміст виконуваних питань і задач потрібно переписувати в зошит, а потім викладати відповіді або рішення. Відповіді мають бути обґрунтованими, чіткими і конкретними. При розв'язанні задач необхідно наводити весь хід рішення, всі залучені формули з підстановкою числових значень, указувати одиниці величин.

Лабораторні роботи виконуються студентами у приміщенні лабораторії метрології й електричних вимірювань кафедри теоретичної та загальної електротехніки (ауд. 253). При підготовці до занять треба використовувати методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, що є в бібліотеці Академії або в електронному репозиторії.

## 2. ПРОГРАМА КУРСУ

### **Тема 1. Зміст дисципліни. Уявлення про метрологію, стандартизацію та єдність вимірювань**

Зміст і завдання курсу. Поняття про вимірювання фізичних величин. Особливості електричних вимірювань. Роль електричних вимірювань у господарській діяльності й наукових дослідженнях. Короткий історичний огляд розвитку інформаційно-вимірювальної техніки. Використання засобів електричних вимірювань на підприємствах України.

### *Методичні вказівки*

У цій темі подається огляд курсів, що вивчаються, підкреслюється важливість електричних вимірювань у різних галузях науково-практичної діяльності.

Варто звернути увагу на переваги електричних вимірювань будь-яких фізичних величин як найбільш точних, швидкодіючих, що дозволяють на виході одержати уніфіковані сигнали для наступної обробки обчислювальною технікою. Необхідно оцінити, яку роль відіграють електричні вимірювання при розв'язанні різноманітних науково-практичних задач.

Джерела: [2, с. 5–60], [4, с. 12–16], [7, с. 4–16].

#### *Питання для самоперевірки*

1. Сформулюйте визначення фізичної величини.
2. Дайте визначення метрології, як науки.
3. Вкажіть основні історичні етапи розвитку засобів вимірювання.
4. Перерахуйте переваги вимірювання неелектричних величин електричними приладами.
5. Проаналізуйте способи застосування електричних вимірювань на виробництві.

### **Тема 2. Загальні відомості про електричні вимірювання**

Визначення електричних вимірювань. Предмет і завдання метрології та стандартизації. Визначення, класифікація, структурні схеми засобів вимірювань. Еталони, зразкові й робочі міри. Схема передачі розмірів одиниць фізичних величин від еталонів до робочих засобів вимірювань. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Класифікація методів вимірювань.

### *Методичні вказівки*

Ця тема є загальною для всього курсу й містить велику кількість різних понять, визначень, що характеризують цю дисципліну.

При вивченні матеріалу про еталони, зразкові й робочі міри необхідно уточнити відомості про систему фізичних величин, твердо знати їхні розмірності, а також уміти показати органічний зв'язок між різними фізичними величинами. Варто знати конструкцію і принципи відтворення різних величин: опору, сили, струму, напруги (ЕРС) та інших. Необхідно добре усвідомити різні класифікації, використовувані в курсі: засобів вимірювань, методів вимірювань та інші. Гарне знання матеріалу дозволить технічно грамотно вибирати засоби й методи вимірювань залежно від меж вимірювань, необхідної точності, умов вимірювань і т.п.

Джерела: [1, с. 39–56], [2, с. 62–120], [4, с. 16–31], [7, с. 16–56], [2, с. 120–144], [4, с. 31–46].

### *Питання для самоперевірки*

1. Подайте визначення вимірюванню.
2. Розкрийте термін «електровимірювальний прилад».
3. Проведіть класифікацію електровимірювальних приладів.
4. Зазначте, як правильно визначається клас точності приладу.
5. Дайте визначення міри.
6. Проаналізуйте методи вимірювань.

### **Тема 3. Похибки вимірювань і обробка результатів вимірювань**

Основні поняття. Класифікація похибок. Підвищення точності статистичних вимірювань шляхом багаторазових вимірювань. Можливість оцінки низки спостережень і похибки результату вимірювання на підставі цих дослідів. Підвищення точності однократних вимірювань. Підсумовування похибок. Динамічна похибка. Нормування характеристик засобів вимірювань відповідно до діючих стандартів.

### *Методичні вказівки*

Вивченню цієї теми необхідно приділити особливу увагу, тому що похибки вимірювань характеризують їхню точність, яка, у свою чергу, визначає якість виробничого процесу й, відповідно, якість продукції, яка випускається. Потрібно знати, що таке абсолютна, відносна і приведена похибки, як визначається клас точності приладів. Необхідно знати методи виключення систематичних похибок, методи обробки результатів вимірювань при оцінці випадкових похибок, методи підсумовування похибок, а також показники точності вимірювань і форми представлення результатів вимірювань (ГОСТ 8.011-72).

Джерела: [1, с. 39–56], [2, с. 31–74].

### *Питання для самоперевірки*

1. Подайте визначення абсолютної та відносної похибок вимірювань.
2. Поясніть, що таке дійсне значення вимірюваної величини.
3. Порівняйте систематичні і випадкові похибки.
4. Поясніть, яка похибка називається основною.
5. Перерахуйте джерела додаткових похибок.

### **Тема 4. Вимірювання електричних величин електромеханічними приладами**

Принцип дії, будова й теорія електромеханічних вимірювальних приладів. Вимірювальні перетворювачі струму та напруги. Вимірювання постійних струмів і напруг, кількості електрики. Вимірювання змінних струмів і напруг приладами з термоелектричними й напівпровідниковими перетворювачами. Електронні вольтметри. Вимірювання змінних струмів і напруг електромагніт-

ними, електродинамічними й електростатичними приладами. Вимірювання параметрів електричних кіл. Вимірювання частоти, зсуву фаз, потужності, енергії. Аналіз кривих змінного струму.

#### *Методичні вказівки*

Тема є однією з основних у курсі. Унаслідок її вивчення студент має знати будову і принцип дії приладів усіх систем електромеханічної групи, уміти скласти рівняння моменту обертання і шкали приладу. Знати основні експлуатаційні характеристики, властивості й галузь застосування приладів кожної системи. Варто звернути увагу на загальну теорію логометрів, усвідомити їхні переваги і сферу застосування.

Джерела: [2, с. 144–170], [4, с. 46–56], [1, с. 56–79], [2, с. 170–193], [4, с. 59–120].

#### *Питання для самоперевірки*

1. Назвіть основні деталі та вузли вимірювального приладу.
2. Напишіть і поясніть загальний вираз обертального моменту.
3. Поясніть, якими способами створюються протидіючий момент і момент заспокоєння в показникових приладах.
4. Наведіть співвідношення для розрахунку шунтів і додаткових опорів.
5. Поясніть, чому в амперметрів і вольтметрів усіх систем, крім магнітоелектричної, шкала нерівномірна.
6. Поясніть, чому показання приладів із напівпровідниковими перетворювачами залежать від форми кривої прикладеної напруги.
7. Перерахуйте можливі похибки у вимірювальних трансформаторів.
8. Поясніть принцип дії електронних вольтметрів.
9. Поясніть будову логометра магнітоелектричної системи.
10. Поясніть будову і принцип дії ватметра, індукційного лічильника.

### **Тема 5. Вимірювання і реєстрація електричних величин, що змінюються у часі**

Способи реєстрації електричних величин, що змінюються в часі. Самописні електромеханічні прилади. Світлопроменеві осцилографи: призначення й будови. Електронно-променеві осцилографи, їхнє застосування для спостереження та реєстрації процесів в електричних колах.

#### *Методичні вказівки*

Прилади для вимірювання та реєстрації електричних і неелектричних величин, що змінюються в часі, є широко застосовуваним засобом контролю за різними технологічними процесами. Вони використовуються у всіх сферах науки й техніки.



При вивченні осцилографів головна увага має звертатися на устрій, принцип роботи, практичні прийоми роботи з ним при вимірюванні різних величин.

Джерела: [1, 158–186].

*Питання для самоперевірки*

1. Розглядаючи конструкцію самописних приладах поясніть, чому в якості вимірювального механізму використовуються прилади магнітоелектричної і феродинамічної систем.
2. Поясніть будову осцилографів і їх призначення.
3. Поясніть устрій електронно-променевої трубки.

## **Тема 6. Цифрові вимірювальні прилади й інформаційні вимірювальні системи**

Загальні відомості про цифрові вимірювальні прилади. Вузли цифрових приладів. Цифрові прилади послідовного рахунку, порівняння, вирахування і зчитування. Вимірювання напруги постійного струму, частоти і зсуву фаз. Загальні відомості про вимірювальні інформаційні системи. Системи автоматичного контролю. Телевимірювальні системи.

*Методичні вказівки*

При вивченні цієї теми передбачається тільки ознайомлення із загальними відомостями, класифікаціями, основними характеристиками і сферою застосування цифрових вимірювальних приладів.

Варто звернути увагу на зростаючу роль вимірювальних інформаційних систем, коли необхідно вимірювати чи контролювати у процесі виробництва та дослідження сотні й тисячі різних фізичних величин, що характеризують той чи інший процес за його автоматизації й обробки отриманої інформації на ЕОМ.

Джерела [1, с. 18–256], [2, с. 93–234], [4, с. 79–239].

*Питання для самоперевірки*

1. Проаналізуйте, які переваги мають цифрові вимірювальні прилади в порівнянні з аналоговими.
2. Поясніть, які похибки є у цифрових приладів.
3. Дайте класифікацію величин, для вимірювання яких застосовують цифрові прилади.
4. Наведіть структурні схеми інформаційно-вимірювальних, телевимірювальних систем.

## **Тема 7. Вимірювання електричних величин методами порівняння з мірою**

Загальна теорія мостових схем. Принципи побудови мостів постійного і змінного струмів для вимірювання параметрів електричних кіл. Основи теорії компенсаційних кіл, принципи дії потенціометрів постійного і змінного струмів і застосування їх для вимірювання електричних величин. Автоматичні мости й потенціометри.

### *Методичні вказівки*

Мости й потенціометри знаходять широке застосування в різних виробничих установках, при вимірюванні як електричних, так і неелектричних величин.

При вивченні мостів за основу варто взяти схему одинарного моста, записати умову його рівноваги, зробити висновки про можливі режими його роботи, засвоїти метод вимірювання опорів і діапазон вимірюваних величин. При розгляді подвійного моста звернути увагу на особливості схеми, що дозволяють застосовувати його для вимірювання дуже малих опорів. Необхідно твердо засвоїти співвідношення фазних вузлів пліч моста, за якого можливе його зрівноважування. Варто розібратися в мостових схемах для вимірювань індуктивності, ємності, кута втрат конденсаторів, добротності котушок.

При вимірюванні неелектричних величин широко застосовують автоматичні мости і потенціометри. Звернути увагу на рівняння чутливості схеми одинарного моста постійного струму.

Джерела: [1, с. 189–216], [140–150].

### *Питання для самоперевірки*

1. Поясніть, у чому полягає сутність компенсаційного методу вимірів.
2. За допомогою графічного зображення, поясніть, які існують схеми мостів для вимірювання ємності й індуктивності.
3. Сформулюйте порядок вимірювання опору за допомогою потенціометра постійного струму.
4. Назвіть нульові індикатори, що застосовують у мостах постійного і змінного струму.

## **Тема 8. Вимірювання магнітних величин**

Основні методи вимірювання магнітних величин. Вимірювання магнітного потоку балістичним гальванометром і веберметром. Застосування ефекту Хола для вимірювання магнітної індукції. Вимірювання змінного магнітного потоку і втрат у сталі.

### *Методичні вказівки*

Завдання, що вирішуються за допомогою магнітних вимірювань, дуже різні. Завданням цього курсу є вивчення основних методів вимірювання постійного і змінного в часі магнітного потоку, індукції й напруженості магнітного поля, а також визначення статичних і динамічних характеристик магнітних матеріалів.

Варто звернути увагу на особливості будову балістичного гальванометра й веберметра.

Студенти мають знати ватметровий метод вимірювання втрат у сталі.

Література: [1, с. 303–352], [2, с. 248–362].

### *Питання для самоперевірки*

1. Порівняйте, яким чином проводяться вимірювання постійного і змінного магнітного потоків.
2. Поясніть, як виміряти напруженість, індукцію магнітного поля?
3. Подайте визначення статичних і динамічних характеристик феромагнітних матеріалів.
4. Розкрийте метод вимірювання втрат у сталі.

## **Тема 9. Вимірювання неелектричних величин**

Принцип дії приладів для вимірювання неелектричних величин електричними методами. Вимірювальні перетворювачі неелектричних величин на електричні. Вимірювання механічних зусиль, тисків і напруг, температур складу й концентрації речовин.

### *Методичні вказівки*

При вивченні перетворювачів неелектричних величин на електричні варто звернути увагу на їхню класифікацію, будову, принцип дії, сферу застосування та основні характеристики, зокрема, чутливість, точність і діапазон вимірювань. Особливу увагу приділити зворотним перетворювачам і їхньому використанню у приладах зрівноважування.

Джерела: [4, с. 239–370].

### *Питання для самоперевірки*

1. Намалюйте структурну схему приладу для вимірювань неелектричних величин.
2. Дайте класифікацію вимірювальних перетворювачів за їх принципом дії?
3. Поясніть, які перетворювачі застосовуються для вимірювань теплотехнічних, геометричних, механічних величин?

### 3. ЗРАЗКОВИЙ ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1. Обробка результатів вимірювань.
2. Перевірка електровимірювальних приладів.
3. Вимірювальні перетворювачі струму та напруги.
4. Дослідження загальних властивостей показникових приладів.
5. Вимірювання електричних величин електронним осцилографом.
6. Вимірювання параметрів електричних кіл:  $R$ ,  $L$ ,  $M$  і  $C$ .

### 4. КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

Вимоги до виконання контрольних робіт викладені в розділі «Загальні вказівки».

Номер варіанта до виконання контрольної роботи обирають за останньою цифрою номеру залікової книжки. За вказівкою викладача студент виконує або першу, або другу контрольні роботи.

Контрольна робота № 1 включає задачі 1, 2, 3 і питання 1–20.

Контрольна робота № 2 включає задачі 4, 5 і питання 21–40.

Таблиця 1 – Контрольні запитання відповідно до номеру варіанта

<i>Варіанти</i>	<i>№ питань</i>			
1	1	11	21	31
2	2	12	22	32
3	3	13	23	33
4	4	14	24	34
5	5	15	25	35
6	6	16	26	36
7	7	17	27	37
8	8	18	28	38
9	9	19	29	39
0	10	20	30	40

### Перелік контрольних запитань

1. Виведіть рівняння шкали приладів магнітоелектричної системи. Опишіть властивості та сферу застосування цих приладів.

2. Поясніть принцип дії приладів термоелектричної системи, виведіть рівняння шкали, вкажіть властивості та галузь застосування.

3. Виведіть рівняння шкали приладів з випрямлячами, наведіть необхідні схеми, поясніть причину впливу на показання цих приладів форми кривої струму чи напруги, які вимірюються.

4. Поясніть принцип дії приладів електромагнітної системи. Виведіть рівняння шкали цих приладів. Укажіть їхні властивості та сферу застосування.

5. Виведіть рівняння шкали приладів електродинамічної системи, укажіть на їхні властивості та галузь застосування.

6. Поясніть, як улаштовані електростатичні вольтметри. Виведіть рівняння шкали цих приладів, укажіть властивості та сферу їхнього застосування. Розкрийте способи розширення меж вимірювань електростатичних вольтметрів.

7. Виведіть рівняння шкали магнітоелектричного й електродинамічного логометрів. Укажіть на властивості та галузь їхнього застосування.

8. Поясніть принцип роботи приладів індукційної системи. Укажіть на властивості та галузь їхнього застосування.

9. Подайте визначення чутливості стрілочного приладу, лічильника енергії, мостової схеми.

10. Проведіть класифікацію похибок вимірювань.

11. Поясніть, у яких режимах працюють вимірювальні трансформатори струму і напруги. Розберіть фізичні процеси і наслідки режиму «холостого ходу» трансформатора струму. Наведіть вимірювальну схему.

12. Проаналізуйте, які похибки мають вимірювальні трансформатори. Укажіть на причини їхнього виникнення і способи зменшення. Поясніть, як задається припустиме навантаження вимірювальних трансформаторів?

13. Накресліть вимірювальну схему, у якій амперметр, вольтметр і ватметр включені через вимірювальні трансформатори. Поясніть, як у цьому випадку визначається ціна поділки кожного приладу.

14. Накресліть схему одинарного моста змінного струму, запишіть умову рівноваги і проаналізуйте її. Укажіть галузь застосування мостів змінного струму.

15. Накресліть принципову схему компенсатора постійного струму, поясніть призначення всіх його елементів і опишіть порядок вимірювань напруги чи ЕРС.

16. Накресліть принципову схему компенсатора постійного струму, поясніть призначення всіх його елементів. Укажіть, як за допомогою цього приладу можна виміряти струм і опір?

17. Накресліть схеми одинарного й подвійного мостів постійного струму. Запишіть для них умови рівноваги й укажіть галузь застосування.

18. Проведіть класифікацію омметрів залежно від вимірювальної схеми та конструкції вимірювального механізму. Проаналізуйте способи встановлення покажчика на відмітку «нуль». Поясніть, якими бувають шкали омметрів. Накресліть схеми омметрів.

19. Перерахуйте способи зменшення впливу зовнішніх магнітних полів на показання приладів різних систем. Поясніть будову астатичного приладу електромагнітної системи за допомогою його ескізу.

20. Перелічить основні класифікації електровимірювальних приладів, зазначте, які основні технічні дані про прилад відображаються на його шкалі і як вони позначаються згідно з ГОСТ 23217-78.

21. Коротко опишіть будову і принцип роботи електромеханічного осцилографа, укажіть на його основні характеристики.

22. На прикладі умовної схеми, поясніть будову і принцип роботи електронно-променевої трубки електронного осцилографа. Зазначте галузь застосування осцилографа.

23. Накресліть блок-схему електронного осцилографа й поясніть призначення його вузлів.

24. Наведіть визначення цифрового приладу. Перелічить основні характеристики цифрових приладів.

25. Проаналізуйте способи вимірювання напруженості магнітного поля.

26. Поясніть вимірювання напруженості (індукції) магнітного поля з використанням ефектів Хола.

27. Поясніть балістичний метод вимірювання магнітного потоку. Накресліть вимірювальну схему.

28. Поясніть будову індукційного лічильника активної енергії, схему його вмикання в електричне коло та визначення постійної лічильника. Поясніть явище самоходу лічильника і способи його усунення.

29. Розберіть будову феродинамічного приладу, його переваги й недоліки порівняно з електродинамічним приладом.

30. Накресліть дві можливі схеми вмикання ватметра в коло постійного струму й поясніть, у чому полягає їхня різниця.

31. Накресліть схеми одного, двох і трьох ватметрів для вимірювання активної потужності в трифазних колах. Поясніть, коли варто застосовувати кожен зі схем.

32. Накресліть схему й векторну діаграму однофазного електродинамічного ватметра.

33. На прикладі схеми, поясніть, як за показаннями приладів, уключених за схемою двох ватметрів для вимірювання активної потужності у трифазному колі із симетричним навантаженням, визначити реактивну потужність і коефіцієнт потужності.

34. Розгляньте схеми вимірювання реактивної потужності у трифазному колі із симетричним навантаженням за допомогою одного і двох ватметрів активної потужності. Наведіть схеми, векторні діаграми.

35. Розберіть методику вимірювання частоти й кута зсуву фаз за допомогою електронного осцилографа.

36. Поясніть методику визначення опору кола змінному струму за допомогою амперметра, вольтметра та ватметра. Проведіть розрахунок параметрів кола. Накресліть вимірювальну схему.

37. Надайте короткий опис структурних схем приладів для вимірювання неелектричних величин.

38. Поясніть принцип дії та блок-схему інтегруючого цифрового вольтметра.

39. Приведіть структурну схему цифрового фазометра й подайте її опис.

40. Зобразіть блок-схему та поясніть принцип дії цифрового частотоміра.

41. Наведіть визначення логометра. Зазначте сферу застосування логометрів різних систем, їхні основні переваги.

## Задача № 1

### Методи і похибки електричних вимірювань

Для вимірювання опору непрямим методом використовувалися два прилади: амперметр і вольтметр магнітоелектричної системи. Вимірювання опору проводилися при температурі  $T$ , °C приладами групи А, Б чи В. Дані приладів, їхні показання, а також група приладів і температура навколишнього повітря, за якою здійснюється вимірювання опору, наведені в таблиці. 4.1 за варіантами.

#### Робоче завдання

1. Визначити величину опору  $R'_X$  за показаннями приладів і накреслити схему.
2. Визначити величину опору  $R_X$  з урахуванням схеми вмикання приладів.
3. Визначити найбільші можливі (відносну  $\delta_{R_X}$  і абсолютну  $\Delta R$ ) похибки результату вимірювання цього опору.
4. Визначити, у яких межах перебувають дійсні значення вимірюваного опору.

Вихідні дані для розрахунку необхідно подати у вигляді таблиці 4.2, до якої вписуються дані з таблиці 4.1, обрані за номером варіанта.

Розглянемо приклад розрахунку.

#### Розв'язання

1. Визначаємо величину опору  $R'_X$  за показаннями приладів і накреслимо схему вимірювання.

Нехай за номером варіанта отримані наступні вихідні дані (див. таблиці 4.2).

Для вибору схеми вимірювання необхідно спочатку визначити співвідношення  $\frac{R'_X}{R_A}$  і  $\frac{R_V}{R'_X}$ . А потім за найбільшим значенням прийняти та накреслити схему вмикання приладів, користуючись наступними правилами:

– коли  $\frac{R'_X}{R_A} > \frac{R_V}{R'_X}$ , амперметр включається після вольтметра зі сторони джерела живлення (рис. 4.1);

– коли  $\frac{R'_X}{R_A} < \frac{R_V}{R'_X}$ , амперметр включається до вольтметра з боку джерела живлення (рис. 4.2).



Таблиця 4.1. – Числові дані до задачі № 1

Найменування величин		Одиниця вимірювання	Передостання цифра № залікової книжки		Остання цифра № залікової книжки									
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дані вольтметра	Межа вимірювання $U_H$	В	—		300	150	15	75	300	30	300	150	75	30
	Струм повного відхилення стрілки приладу при $U_H$	мА	—		3	7,5	1	1	7,5	1	1	3	1	7,5
	Клас точності $\gamma_V$	%	—		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	230	130	10	70	260	25	180	110	60	56
		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 $I_H$	А	—		1,5	3,0	1,5	7,5	0,3	15	1,5	1,5	0,3	15
	Падіння напруги на затисках приладу при $I_H$	мВ	—		100	95	100	140	27	100	100	100	27	100
	Клас точності $\gamma_I$	%	—		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	0,8	0,3	5	
Група приладів		—	—		А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А
Температура навколишнього середовища, $T$		°С	—		10	0	-10	30	10	0	25	30	40	10

Таблиця 4.2. – Вихідні дані за власним варіантом (приклад)

	Найменування величин	Позначення	Одиниці вимірювання	Показання приборів	Техн. хар-ки приборів
Дані вольметра	Межа вимірювання	$U_{нV}$	В		150
	Струм повного відхилення стрілки при $U_{нV}$	$I_{нV}$	мА		7,5
	Клас точності	$\gamma_V$	%		0,5
	Показання вольметра	$U$	В	140	
Дані амперметра	Межа вимірювання	$I_{нA}$	А		3,0
	Падіння напруги на затискачах приладу при $I_{нA}$	$U_{нA}$	мВ		95
	Клас точності	$\gamma_I$	%		1,0
	Показання амперметра	$I$	А	0,5	
	Група приладів	Б			
Температура навколишнього середовища		$T$	°С	0	

1.1 Розраховуємо очікуваний опір  $R'_x = \frac{U}{I} = \frac{140}{0,5} = 280 \text{ Ом}$ .

1.2 Визначаємо опори приладів:  $R_A = \frac{U_{нA}}{I_{нA}} = \frac{95 \cdot 10^{-3}}{3,0} = 31,6 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ ;

$R_V = \frac{U_{нV}}{I_{нV}} = \frac{150}{7,5 \cdot 10^{-3}} = 20 \cdot 10^3 \text{ Ом}$ .

1.3 Визначаємо співвідношення:

$\frac{R'_x}{R_A} = \frac{280}{31,6 \cdot 10^{-3}} = 8,86 \cdot 10^3$  ;  $\frac{R_V}{R'_x} = \frac{20 \cdot 10^3}{280} = 71,43$ .

За результатами розрахунків видно, що  $\frac{R'_x}{R_A} > \frac{R_V}{R'_x}$ .

1.4 Обираємо схему для вимірювань, що зображена на рис. 4.2. (з підключенням вольметра на вході кола).

2. Визначаємо величину опоры  $R_x$  з урахуванням схеми вмикання приладів і величин внутрішніх опорів приладів  $R_A$  і  $R_V$ .

За такого способу підключення приладів показання вольметра будуть завищеними на величину падіння напруги на амперметрі  $U_A$ . Визначений за показаннями приладів опір  $R'_x$  буде вищий за  $R_x$ :

$R'_x = \frac{U}{I} = R_A + R_x \Rightarrow R_x = R'_x - R_A = 280 - 31,6 \cdot 10^{-3} = 279,97 \text{ Ом}$ .

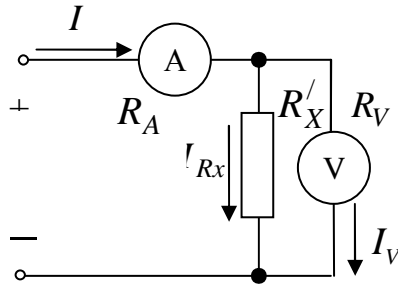


Рис. 4.1  $-\frac{R'_x}{R_A} < \frac{R_V}{R'_x}$

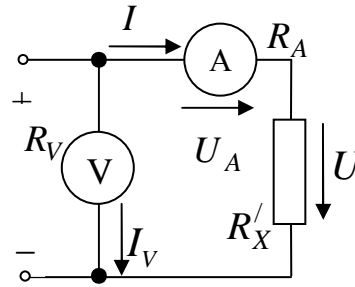


Рис. 4.2  $-\frac{R'_x}{R_A} > \frac{R_V}{R'_x}$

*Примітка.* Якщо  $\frac{R'_x}{R_A} < \frac{R_V}{R'_x}$ , обираємо схему з підключенням вольтметра

на виході кола (рис. 2). За такого способу підключення приладів показання амперметра будуть завищеними на величину  $I_V$ , тоді

$$R'_x = \frac{U}{I} = \frac{R_V \cdot R_x}{R_V + R_x} \Rightarrow R_x = \frac{R'_x \cdot R_V}{R_V - R'_x} = 28398 \text{ Ом.}$$

3. Визначаємо найбільші можливі (відносну  $\delta_{R_x}$  і абсолютну  $\Delta R$ ) похибки результату вимірювання цього опору.

Похибки електровимірювальних приладів поділяються 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.

3.1 Максимально можлива похибка непрямого вимірювання вигляду

$R = \frac{U}{I}$  складатиме суму відносної похибки вимірювання напруги і струму, тобто

$$\delta_R = \delta_V + \delta_I = \gamma_V \cdot \frac{U_{нВ}}{U} + \gamma_I \cdot \frac{I_{нА}}{I}. \text{ У зв'язку з тим, що температура навколишнього середовища відрізняється від нормальної на } 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

(нормально прийнята температура  $T=20^\circ\text{C}$ ), то необхідно враховувати, окрім основної похибки, обумовленої класом точності приладу, додаткову похибку, обумовлену відхиленням температури навколишнього середовища від нормальної. Додаткова похибка визначається за таблиці 4.4. Для вольтметра й амперметра групи Б класів точності 0,5 і 1,0 додаткові похибки відповідно дорівнюють  $\delta_{IV} = \pm 0,4$   $\delta_{II} = \pm 0,8$ .

Таким чином, максимальна відносна похибка:

$$\begin{aligned} \delta_{R_x'} &= (\delta_V + \delta_{tV}) + (\delta_I + \delta_{tI}) = (\gamma_V \cdot \frac{U_{HV}}{U} + \delta_{tV}) + (\gamma_I \cdot \frac{I_{HA}}{I} + \delta_{tI}) = \\ &= (0,5 \cdot \frac{150}{140} + 0,4) + (1,0 \cdot \frac{3,0}{0,5} + 0,8) = 1,9357 + 6,8 = 7,736 \%, \end{aligned}$$

а саме  $\delta_{R_x'} \approx \delta_{R_x} = 7,7 \%$ .

3.2 Абсолютна похибка:  $\Delta R_x = \frac{\delta_{R_x} \cdot R_x}{100\%} = \frac{7,7 \cdot 279,97}{100} = 21,55 \text{ Ом.}$

4. Визначивши абсолютну похибку, можна стверджувати, що дійсне значення вимірюваного опору перебуватиме в наступних межах:  $R_x \pm \Delta R_x = 279,97 \pm 21,55$ , тобто  $258,42 \leq R_x \leq 301,52 \text{ Ом.}$

Таблиця 4.3 – Відхилення температури повітря для різних груп приладів

Параметри навколишнього повітря	Групи приладів		
	A	B	B
Температура, °C	від + 10 до + 35	від – 30 до + 40	від – 50 до + 60

Таблиця 4.4 – Додаткова похибка приладів різних груп

Клас точності приладів	Допустима зміна показів приладів груп, %		
	A	B	B
0,05	± 0,05	—	—
0,1	± 0,1	—	—
0,2	± 0,2	± 0,15	± 0,15
0,5	± 0,5	± 0,4	± 0,3
1,0	± 1,0	± 0,8	± 0,5
1,5	± 1,5	± 1,2	± 0,8
2,5	± 2,5	± 2,0	± 1,2
4,0	± 4,0	± 3,0	± 2,0

## Задача № 2

### Вимірювання струму та напруги в колах постійного струму за допомогою вимірювальних перетворювачів

Вимірювальний механізм (ВМ) магнітоелектричної системи розрахований на струм  $I_n$  і напругу  $U_n$  і має шкалу на  $n$  поділок (таблиці 4.5).

#### Робоче завдання

1. Накреслити схему вмикання вимірювального механізму із шунтом і дати вивід формули для визначення опору шунта  $R_{ш}$ .
2. Визначити сталу вимірювального механізму за струмом  $C_I$ , величину опору шунта  $R_{ш}$  і сталу амперметра  $C_I'$ , якщо цим приладом потрібно вимірювати струм  $I_в$ .
3. Визначити потужність, споживану амперметром після розширення меж вимірювання за струмом.
4. Накреслити схему вмикання вимірювального механізму з додатковим опором і навести виведення формули для визначення додаткового опору  $R_д$ .
5. Визначити сталу вимірювального механізму за напругою  $C_U$ , величину додаткового опору  $R_д$  і сталу вольтметра  $C_U'$ , якщо цим приладом потрібно вимірювати напругу  $U_в$ .
6. Визначити потужність, споживану вольтметром при включенні додаткового опору.

Числові дані для розрахунку потрібно подати у вигляді таблиці 4. 6.

Розглянемо приклад розрахунку.

#### Розв'язання

1. Найпростіший шунт включається в електричне коло паралельно вимірювальному механізму (рис. 4.3). Напру-

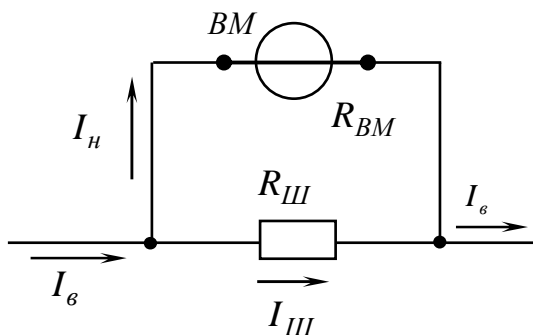


Рис. 4.3

га на затискачах шунта і ВМ однакова:

$$(I_в - I_n) \cdot R_{ш} = I_n \cdot R_{ВМ}, \text{ звідти}$$

$$\left( \frac{I_в}{I_n} - 1 \right) \cdot R_{ш} = R_{ВМ}.$$

Уведемо коефіцієнт шунтування

$$p = \frac{I_в}{I_n}. \text{ Тоді } R_{ш} = \frac{R_{ВМ}}{p-1}.$$

Таблиця 4.5 – Числові дані до задачі № 2

Найменування величин	Одиниця вимірювання	Передостання цифра № залікової книжки		Остання цифра № залікової книжки									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напруга $U_B, U_\delta$	мВ	—		45	75	50	100	75	60	100	75	80	100
Струм $I_B, I_\delta$	мА	—		5	7,5	10	10	15	30	25	25	40	50
Кількість поділок, $n$	діл.	—		50	75	100	50	150	75	100	150	50	100
Напруга, $U_n$	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	150	250	30	150	10
Струм, $I_n$	А	0	1	1,6	2,0	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 4.6. – Вихідні дані за власним варіантом (приклад)

Найменування величин	Позначення	Одиниці вимір.	Номинальні дані	Технічні дані
Напруга ВМ	$U_n$	мВ	75	
Струм ВМ	$I_n$	мА	7,5	
Кількість поділок	$n$	поділ.	75	
Напруга	$U_\epsilon$	В		300
Струм	$I_\epsilon$	А		2,0

2. Стала ВМ за струмом  $C_I$  (ціна поділки):

$$C_I = \frac{I_n}{n} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{75} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ А/под.}$$

$$\text{Коефіцієнт шунтування } p = \frac{I_\epsilon}{I_n} = \frac{2,0}{7,5 \cdot 10^{-3}} = 0,27 \cdot 10^3 = 270.$$

$$\text{Опір ВМ: } R_{BM} = \frac{U_n}{I_n} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{7,5 \cdot 10^{-3}} = 10 \text{ Ом.}$$

$$\text{Опір шунта: } R_{III} = \frac{R_{BM}}{p-1} = \frac{10}{270-1} = 0,04 \text{ Ом.}$$

Стала амперметра за струмом після підключення шунта:

$$C_I' = \frac{I_\epsilon}{n} = \frac{2,0}{75} = 0,27 \text{ А/под.}$$

3. Потужність, споживана амперметром, при вимірюваному значенні стру-

$$\text{му: } P_A = I_\epsilon^2 \cdot R_A, \text{ де } R_A = \frac{R_{III} \cdot R_{BM}}{R_{III} + R_{BM}} = \frac{0,04 \cdot 10}{0,04 + 10} = 0,04 \text{ Ом – опір амперметра.}$$

$$P_A = 2,0^2 \cdot 0,04 = 0,16 \text{ Вт.}$$

4. Додатковий опір вмикається послідовно з вимірювальним механізмом (рис. 4). Струм ВМ можна подати у вигляді двох окремих співвідношень:

$$I_\epsilon = \frac{U_n}{R_{BM}} \text{ або } I_\epsilon = \frac{U_\epsilon}{R_\partial + R_{BM}}.$$

$$\text{Прирівнюючи ці співвідношення, отримаємо } \frac{U_\epsilon}{U_n} - 1 = \frac{R_\partial}{R_{BM}}.$$

Позначимо співвідношення  $\frac{U_{\epsilon}}{U_n} = p$  – коефіцієнт розширення меж *ВМ* за напругою (коефіцієнт додаткового опору). Тоді формула для розрахунку величини додаткового опору набуде вигляду  $R_{\partial} = R_{BM} \cdot (p - 1)$ .

5. Стала *ВМ* за напругою (ціна розподілу):

$$C_V = \frac{U_n}{n} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{75} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ В/под.}$$

Опір додаткового резистора:

$$R_{\partial} = \left( \frac{U_{\epsilon}}{U_n} - 1 \right) \cdot R_{BM} = \left( \frac{300}{75 \cdot 10^{-3}} - 1 \right) \cdot 10 = 39990 \text{ Ом.}$$

Стала вольтметра при включенні додаткового опору:

$$C_V' = \frac{U_n}{n} = \frac{300}{75} = 4 \text{ В/под.}$$

6. Потужність, споживана вольтметром при включенні додаткового опору:

$$P_V = \frac{U_B^2}{R_{\partial} + R_{BM}} = \frac{300^2}{39990 + 10} = 2,25 \text{ Вт.}$$

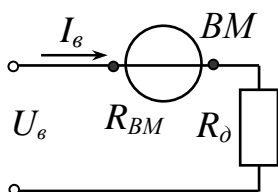


Рис. 4.4



### Задача № 3

#### Вимірювання в колах змінного несинусоїдного струму

##### Робоче завдання

1. У коло несинусоїдного струму увімкнені амперметри магнітоелектричної й електродинамічної систем. Амперметри мають однакові номінальні струми  $I_n = 5 \text{ A}$  і шкали з однаковою номінальною кількістю поділок  $n = 100$ .

Накреслити схему електричного кола й визначити, на яку число поділок шкали відхилиться стрілка:

а) магнітоелектричного амперметра;

б) електродинамічного амперметра, якщо в колі проходить струм

$$i = I^{(0)} + I_m^{(1)} \cdot \sin \omega t + I_m^{(3)} \cdot \sin(3\omega t \pm \psi^{(3)}).$$

Побудувати в масштабі в єдиних координатах графіки заданого струму за час одного періоду основної гармоніки струму. Значення  $I^{(0)}$ ,  $I_m^{(1)}$ ,  $I_m^{(3)}$  і  $\psi^{(3)}$  за варіантами вказані в таблиці 4.7.

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

Накреслити схему електричного кола й визначити, на яке число поділок шкали відхилиться стрілка:

а) електродинамічного амперметра;

б) детекторного амперметра, якщо в колі проходить струм

$$i = I_m^{(1)} \cdot \sin \omega t + I_m^{(3)} \cdot \sin(3\omega t \pm \psi^{(3)}).$$

Значення  $I_m^{(1)}$ ,  $I_m^{(3)}$  і  $\psi^{(3)}$  для окремих варіантів задані в таблиці 4.7.

Числові дані для розрахунку потрібно подати у вигляді таблиці 4.8.

Розглянемо приклад розрахунку.

##### Вирішення

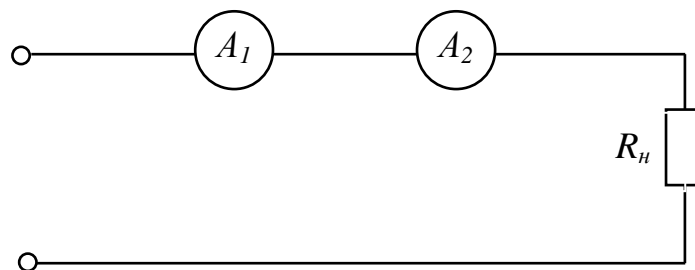


Рис. 4.5 – Схема включення амперметрів двох систем в коло навантаження  $R_n$

Таблиця 4.7 – Числові дані до задачі № 3

Найменування величин	Одиниця вимірювання	Передостання цифра № залікової книжки		Остання цифра № залікової книжки									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кут $\psi^{(3)}$	рад.	—		0	$\pi/6$	$\pi$	$\pi/3$	$\pi/2$	$\pi$	$\pi/6$	0	$\pi$	$\pi/3$
Струм $I^{(0)}$	A	—		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Струм $I_m^{(1)}$	A	0	5	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4,5
	A	1	6	4,0	4,5	3,8	3,2	3,0	4,4	4,0	3,5	3,0	4,0
	A	2	7	3,5	3,0	4,0	3,4	3,6	4,2	3,8	4,0	3,5	4,2
	A	3	8	3,0	2,5	4,2	3,6	4,0	3,5	4,4	4,5	4,0	3,8
	A	4	9	2,5	3,5	4,4	3,8	4,5	3,8	4,2	3,6	4,2	4,4
Струм $I_m^{(3)}$	A	0	1	2,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5	1,0	2,0
	A	6	2	2,0	2,5	1,8	1,4	2,0	1,2	1,8	1,8	1,2	2,3
	A	7	3	1,5	1,0	2,0	1,6	2,5	1,4	1,6	2,0	2,2	2,8
	A	8	4	1,0	1,5	2,2	2,5	1,2	1,6	1,5	2,4	1,8	3,0
	A	9	5	1,5	2,0	2,4	2,0	2,6	1,8	1,4	2,5	1,6	3,2

Таблиця 4.8 – Вихідні дані за власним варіантом (приклад)

Найменування величини	Позначення	Одиниці вимірювання	Передостання цифра залікової книжки	Остання цифра залікової книжки
Струм нульової гармоніки	$I^{(0)}$	А		1,0
Струм першої гармоніки	$I_m^{(1)}$	А	4,0	
Струм третьої гармоніки	$I_m^{(3)}$	А	2,0	
Початкова фаза третьої гармоніки	$\varphi^{(3)}$	рад		$\pi/6$

1. Розрахунок для амперметрів магнітоелектричної й електродинамічної систем.

1.1 Рухомі частини амперметра магнітоелектричної системи завдяки великому моменту інерції не встигає за миттєвими змінами обертового моменту й реагує на його середнє значення.

Середнє значення струму

$i = I^{(0)} + I_m^{(1)} \cdot \sin(\omega t) + I_m^{(3)} \cdot \sin(3\omega t \pm \varphi^{(3)}) = 1 + 4 \cdot \sin(\omega t) + 2 \cdot \sin(\omega t + \pi/6)$  за період  $T$  дорівнює постійній складовій струму  $I^{(0)}$ . Відповідно, обертовий момент, що діє на рухому рамку магнітоелектричного ВМ, буде дорівнювати  $M = \psi_o \cdot I_{cp}$ , де  $\psi_o = B \cdot S \cdot W$ ;  $B$  – стала потокозчеплення з рамкою,  $S$  – площа рамки,  $W$  – кількість витків рамки,  $I_{cp} = I^{(0)}$  – сталий складник струму рамки.

Обертовий момент урівноважується протидіючим моментом  $M_{np} = M_o \cdot \alpha$ , де  $M_o$  – питомий протидіючий момент. У положенні рівноваги  $\psi_o \cdot I_{cp} = M_o \cdot \alpha$ , звідти кут відхилення рамки  $\alpha = \frac{\psi_o}{M_o} \cdot I_{cp}$ . Рівняння шкали після введення чутливості за струмом  $S_I = \frac{\psi_o}{M_o}$  і сталої  $C_I = \frac{1}{S_I} = \frac{I_n}{n}$  набуває вигляду  $\alpha = \frac{1}{C_I} \cdot I_{cp}$  або  $\alpha = S_I \cdot I_{cp}$ , де  $S_I = \frac{n}{I_n}$ .

Кількість поділок, на яку відхиляється стрілка магнітоелектричного ам-

перметра, буде дорівнювати  $n_1 = \frac{100}{5} \cdot 1 = 20$  поділкам.

1.2 Кут відхилення рухомої котушки електродинамічного амперметра  $\alpha = \frac{1}{M_0} \cdot \frac{dM_{1,2}}{d\alpha} \cdot I^2$ , де  $M_{1,2}$  – взаємна індуктивність рухомої й нерухомої котушок механізму,  $M_0$  – питомий протидіючий момент пружини,  $I$  – діюче значення струму.

Якщо періодичний синусоїдний струм описується формулою вигляду:

$i(t) = I^{(0)} + \sum_{n=1}^{\infty} I_m^{(n)} \cdot \sin(n\omega t + \varphi^{(n)})$ , то його діюче значення дорівнює

$$I = \sqrt{I^{(0)2} + I_m^{(1)2} + I_m^{(2)2} + I_m^{(3)2} \dots}$$

Для нашого випадку  $I^{(0)} = 1$  А,  $I^{(1)} = \frac{I_m^{(1)}}{\sqrt{2}} = \frac{4}{\sqrt{2}}$  А;  $I^{(3)} = \frac{I_m^{(3)}}{\sqrt{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}}$  А.

Тоді діюче значення струму  $I = \sqrt{1^2 + \left(\frac{4}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)^2} \approx 3,317$  А.

Кількість поділок, на яку відхилиться стрілка електродинамічного амперметра, буде дорівнювати  $n_2 = \frac{100}{5} \cdot 3,317 = 66,34$  поділкам.

1.3 Побудуємо в масштабі в одних вісях координат графіки заданого струму  $i = 1 + 4 \cdot \sin(\omega t) + 2 \cdot \sin(\omega t + \pi/6)$  і окремих його гармонік за час одного періоду основної гармоніки струму.

Результати розрахунків для побудови наведені в таблиці 4.9, а графік – на рис. 4.6.

2. Розрахунок для амперметрів електродинамічної та детекторної систем.

2.1 Діюче значення періодичного синусоїдного струму:

$$i = I_m^{(1)} \cdot \sin(\omega t) + I_m^{(3)} \cdot \sin(3\omega t \pm \varphi^{(3)}) = 4 \cdot \sin(\omega t) + 2 \cdot \sin(\omega t + \pi/6),$$

$$I = \sqrt{I_m^{(1)2} + I_m^{(3)2}} = \sqrt{\left(\frac{I_m^{(1)}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{I_m^{(3)}}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{4}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)^2} = 3,162 \text{ А.}$$

Відхилення стрілки електродинамічного амперметра:

$$n_1 = \frac{100}{5} \cdot 3,161 = 63,24 \text{ поділок.}$$

2.2 За допомогою детекторного амперметра вимірюється середнє значення періодичного синусоїдного струму  $i = I_m^{(1)} \cdot \sin(\omega t) + I_m^{(3)} \cdot \sin(3\omega t \pm \varphi^{(3)})$ :

$$I_{cp} = \frac{2}{T} \cdot \int_0^{T/2} (I_m^{(1)} \cdot \sin(\omega t) + I_m^{(3)} \cdot \sin(3\omega t \pm \varphi^{(3)})) dt = \frac{2}{\pi} \cdot \left( I_m^{(1)} + \frac{1}{3} \cdot I_m^{(3)} \cdot \cos \varphi^{(3)} \right).$$

Коефіцієнт форми вимірюваного синусоїдного струму для схеми з двопівперіодним випрямленням:  $K'_\phi = \frac{I}{|I_{cp}|}$ .

Стала за струмом для синусоїдного струму:  $C'_I = C_I \cdot \frac{K'_\phi}{K_\phi}$ ,

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

Кут повороту рухомої частини приладу при заданому струмі:  $\alpha = \frac{I}{C'_I}$ .

Виконаємо необхідні розрахунки:

$$I_{cp} = \frac{2}{\pi} \cdot \left( 4 + \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot \cos \pi/6 \right) = \frac{2}{\pi} \cdot \left( 4 + \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot 0,866 \right) = 2,93 \text{ А};$$

$$K'_\phi = \frac{3,162}{2,93} = 0,79;$$

$$C_I = \frac{5}{100} = 0,05 \frac{\text{А}}{\text{под}};$$

$$C'_I = \frac{5}{100} \cdot \frac{0,79}{1,11} = 0,049 \frac{\text{А}}{\text{под}};$$

$$\alpha = \frac{3,162}{0,049} = 64,53 \approx 65 \text{ под}.$$

Таблиця 4.9 – Залежність значень струмів  $I^{(0)}, I_m^{(1)}, I_m^{(3)}, i(t)$   
від періоду  $T = \omega t = 360$  ел. град.

Значення $\omega t$ в ел. граду- сах	Нульова гармоніка $I^{(0)}$	Перша гармоніка $I_m^{(1)} \cdot \sin(\omega t)$	Третя гармоніка $I_m^{(3)} \cdot \sin(3\omega t + \pi/6)$	Значення $i(t)$
0	1	0,00	1,00	2,20
10	1	0,69	1,73	5,16
20	1	1,37	2,00	7,50
30	1	2,00	1,73	9,08
40	1	2,57	1,00	9,91
50	1	3,06	0,00	10,19
60	1	3,46	-1,00	10,19
70	1	3,76	-1,73	10,20
80	1	3,94	-2,00	10,42
90	1	4,00	-1,73	10,92
100	1	3,94	-1,00	11,62
110	1	3,76	0,00	12,28
120	1	3,46	1,00	12,59
130	1	3,06	1,73	12,27
140	1	2,57	2,00	11,11
150	1	2,00	1,73	9,08
160	1	1,37	1,00	6,30
170	1	0,69	0,00	3,08
180	1	0,00	-1,00	-0,20
190	1	-0,69	-1,73	-3,16
200	1	-1,37	-2,00	-5,50
210	1	-2,00	-1,73	-7,08
220	1	-2,57	-1,00	-7,91
230	1	-3,06	0,00	-8,19
240	1	-3,46	1,00	-8,19
250	1	-3,76	1,73	-8,20
260	1	-3,94	2,00	-8,42
270	1	-4,00	1,73	-8,92
280	1	-3,94	1,00	-9,62
290	1	-3,76	0,00	-10,28
300	1	-3,46	-1,00	-10,59
310	1	-3,06	-1,73	-10,27
320	1	-2,57	-2,00	-9,11
330	1	-2,00	-1,73	-7,08
340	1	-1,37	-1,00	-4,30
350	1	-0,69	0,00	-1,08
360	1	0,00	1,00	2,20

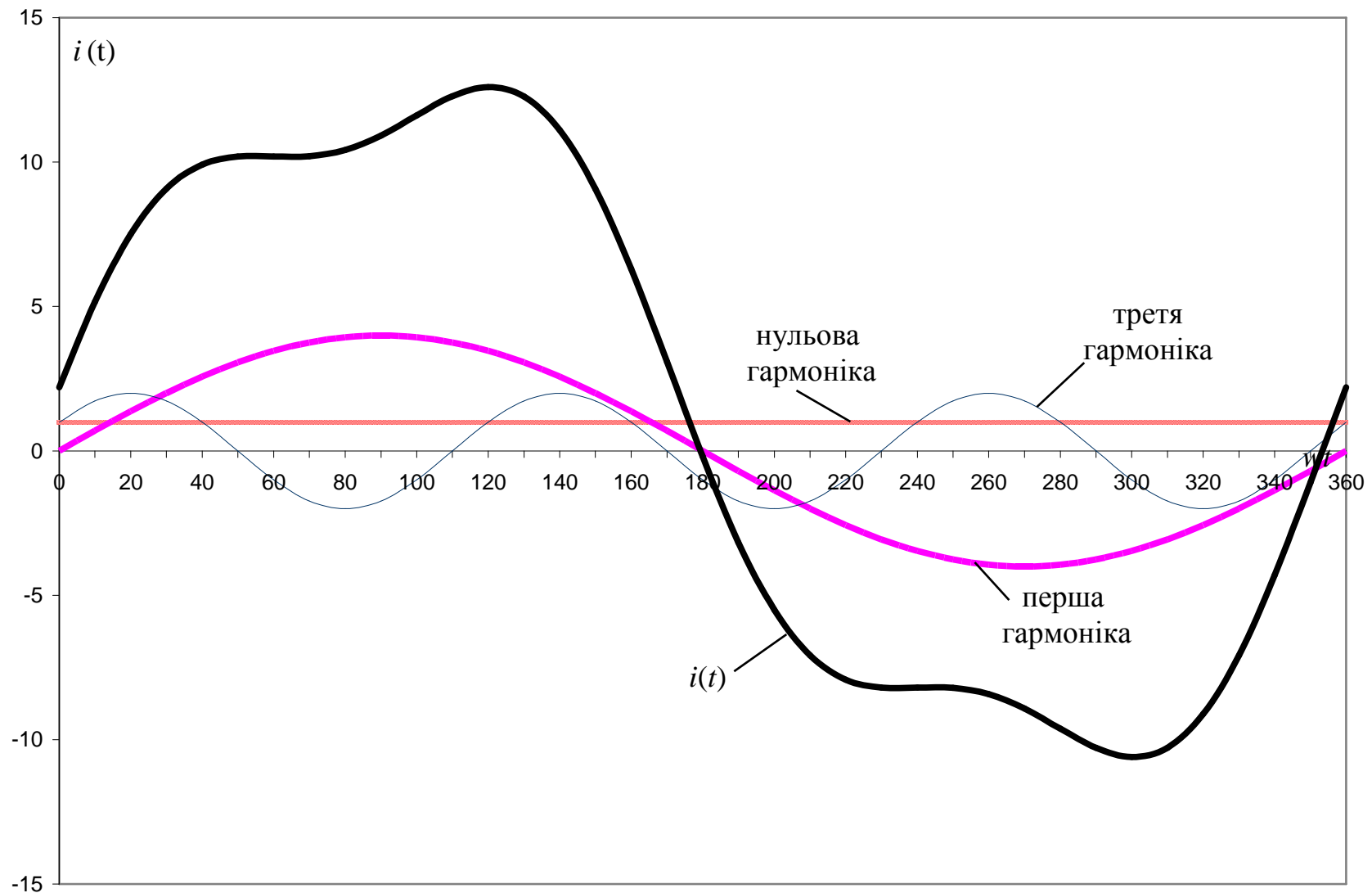


Рис. 4.6 – Графіки миттєвих значень вимірюваного струму і його гармонік

## Задача № 4

### Вимірювання активної потужності в трифазних колах

Для вимірювання активної потужності трифазного кола із симетричним активно-індуктивним навантаженням, з'єднаним зіркою чи трикутником, обра-но два однакових ватметри з кількістю поділок  $n = 150$ , номінальним струмом –  $I_n$ , номінальною напругою –  $U_n$ . Вихідні дані для розв'язання задачі наведені в таблиці 4.10.

#### Робоче завдання

1. За даними варіанта для нормального режиму роботи кола:

- накреслити схему вмикання ватметрів в електричне коло;
- побудувати в масштабі векторну діаграму, виділити на ній вектори на-пруг і струмів, під дією яких перебувають паралельні й послідовні обмотки ва-тметрів;
- визначити потужності  $P_1$  і  $P_2$ , вимірювані кожним із ватметрів;
- визначити число поділок шкали  $n_1$  і  $n_2$ , на які відхиляються стрілки ватметрів.

2. За даними варіанта при обриві однієї фази:

- накреслити схему вмикання ватметрів в електричне коло;
- побудувати в масштабі векторну діаграму, виділивши на ній вектори на-пруг і струмів, під дією яких перебувають паралельні та послідовні обмотки ватметрів;
- визначити потужності  $P_1$  і  $P_2$ , вимірювані кожним із ватметрів;
- визначити кількість поділок шкали  $n_1$  і  $n_2$ , на які відхиляються стрілки ватметрів.

Числові дані для розрахунку потрібно подати у вигляді таблиці 4.11.

Результати розрахунків занести до таблиці 4.12.

Розглянемо приклад розрахунку.

#### Розв'язання

1 Нормальний режим роботи кола

1.1 Потужність у трифазних трипровідних колах (симетричних або неси-метричних) можна виміряти за допомогою двох ватметрів. Схема вмикання двох ватметрів у трифазне коло відповідно до свого показана на рис. 4.7. Якщо навантаження включається за схемою «трикутник», схема підключення ватмет-рів не змінюється (ватметри включаються з боку трифазного джерела живлен-ня, а навантаження підключається до затискачів  $a, b, c$ ).



Таблиця 4.10 – Числові дані до задачі № 4

Найменування величин	Одиниця вимірювання	Передостання цифра № залікової книжки		Остання цифра № залікової книжки									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фазна напруга $U_{\phi}$	В	—		127	220	380	220	380	127	380	220	127	127
Схема з'єднання	—	—		∟	∟	△	∟	△	∟	△	△	∟	∟
Повна потужність кола, $S$	кВА	0	5	3,0	6,0	5,5	5,0	3,2	1,5	2,0	2,5	3,5	1,8
	кВА	1	6	3,5	5,5	6,0	5,5	3,0	2,0	2,5	2,0	3,0	2,2
	кВА	2	7	2,5	5,0	6,5	6,0	3,6	2,5	1,5	1,8	2,5	2,8
	кВА	3	8	2,0	4,5	5,0	4,5	5,0	3,0	5,0	3,0	2,0	1,4
	кВА	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
Послідовні обмотки ватметрів	—	—		$A i B$	$B i C$	$C i A$	$A i B$	$B i C$	$C i A$	$A i B$	$B i C$	$C i A$	$A i B$
Обрив фази	—	—		$A$	$B$	$ab$	$B$	$bc$	$A$	$ca$	$ab$	$C$	$A$

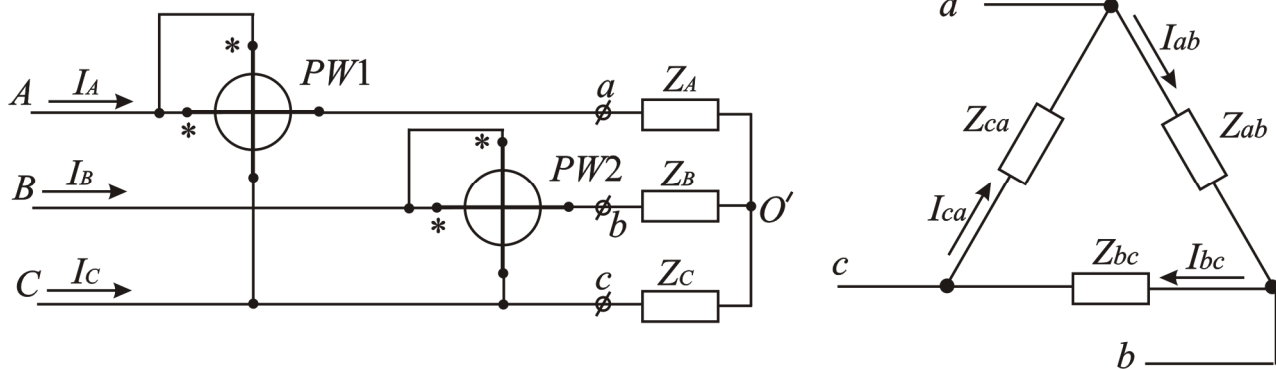


Рис. 4.7 – Схема вмикання двох ватметрів у трифазне коло

Таблиця 4.11 – Вихідні дані за власним варіантом (приклад)

Найменування величини	Одиниця вимірювання	Значення
Фазна напруга, $U_\phi$	В	220
Схема з'єднання навантаження	-	$\Delta$
Повна потужність кола, $S$	кВА	5
Коефіцієнт потужності навантаження, $\cos\varphi$	-	0,8
Послідовні обмотки ватметрів	-	A і B
Обрив фази	-	A
Кількість поділок шкали ватметрів, $n$	Под.	150

1.2 Щоб побудувати векторну діаграму в масштабі, розрахуємо лінійні напругу та струм, а також визначимо кут зсуву між фазною напругою й лінійним струмом.

Лінійні напруги зсунуті відносно фазних на кут  $30$  електричних градусів і більші за величиною на  $\sqrt{3}$ :  $U_l = U_\phi \cdot \sqrt{3} = 220 \cdot \sqrt{3} = 380$  В.

Лінійний струм визначимо через повну потужність трифазного кола й фазну напругу

$$I_l = \frac{S}{3 \cdot U_\phi} = \frac{5000}{3 \cdot 220} = 7,576 \text{ А.}$$

Кут зсуву між фазною напругою та лінійним струмом знайдемо через коефіцієнт потужності  $\varphi = \arccos 0,8 = 37^\circ$ .

Прийmemo масштаби: за напругою  $m_U = 40$  В/см, за струмом  $m_I = 2$  А/см. Векторна діаграма, що відповідає схемі включення двох ватметрів за рис. 4.7, наведена на рис. 4.8.

1.3 Активна потужність симетричного трифазного кола:

$$P = S \cdot \cos \varphi = 5000 \cdot 0,8 = 4000 \text{ Вт.}$$

Показання ватметрів визначаємо за формулами:

$$P_2 = U_{BC} \cdot I_C \cdot \cos \psi_2 = U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \psi_2; P_1 = U_{AC} \cdot I_A \cdot \cos \psi_1 = U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \psi_1,$$

де  $\psi_1 = \varphi - 30^\circ$ ,  $\psi_2 = \varphi + 30^\circ$  (див. рис. 4.8) – кути зсуву між відповідними лінійними напругами і струмами.

Таким чином:

$$P_1 = 380 \cdot 7,576 \cdot \cos(37^\circ - 30^\circ) = 2865 \text{ Вт}, P_2 = 380 \cdot 7,576 \cdot \cos(37^\circ + 30^\circ) = 1135 \text{ Вт}.$$

Активну потужність кола виміряно за допомогою двох ватметрів:

$$P = P_1 + P_2 = 2865 + 1135 = 4000 \text{ Вт}, \text{ що доказує вірність запропонованого методу.}$$

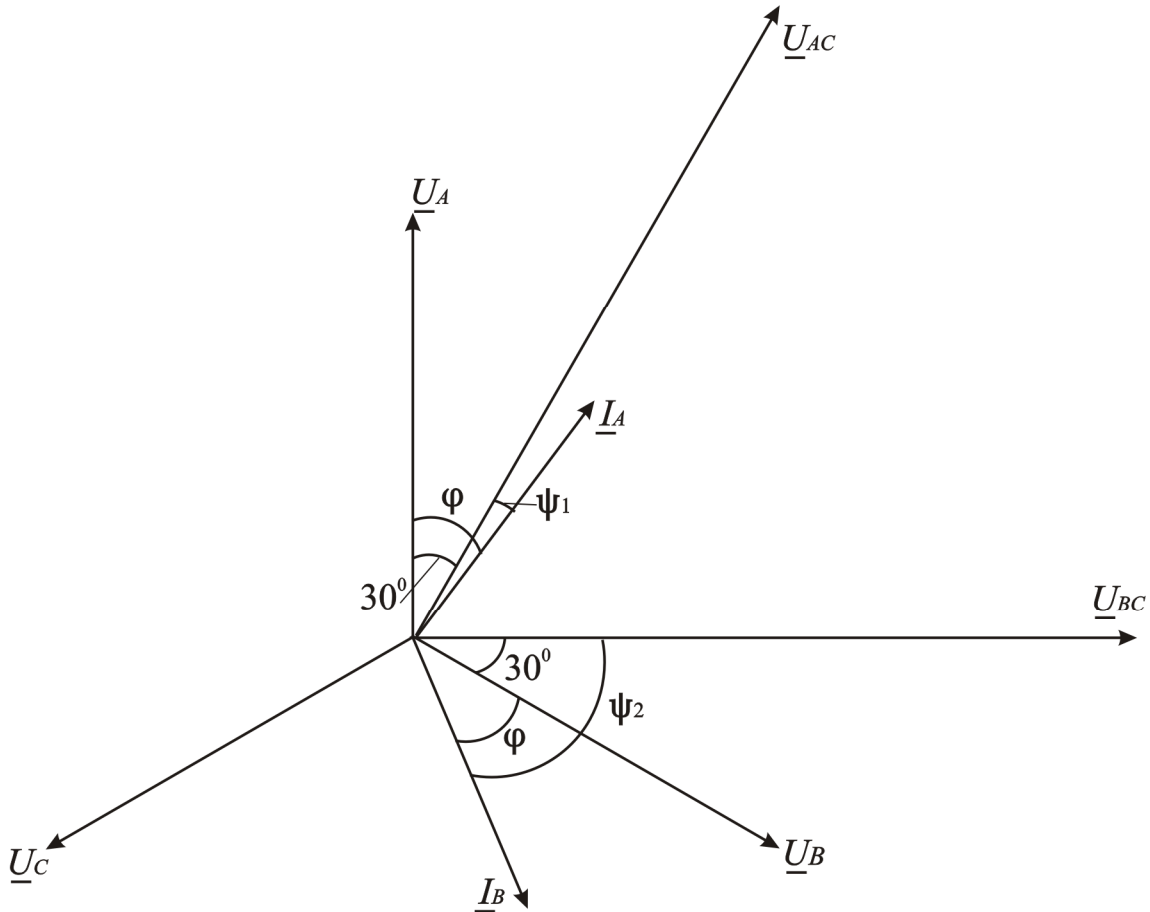


Рис. 4.8 – Векторна діаграма струмів і напруг при включенні двох ватметрів

1.4 У зв'язку з тим, що через послідовні котушки ватметрів тече струм  $I_{\text{л}} = 7,576 \text{ А}$ , а до паралельних котушок подається лінійна напруга  $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ , обираємо стандартні межі вимірювання  $I_{\text{н}} = 10 \text{ А}$ ,  $U_{\text{н}} = 450 \text{ В}$ .

$$\text{Ціна поділки ватметрів: } C_w = \frac{U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}}{n} = \frac{450 \cdot 10}{150} = 30 \text{ под.}$$

$$\text{Стрілки ватметрів відхиляться } n_1 = \frac{P_1}{C_w} = \frac{2865}{30} = 95,5 \text{ под.,}$$

$$n_2 = \frac{P_2}{C_w} = \frac{1135}{30} = 38 \text{ под.}$$

2.1 Після обриву фази  $A$  схема кола набуває вигляду рис. 4.9 (аварійна фаза на рисунку не зображена).

Після обриву фази  $A$  активна потужність кола вимірюється одним ватметром  $PW2$ .

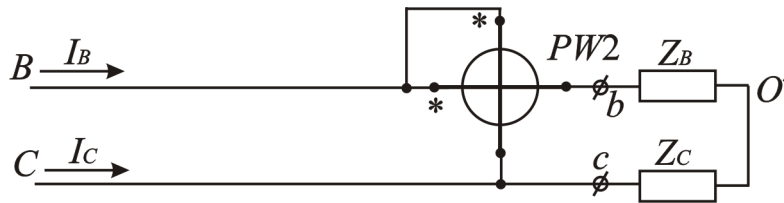


Рис. 4.9 – Схема кола після обриву фази  $A$

2.2 Щоб побудувати векторну діаграму визначаємо модуль струму, що протікає в колі послідовної котушки  $I'_l = I_B = I_C = \frac{U_l}{2 \cdot Z_\phi}$ , де  $Z_\phi$  – повне фазне

навантаження. Повний фазний опір знайдемо за формулою:  $Z_\phi = \frac{U_\phi}{I_l}$ .

$$\text{Таким чином, } I'_l = \frac{\sqrt{3} \cdot I_l}{2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 7,576}{2} = 6,561 \text{ А.}$$

Характер навантаження й коефіцієнт потужності кола залишаються незмінними, тому струм буде відставати від лінійної напруги, що подається на вхід кола, на кут  $\varphi$ . При побудові діаграми використаємо обрані раніше масштаби. Результати побудови наведені на рис. 4.10.

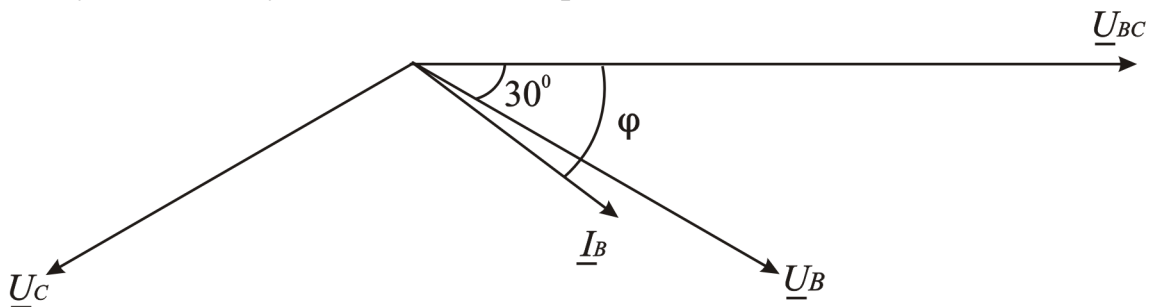


Рис. 4.10 – Векторна діаграма кола при обриві фази  $A$

2.3 Показання ватметрів:

$$P_1 = 0, P_2 = U_l \cdot I'_l \cdot \cos \varphi = 380 \cdot 6,561 \cdot 0,8 = 2000 \text{ Вт.}$$

2.4 Визначаємо кількість поділок шкали  $n_1$  і  $n_2$ , на яку відхиляються

$$\text{стрілки ватметрів: } n_1 = 0, n_2 = \frac{P_2}{C_w} = \frac{2000}{30} = 67 \text{ под.}$$

Таблиця 4.12– Результати розрахунків до задачі №4

	<i>Найменування величин</i>	<i>Одиниця вимірювання</i>	<i>Результати розрахунку</i>
Визначити за п. 1	Потужність кола, $P$	Вт	4000
	Лінійна напруга, $U_L$	В	380
	Лінійний струм, $I_L$	А	7,576
	Номінальна напруга ватметра, $U_n$	В	450
	Номінальний струм ватметра, $I_n$	А	10
	Стала ватметра, $C_w$	Вт/под.	30
	Потужність, виміряна першим ватметром, $P_1$	Вт	2865
	Потужність, виміряна другим ватметром, $P_2$	Вт	1135
	Кількість поділок, $n_1$	под.	95,5
	Кількість поділок, $n_2$	под.	30,8
Визначити за п. 2	Потужність, виміряна першим ватметром, $P_1$	Вт	0
	Потужність, виміряна другим ватметром, $P_2$	Вт	2000
	Кількість поділок, $n_1$	под.	0
	Кількість поділок, $n_2$	под.	67

## Задача № 5

### Вимір реактивної енергії у трифазних колах

Симетричний трифазний приймач електричної енергії з'єднаний зіркою чи трикутником. Напруга на фазі приймача  $U_\phi$ . Активний та індуктивний опори фаз приймача відповідно дорівнюють  $R_\phi$ ,  $X_\phi$ . У коло приймача включений одноелементний лічильник активної енергії для вимірювання реактивної енергії. Послідовна обмотка лічильника увімкнена в один із дротів трифазного кола, як зазначено в таблиці 4.8.

Приймач електричної енергії працює безупинно протягом часу  $t$ .

#### *Робоче завдання*

1. Накреслити схему ввімкнення лічильника відповідно до даних варіанта, зробити розмітку генераторних затисків його обмоток.

2. Визначити лінійну напругу  $U_L$ , лінійний струм  $I_L$ , коефіцієнт потужності  $\cos \varphi$  і кут  $\varphi$ .

3. Для заданого кола побудувати в масштабі векторну діаграму та виділити в ній вектори напруг і струмів, під дією яких перебувають паралельна та послідовна обмотки лічильника.

4. Користаючись векторною діаграмою, довести, що лічильник, увімкнений за такою схемою, вимірює реактивну енергію. Визначити витрату реактивної енергії, що враховується лічильником за час  $t$ .

5. Підрахувати за час  $t$  реактивну енергію всього приймача.

6. Знайти чисельне співвідношення між енергією, що враховується лічильником, й енергією приймача.

Таблиця 4.8 – Числові дані до задачі № 5

Найменування величин	Одиниця вимірювання	Передостання цифра № залікової книжки		Остання цифра № залікової книжки									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фазна напруга $U_\phi$	В	—		220	380	127	220	220	380	127	220	220	380
Схема з'єднання	—	—		$\Delta$	$\Delta$	$\lambda$	$\Delta$	$\lambda$	$\Delta$	$\lambda$	$\lambda$	$\Delta$	$\lambda$
Активний опір фази $R_\phi$	Ом	0	5	20	30	10	16	15	25	15	20	14	20
	Ом	1	6	19	29	11	17	16	24	18	21	16	14
	Ом	2	7	18	28	12	18	17	23	21	22	18	16
	Ом	3	8	17	27	19	19	18	22	24	23	20	18
	Ом	4	9	16	26	14	20	19	21	27	24	22	26
Індуктивний опір фази $X_\phi$	Ом	0	1	18	25	15	24	20	30	10	18	28	40
	Ом	6	2	19	26	16	23	21	29	11	17	27	38
	Ом	7	3	20	27	17	22	23	28	12	16	26	36
	Ом	8	4	21	28	18	21	24	27	19	15	25	34
	Ом	9	5	22	29	19	20	25	26	14	21	24	32
Послідовні обмотки лічильника	—	—		В	А	А	С	С	В	В	А	А	С
Час t	год.	—		30	50	20	20	40	40	30	30	50	30

## 5. ДОДАТКОВІ ЗАДАЧІ

У цьому розділі наведені додаткові задачі, які будуть корисними при самостійному вивченні курсів «Основи метрології та електровимірювань» і «Основи метрології та електричних вимірювань» студентам усіх форм навчання (не тільки заочної). Вони також можуть бути використані викладачем під час проведення іспиту.

**Задача 1.** Унаслідок багаторазових вимірювань опору резистора були отримані значення, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Значення опору при багаторазових вимірюваннях

№ досліджу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R$ , Ом	20,50	20,38	20,40	20,38	20,61	20,45	20,40	20,60	20,30	20,55

Визначте ймовірну похибку вимірювань.

**Задача 2.** До магнітоелектричного міліамперметра на 75 мВ із внутрішнім опором 10 Ом підключений шунт, опір якого дорівнює 0,53 Ом. Як зміниться чутливість приладу за струмом? Наведіть схему.

**Задача 3.** Визначити найбільшу відносну похибку вимірювання енергії ватметром з межею вимірювання 750 Вт, класом точності 0,5 і шкалою на 150 поділок за час 120 с., якщо показання ватметра дорівнюють 60 поділкам протягом усього часу вимірювання. Визначте чутливість ватметра й наведіть схему його вмикання.

**Задача 4.** Для вимірювання напруги 220 В використовуються два вольтметри з'єднані послідовно. Перший вольтметр має межу вимірювання 150 В, внутрішній опір 12 кОм, клас точності 0,5; другий вольтметр з межею вимірювання 120 В має внутрішній опір 10 кОм, клас точності 0,5. Визначте показання кожного вольтметра й найбільші абсолютні та відносні похибки.

**Задача 5.** Магнітоелектричний прилад на 75 мВ зі шкалою 150 поділок має опір 50 Ом. Чому дорівнюють його стала та чутливість за струмом і напругою, потужність власного споживання? Як розширити межу вимірювань цього приладу до 3 В? Наведіть схему.

**Задача 6.** Доберіть шунти до магнітоелектричного приладу зі шкалою на 5 мА і опором 10 Ом таким чином, щоб цим приладом можна було вимірювати струми 1 А, 3 А, 5 А. Наведіть схему.



**Задача 7.** Вольтметр електростатичної системи на 150 В має ємність 100 пФ. Розрахуйте ємність додаткового конденсатора для розширення межі вимірювань до 2 кВ. Наведіть схему.

**Задача 8.** На розподільному щитку однофазного струму встановлені вольтметр на 150 В, амперметр на 5 А зі шкалою на 100 поділок і ватметр на 150 В і 5 А зі шкалою на 150 поділок. Амперметр і ватметр включені через трансформатор струму 50/5. Накресліть схему й визначте первинний струм, потужність і  $\cos\varphi$ , якщо стрілка амперметра показує 80 поділок, вольтметра – 120 поділок, ватметра – 50 поділок.

**Задача 9.** У трифазному колі потужність вимірюється за схемою двох ватметрів. Навантаження фаз рівномірне. Фазний струм 5 А, лінійна напруга 380 В. Сумарна потужність, обмірювана ватметрами, складає 206 Вт. Визначте показання кожного ватметра і  $\cos\varphi$  кола. Наведіть схему.

**Задача 10.** У трифазному колі з рівномірним навантаженням включені два ватметри. Напруга мережі 220 В. Покази ватметрів:  $P_1 = 675$  Вт,  $P_2 = 325$  Вт. Наведіть схему, визначте коефіцієнт потужності та струм у колі.

**Задача 11.** Визначте чутливість за струмом і напругою магнітоелектричного приладу на 75 мВ із внутрішнім опором 15 Ом і шкалою 150 поділок. Як зміниться чутливість приладу за струмом і напругою, якщо кількість витків на рамці приладу збільшити вдвічі, залишивши діаметр дроту незмінним.

**Задача 12.** До мережі однофазного струму через трансформатори струму 100/5 і напруги 30000/100 підключений електродинамічний ватметр на напругу 120 В і струм 5 А зі шкалою 150 поділок. Наведіть схему вмикання приладів і визначте потужність мережі, якщо показання ватметра – 85 поділок.

**Задача 13.** У трифазному колі з рівномірним навантаженням потужність вимірюють за методом двох ватметрів, лінійний струм складає 5 А, лінійна напруга – 120 В, повна потужність, вимірювана ватметрами, складає 807 Вт. Визначте показання кожного ватметра  $\cos\varphi$  кола. Наведіть схему.

**Задача 14.** Магнітоелектричний вимірювач із опором 0,3 Ом має шкалу на 100 поділок і чутливість за струмом 0,05 под/мА. Визначте постійну цього приладу й нову мережу вимірювань при підключенні шунта з опором 0,015 Ом. Наведіть схему.

**Задача 15.** Міліамперметр на 200 мА має опір 3 Ом, чутливість за струмом 0,5 под/мА. Визначте кількість поділок всієї шкали і струм у колі, якщо стрілка приладу відхилилася на 25 поділок. Як зробити межу вимірювань цього приладу рівною 30 В? Наведіть схему.

**Задача 16.** До мережі однофазного струму через трансформатори струму 200/5 і напруги 6000/100 підключені амперметр, вольтметр і ватметр. Визначте показання всіх приладів, якщо відомо, що струм у колі 168 А, напруга 3300 В і  $\cos \varphi = 0.74$ . Наведіть схему.

**Задача 17.** Для вимірювання напруги і струму в колі постійного струму використані вольтметр на номінальну напругу 250 В (класу точності 1,5) і амперметр на номінальний струм 150 А (класу точності 1,0). Показання вольтметра й амперметра протягом доби дорівнюють, відповідно, до 215 В і 120 А. Визначте кількість енергії, яка витрачається за добу, і найбільші можливі абсолютні та відносні похибки при її вимірюванні, якщо час вимірюється з точністю до 60 с.

**Задача 18.** У трифазному колі з рівномірним навантаженням реактивна потужність вимірюється за схемою одного ватметра. Показання ватметра – 85 поділок. Номінальний струм ватметра 10 А, напруга – 300 В, шкала на 150 поділок. Лінійна напруга кола 220 В, лінійний струм – 8,5 А. Визначте реактивну й активну потужності та  $\cos \varphi$  кола. Наведіть схему.

**Задача 19.** Ватметр на напругу 220 В і струм 5 А підключено через трансформатор струму 300/5 до трифазного кола з рівномірним навантаженням. Наведіть схему й визначте потужність трифазного кола, якщо ватметр показує 250 Вт. Нейтральна точка доступна.

**Задача 20.** Підключені до трифазного кола з рівномірним навантаженням через трансформатори струму 200/5 і напруги 6000/100 прилади дають такі показання: вольтметр 105 В; амперметр 3,6 А; ватметри  $P_1 = 42$  Вт,  $P_2 = 350$  В. Визначте значення струму, напруги, потужності та  $\cos \varphi$  кола. Наведіть схему.

### Список джерел:

1. Фремке А. В. Электрические измерения [Текст] : учебник / А. В. Фремке, А. Е. Душина. – Л. : Энергия, 1980. – 382 с.
2. Поліщук Є. С. Метрологія та вимірювальна техніка [Текст] : підручник / Є. С. Поліщук. – Львів: Новий світ, 2003. – 460 с.
3. Котур В. І. Електричні виміри і електровимірювальні прилади [Текст] : підручник / В. І. Котур, М. Н. Скомська, Н. Н. Храмова. – К.: Енергоіздат, 1996. – 324 с.

4. Молиновский В. Н. Электрические измерения [Текст] : учебник / В. Н. Молиновский. – М.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.

5. Полищук Е.С. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин [Текст] : учебник / Е. С. Полищук. – К.: Вища школа, 1984. – 386 с.

6. Панев Б. И. Электрические измерения. Справочник в вопросах и ответах [Текст] : учебник / Б. И. Панев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.

7. Дворяшин Б. В. Основы метрологии и радиоизмерения [Текст] : учебник / Б. В. Дворяшин. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

8. Карев В. Н. Задачи для лабораторных работ по курсу «Основы метрологии» для контроля знаний [Текст] : пособие / В. Н. Карев, Е. П. Волкова. – Х.: ХИИГХ, 1990. – 78 с.

9. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін «Основи метрології та електровимірювань» і «Основи метрології та електричних вимірювань» (для студентів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» і 6.050702 – «Електромеханіка») / Д. В. Тугай, Я. Б. Форкун, О. В. Дорохов; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2012. – 64 с.

10. Методичні вказівки до самостійного вивчення дисциплін «Основи метрології та електровимірювальна техніка» і «Основи метрології та електричних вимірів» (для студентів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» і 6.050702 – «Електромеханіка») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: О. В. Дорохов, Г. В. Капустін, Д. В. Тугай. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 19 с.

11. Тугай Д. В. Текст лекцій з дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань» (для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка») / Д. В. Тугай; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 106 с.

12. Тугай Д. В. Текст лекцій з дисципліни «Основи метрології та електровимірювань» (для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології») / Д. В. Тугай, О. В. Дорохов; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 120 с.

13. [http://www.krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/tehnologiya\\_i\\_promyshlennost/ELEKTRICHESKIE\\_IZMERENIYA.html](http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/ELEKTRICHESKIE_IZMERENIYA.html).

14. <http://www.electrik.org>.

# НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки  
до виконання контрольних робіт  
з дисциплін

## **«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАНЬ» і «ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ»**

(для студентів заочної форми навчання за напрямами підготовки  
6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» і  
6.050702 – «Електромеханіка»)

Укладачі: **ТУГАЙ** Дмитро Васильович,  
**ФОРКУН** Яна Борисівна,  
**ГЛЄБОВА** Марина Леонідівна

Відповідальний за випуск *Д. В. Тугай*

Редактор *К. В. Дюкар*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2012, поз. 313 М

---

Підп. до друку 25.06.2012 р.  
Друк на ризографі.  
Зам. №

Формат 60×84/16  
Ум. друк. арк. 2,5  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rektorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rektorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.