

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Харківський орден « Знак Пошани» електромеханічний технікум
транспортного будівництва**

Затверджено:

Заступником директора

з навчальної роботи

_____ В.О.Величко

Електрорадіовимірювання

Методичні вказівки для самостійного вивчення дисципліни

Напряму: 050102 Комп'ютерна інженерія

Спеціальності : № 5.05010201

“Обслуговування комп'ютерних систем і мереж ”

(шифр і назва спеціальності)

Харків 2013 рік

РОЗРОБЛЕНО : Харківський орден «Знак Пошани» електромеханічний технікум транспортного будівництва

навчального закладу) (повне найменування вищого

РОЗРОБНИК: викладач ХЕМТТБ Ю.В. Білоконенко

Розглянуто на засіданні циклової комісії з напряму підготовки 050102
«Комп'ютерна інженерія» за спеціальністю 5.05010201 «Обслуговування
комп'ютерних систем і мереж»

«_____» _____ 20____ року, протокол № _____

Голова циклової комісії _____ М.М. Бочарніков

1. Загальні відомості про електровимірювальні прилади

Електровимірювальні прилади призначені для перетворення різних електричних величин (сили струму, напруги, активних і реактивних потужностей та енергій, коефіцієнта потужності, опору, індуктивності, ємності та інших) у візуальну форму, зручну для сприйняття.

Електровимірювальний прилад складається з вимірювального механізму, який поміщений у корпус, та допоміжних частин (затиски для підключення, перемикачі меж вимірювань, блок живлення, коректор та інші). Вимірювальний механізм складається з рухомої і нерухомої частин, та має шкалу з певною кількістю поділок.

Принцип дії вимірювального механізму може бути заснований на явищі електромагнетизму, електромагнітної сили або теплової дії струму. В результаті цих явищ виникає обертаючий момент, який повертає рухому частину вимірювального механізму разом з покажчиком (стрілкою). Стрілка відхиляється на кут, прямо пропорційний значенню вимірюваної фізичної величини. В протидію обертаючому моменту (електромагнітним або механічним шляхом) створюється рівний та протидіючий момент, тому що інакше стрілка буде відхилятися до кінця шкали при будь-якому значенні вимірюваної величини (відмінної від нуля).

Електровимірювальні прилади характеризуються наступними величинами:

Межа вимірювання – найбільше значення фізичної величини, яке можна вимірити приладом.

Ціна поділки – кількість одиниць вимірюваної фізичної величини в одній поділці шкали приладу:

$$\tilde{N}_i = \frac{A_{\text{MAX}}}{n_{\text{MAX}}}, \quad (1)$$

де $S_{\text{п}}$ – ціна поділки приладу;

A_{max} – межа вимірювання приладу;

n_{max} – кількість поділок на шкалі приладу.

Чутливість – кількість поділок шкали, на яку відхиляється стрілка приладу при зміні вимірюваної фізичної величини на одну одиницю:

$$\tilde{N} = \frac{n_{\text{MAX}}}{A_{\text{MAX}}} = \frac{1}{\tilde{N}_i}, \quad (2)$$

Показання приладу – значення фізичної величини, яке вимірює прилад (визначається як добуток ціни поділки приладу на кількість поділок, на яке відхилилася стрілка приладу при вимірюванні):

$$A = C_{\text{п}} n, \quad (3)$$

де A – показання приладу;

n – кількість поділок,

на яке відхилилася стрілка приладу при вимірюванні.

Абсолютна похибка – різниця між показанням приладу та дійсним значенням вимірюваної фізичної величини:

$$D = A - A_{\text{д}}, \quad (4)$$

де D – абсолютна похибка;

A – показання приладу;

$A_{\text{д}}$ – дійсне значення вимірюваної фізичної величини.

Відносна похибка – відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної фізичної величини (виражене у відсотках):

$$\delta = \frac{\Delta}{A_{\text{д}}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Приведена похибка – відношення абсолютної похибки до межі вимірювання приладу (виражене у відсотках):

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_{\text{MAX}}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Клас точності – відношення максимальної абсолютної похибки (встановлюваної при проектуванні приладу) до межі вимірювання приладу (виражене у відсотках):

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{\text{MAX}}}{A_{\text{MAX}}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Для зменшення похибки вимірювання необхідно вибрати межу вимірювання приладу так, щоб його показання знаходилося на останній третині шкали приладу:

$$\frac{2}{3} A_{\text{MAX}} \leq A \leq A_{\text{MAX}} \quad . \quad (8)$$

При роботі електровимірювальний прилад повинний споживати мінімально можливу потужність, щоб не змінювати режим роботи контролюваного об'єкта.

Запитання для самоконтролю

Для чого призначені електровимірювальні прилади?

Опишіть побудову і принцип дії стрілочного електровимірювального приладу.

Перелічіть основні величини, якими характеризується електровимірювальний прилад.

Що розуміється під межею вимірювання приладу?

Як визначити ціну поділки приладу?

Як визначити чутливість приладу?

Що розуміється під показанням приладу?

Як визначити абсолютну похибку приладу?

Як визначити відносну похибку приладу?

Що розуміється під приведеною похибкою приладу?

Що розуміється під класом точності приладу?

2 Класифікація електровимірювальних приладів

Для вимірювання електричних величин найбільш частіше застосовуються наступні прилади:

сили струму – амперметр;

напруги – вольтметр;

потужності – ватметр;

електроенергії – електричний лічильник;

коефіцієнта потужності – фазометр;

опору – омметр, вимірювальний міст;

частоти – частотомір.

Електровимірвальні прилади розрізняються за наступними ознаками: вимірювана фізична величина; рід струму; клас точності; принцип дії; спосіб відліку та характер шкали; характер застосування й установки, та іншим.

За родом струму прилади поділяються так:

прилади, призначені для вимірювання на постійному струмі;

прилади, призначені для вимірювання на змінному струмі;

прилади, призначені для вимірювання на постійному і змінному струмі.

Існують вісім класів точності приладів:

0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,5 ; 4,0 .

За принципом дії прилади підрозділяються так: магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, індукційні, термоелектричні, випрямні та інші.

За способом відліку прилади можуть бути такими, що показують (з безпосереднім відліком по шкалі) та такими, що реєструють (самописи, осцилографи). Шкала приладів, що показують, може бути рівномірною (всі поділки однакові) та нерівномірною (не всі поділки однакові); більш точне вимірювання здійснюється за допомогою рівномірної шкали.

За характером застосування прилади підрозділяються так: стаціонарні (встановлювані на одному місці), переносні, транспортні (для мобільних установок). Встановлювати прилади можна вертикально (як правило, щитові прилади), горизонтально та під кутом до горизонталі.

Вибір електровимірвального приладу здійснюється в такий спосіб:

визначається вимірювана фізична величина та прилад для вимірювань (сила струму – амперметр, напруга – вольтметр, потужність – ватметр і так далі);

визначається рід струму в колі (постійний, змінний);

визначається необхідний клас точності приладу;

визначається характер застосування й установки;

визначається система приладу (магнітоелектрична, електромагнітна і так далі);

визначається межа вимірювання приладу;

визначається ціна поділки приладу.

Запитання для самоконтролю

Перелічіть основні прилади, які найбільш частіше застосовуються для електричних вимірювань.

Як класифікуються електровимірювальні прилади?

Як здійснюється вибір електровимірювального приладу?

3 Побудови та принципи дії електровимірювальних приладів різних систем

Вимірювальний механізм приладу **магнітоелектричної системи** складається з постійного магніту, який має підковоподібну форму. Усередині магніту знаходиться котушка індуктивності, зв'язана зі стрілкою приладу. При протіканні електричного струму в провідниках котушки спостерігається явище електромагнітної сили. В результаті котушка, укріплена на осі, повертається на кут, пропорційний значенню вимірюваної величини. Разом з котушкою відхиляється стрілка приладу, вказуючи на шкалі значення вимірюваної величини. Прилади цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного струму.

Вимірювальний механізм приладу **електромагнітної системи** складається з котушки індуктивності з рухомим магнітопроводом, який зв'язаний зі стрілкою приладу. При протіканні електричного струму в провідниках котушки спостерігається явище електромагнетизму. В результаті магнітопровід втягується в котушку пропорційно значенню вимірюваної величини, а стрілка приладу відхиляється, вказуючи на шкалі значення вимірюваної величини. Прилади цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного та змінного струмів.

Вимірювальний механізм приладу **електродинамічної системи** складається з двох котушок індуктивності (рухомої та нерухомої). При протіканні електричного струму в провідниках котушок спостерігається явище електромагнітної сили. В результаті рухома котушка (яка знаходиться усередині нерухомої котушки) відхиляється на кут, пропорційний значенню вимірюваної величини. Разом з цією котушкою відхиляється стрілка приладу, вказуючи на шкалі значення вимірюваної величини. Прилади цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного та змінного струмів.

Вимірювальний механізм приладу **індукційної системи** складається з двох нерухомих котушок індуктивності (зсунутих у просторі на кут 90° одна до одної) та рухомої металевої частини (диска, циліндра), яка розміщується між котушками. Одну котушку включають паралельно мережі, а іншу послідовно. Струми, що протікають у котушках, створюють два магнітних потоки, які пронизують рухому металеву частину і наводять у ній вихрові електрорушійні сили. Під дією наведених вихрових е.р.с. у рухомій частині будуть протікати вихрові струми, тобто рухома частина зі струмом знаходиться в магнітному полі котушок. В результаті спостерігається явище електромагнітної сили, і рухома частина (диск, циліндр) приходить в обертання. Прилади цієї системи використовують, як правило, для вимірювання потужності та енергії в колах змінного струму.

Прилад **термоелектричної системи** являє собою сукупність приладу магнітоелектричної системи і термопари (двох різновидних металів: мідь – константан, залізо – константан та інших). Два кінці металевих провідників, з яких складається термопара, з'єднані у загальний вузол. До цього вузла приєднаний провідник, по якому проходить вимірюваний електричний струм. В результаті теплової дії струму загальний вузол нагрівається й у

ньому наводиться постійна електрорушійна сила (яку називають термо-е.р.с.), незалежно від роду струму. До двох інших кінців металевих провідників, з яких складається термopара, підключений вимірювальний механізм магнітоелектричної системи. При виникненні термо-е.р.с. у котушці вимірювального механізму протікає постійний струм. При протіканні електричного струму в провідниках котушки спостерігається явище електромагнітної сили. В результаті котушка, а разом з нею і стрілка приладу відхиляються, вказуючи на шкалі значення вимірюваної величини. Прилади цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного та змінного струмів.

Прилад **випрямної системи** являє собою сукупність приладу магнітоелектричної системи й одного або декількох напівпровідникових випрямлячів, призначення яких – живлення вимірювального механізму магнітоелектричної системи постійним струмом. Прилади цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного та змінного струмів для вимірювання невеликих значень фізичних величин, а також для вимірювання у колах з підвищеною частотою струму (понад 50 Гц).

Запитання для самоконтролю

Опишіть побудову і принцип дії приладу магнітоелектричної системи, вказавши область використання.

Опишіть побудову і принцип дії приладу електромагнітної системи, вказавши область використання.

Опишіть побудову і принцип дії приладу електродинамічної системи, вказавши область використання.

Опишіть побудову і принцип дії приладу індукційної системи, вказавши область використання.

Опишіть побудову і принцип дії приладу термоелектричної системи, вказавши область використання.

Опишіть побудову і принцип дії приладу випрямної системи, вказавши область використання.

4 Вимірювання сили струму, напруги, активної потужності, коефіцієнта потужності

Для вимірювання сили струму в колі служить **амперметр**, літерне позначення якого на принципових електричних схемах – **РА**. Він включається послідовно в коло, у якому виконується вимірювання (рис.9.1). Опір котушки вимірювального механізму повинний бути мінімальним, щоб сила струму в колі не змінилася при включенні амперметра. Для цього котушку виконують з невеликою кількістю витків із проводу з великим перетином.

Амперметр вибирається для вимірювань у такий спосіб: межа вимірювання приладу повинна перевищувати передбачуване значення сили струму в колі. Для розширення межі вимірювання амперметра використовують трансформатори струму або шунти (манганінові пластини, упаяні в мідні чи латунні наконечники). Шунт включається в коло послідовно, а паралельно йому включається амперметр.

Приклад 1

Амперметр, на шкалі якого **100 поділок**, має межу вимірювання **15 А**. При включенні амперметра в коло його стрілка відхилилася на **80 поділок**.

Визначити ціну поділки приладу та силу струму в колі.

Рішення.

1. Визначаємо ціну поділки приладу за (1):

$$n_1 = \frac{I_{\max}}{n_{\max}} = \frac{15}{100} = 0,15 \frac{\text{А}}{\text{діл.}}$$

2. Визначаємо силу струму в колі за формулою (3):

$$I = Cn = 0,15 \cdot 80 = 12 \text{ А.}$$

Для вимірювання напруги в колі служить **вольтметр**, літерне позначення якого на принципових електричних схемах – **PV**. Він включається паралельно в коло, у якому виконується вимірювання (рис.9.2). Опір котушки вимірювального механізму повинний бути максимальним, щоб напруга в колі не змінилася при включенні вольтметра. Для цього котушку виконують з великою кількістю витків із проводу з невеликим перетином.

Вольтметр вибирається для вимірювань у такий спосіб: межа вимірювання приладу повинна перевищувати передбачуване значення напруги в колі. Для розширення межі вимірювання вольтметра використовують трансформатори напруги або додаткові опори, які включаються послідовно з вольтметром.

Приклад 2

Вольтметр, на шкалі якого **150 поділок**, має межу вимірювання **300 В**. При включенні вольтметра в коло його стрілка відхилилася на **110 поділок**.

Визначити ціну поділки приладу та напругу на затисках кола.

Рішення.

1. Визначаємо ціну поділки приладу за формулою (1):

$$\tilde{N}_I = \frac{U_{\max}}{n_{\max}} = \frac{300}{120} = 2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

2. Визначаємо напругу на затисках кола за формулою (3):

$$U = C_{\text{п}} n = 2 \cdot 110 = 220 \text{ В.}$$

Для вимірювання активної потужності в колі служить **ватметр**, літерне позначення якого на принципових електричних схемах – **PW**. Вимірювальний механізм ватметра складається з двох котушок: нерухомої та рухомої, зв'язаної зі стрілкою приладу. Нерухома котушка (струмова обмотка) має невелику кількість витків та виконана з проводу із великим перетином; включається в коло послідовно. Рухома котушка (обмотка напруги) має велику кількість витків та виконана з проводу із невеликим перетином; включається в коло паралельно. Струми в котушках повинні протікати в одному напрямку, щоб стрілка приладу відхилялася вправо від нуля, для цього затиски приладу зі знаком «*» поєднують у загальний вузол. Принцип дії ватметра заснований на явищі електромагнітної сили, яка виникає при протіканні струму в обох котушках, в результаті чого виникає обертаючий момент прямо пропорційний струмам у котушках. Сила струму в рухомій котушці пропорційна напрузі в колі, тому що вона включається паралельно. Сила струму в нерухомій котушці пропорційна силі струму в колі, тому що вона включається послідовно. Отже, обертаючий момент, який діє на рухома котушку, пропорційний активній потужності в колі. Таким чином, ватметр має дві межі вимірювання: за струмом і за напругою, тому межа вимірювання та ціна поділки ватметра визначаються так:

$$P_{\max} = I_{\max} U_{\max}; \quad (9)$$

$$\tilde{N}_I = \frac{P_{\max}}{n_{\max}}, \quad (10)$$

де $I_{\max}$ – межа вимірювання ватметра за струмом, А;

$U_{\max}$ – межа вимірювання ватметра за напругою, В.

Вибір ватметра для вимірювань здійснюється в такий спосіб: межа вимірювання приладу за струмом повинна перевищувати передбачуване значення сили струму в колі, межа вимірювання приладу за напругою повинна перевищувати передбачуване значення напруги в колі. Для розширення меж вимірювання ватметра використовують трансформатори струму і напруги (або шунти і додаткові опори).

Принципова електрична схема включення ватметра для вимірювання потужності, яку споживає навантаження в однофазному колі змінного струму, показана на рис.9.3.

Приклад 3

Ватметр, на шкалі якого **150 поділок**, має межу вимірювання за струмом **20 А** та межу вимірювання за напругою **300 В**. При включенні ватметра в коло його стрілка відхилилася на **90 поділок**.

Визначити ціну поділки приладу та активну потужність у колі.

Рішення.

1. Визначаємо межу вимірювання приладу за (9):

$$P_{\max} = I_{\max} U_{\max} = 20 \cdot 300 = 6000 \text{ Вт.}$$

2. Визначаємо ціну поділки приладу за (10):

$$N_i = \frac{U_{\max}}{n_{\max}} = \frac{3000}{150} = 20 \frac{\text{В}}{\text{діл.}}$$

3. Визначаємо активну потужність у колі за (3):

$$P = C I n = 20 \cdot 90 = 1800 \text{ Вт.}$$

Значення коефіцієнта потужності можна визначити за показаннями амперметра, вольтметра та ватметра:

$$\cos \varphi = \frac{A_{PW}}{A_{PV} A_{PA}}, \quad (11)$$

де $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності;

A_{PW} – показання ватметра, Вт;

A_{PV} – показання вольтметра, В;

A_{PA} – показання амперметра, А.

Приклад 4

Котушка індуктивності підключена до однофазного джерела (50 Гц). У коло котушки включені ватметр, вольтметр і амперметр. Після подачі напруги на затиски котушки показання приладів склали: ватметра – **110 Вт**, вольтметра – **220 В**, амперметра – **5 А**.

Визначити коефіцієнт потужності котушки.

Рішення.

1. Визначаємо коефіцієнт потужності котушки за (9.11):

$$\cos \varphi = \frac{A_{PW}}{A_{PV} A_{PA}} = \frac{110}{220 \cdot 5} = 0,1$$

Коефіцієнт потужності можна також визначити за допомогою електровимірювального приладу, який називають **фазометром**, літерне позначення якого на принципових електричних схемах – **pj**.

Запитання для самоконтролю

Для чого призначений амперметр?

Як вибрати для вимірювань амперметр?

Складіть принципову електричну схему вимірювання сили струму в однофазному навантаженні.

Для чого призначений вольтметр?

Як вибрати для вимірювань вольтметр?

Складіть принципову електричну схему вимірювання напруги на затисках однофазного навантаження.

Для чого призначений ватметр?

Опишіть побудову ватметра.

Опишіть принцип дії ватметра.

Як вибрати для вимірювань ватметр?

Як визначити межу вимірювання та ціну поділки ватметра?

Складіть принципову електричну схему вимірювання потужності однофазного навантаження.

Складіть і опишіть принципову електричну схему включення ватметра у високовольтну однофазну мережу за допомогою вимірювальних трансформаторів напруги і струму.

Як визначити коефіцієнт потужності пристрою за показаннями амперметра, вольтметра та ватметра?

5 Вимірювання електричної енергії

Для обліку споживання активної енергії використовують **лічильник активної енергії**, літерне позначення якого на принципових електричних схемах – **PWh**. Вимірювальний механізм лічильника активної енергії влаштований у такий спосіб. На двох магнітопроводах, які мають підковоподібну форму та розташовані перпендикулярно один до одного, знаходяться обмотки (катушки індуктивності). Одна обмотка (обмотка напруги)

включається паралельно споживачу, друга обмотка (струмова обмотка) включається послідовно зі споживачем. Між магнітопроводами укріплений алюмінієвий диск на осі, яка зв'язана з рахунковим механізмом.

Принцип дії вимірювального механізму наступний: при протіканні електричного струму по обмотках спостерігається явище електромагнетизму, в результаті чого створюються магнітні потоки обмоток. Ці потоки пронизують диск і спостерігається явище електромагнітної індукції: у диску наводяться вихрові е.р.с., під дією яких протікають вихрові струми. Взаємодія магнітного поля обмоток і вихрових струмів приводить до виникнення явища електромагнітної сили. Диск, а разом з ним і рахунковий механізм, починають обертатися. Для гальмування диска (при відсутності споживання електроенергії) використовується постійний магніт підковоподібної форми, полюси якого розташовані по різні боки щодо площини диска.

На шкалі лічильника вказуються наступні технічні параметри: тип; номінальна напруга (220 В, 380 В – для безпосереднього включення; 100 В – для включення через вимірювальний трансформатор напруги); номінальний струм (5 А, 10 А, 20 А, 50 А); постійна лічильника, яка показує, скільки обертів диска відповідає 1 кВтЧгод.

Лічильник активної енергії включається аналогічно ватметру.

На практиці (крім обліку спожитої електроенергії) лічильники використовують для визначення потужності включеного навантаження. Для цього знімають різницю показань лічильника за тривалий проміжок часу (кілька годин), яку співвідносять часу:

$$P = \frac{W_1 - W_2}{t} = \frac{\Delta W}{t}, \quad (12)$$

де P – активна потужність включеного навантаження, кВт;

ΔW – різниця показань лічильника, кВтЧгод;

t – час, год.

Існує більш швидкий, але менш точний спосіб визначення потужності включеного навантаження. Для цього знімають кількість обертів диска за стислий проміжок часу (кілька секунд), яку співвідносять часу та постійній лічильника:

$$P = \frac{3600n}{C_{лч} t}, \quad (13)$$

де n – кількість обертів диска, об.;

$C_{лч}$ – постійна лічильника, об/(кВтЧгод);

t – час, с.

Лічильники активної енергії випускаються в однофазному, трифазному трипровідному та трифазному чотирипровідному виконанні. Вимірювальний механізм трифазного трипровідного лічильника являє собою сукупність вимірювальних механізмів двох однофазних лічильників, диски яких розташовані на загальній осі та працюють на один рахунковий механізм (такий вимірювальний механізм називається двоелементним). Вимірювальний механізм трифазного чотирипровідного лічильника являє собою сукупність вимірювальних механізмів трьох однофазних лічильників, диски яких розташовані на загальній осі та працюють на один рахунковий механізм (такий вимірювальний механізм називається триелементним).

Вимірювання реактивної енергії здійснюється за допомогою лічильників реактивної енергії, конструкція яких аналогічна трифазним чотирипровідним лічильникам активної енергії. Відмінність полягає в способі підключення лічильника реактивної енергії.

Запитання для самоконтролю

Для чого призначений лічильник активної енергії?

Опишіть побудову лічильника активної енергії.

Опишіть принцип дії лічильника активної енергії.

Складіть і опишіть принципову електричну схему включення лічильника активної енергії у високовольтну мережу за допомогою вимірювальних трансформаторів напруги і струму.

Що розуміється під постійною лічильника активної енергії?

Як визначити потужність навантаження за показаннями лічильника активної енергії?

6 Вимірювання опорів

У колах постійного струму опір елемента кола можна вимірити за допомогою вольтметра та амперметра. Для цього вимірюють напругу на елементі кола і силу струму, який у ньому протікає. Розділивши показання вольтметра на показання амперметра, визначають опір:

$$R = \frac{A_{PV}}{A_{PA}} \quad (14)$$

У колах змінного струму за показаннями вольтметра та амперметра можна визначити повний опір елемента кола:

$$Z = \frac{A_{PV}}{A_{PA}} \quad (15)$$

Активний опір елемента в колі змінного струму можна визначити за показаннями ватметра та амперметра:

$$r = \frac{A_{PW}}{(A_{PA})^2} \quad (16)$$

електровимірний прилад струм потужність

Приклад 5

Котушка індуктивності підключена до однофазного джерела (50 Гц). У коло котушки включені ватметр, вольтметр і амперметр. Після подачі напруги на затиски котушки показання приладів склали: ватметра – **110 Вт**, вольтметра – **220 В**, амперметра – **5 А**.

Визначити параметри котушки (повний, активний та індуктивний опори).

Рішення.

1. Визначаємо повний опір котушки за (15):

$$Z = \frac{A_{PV}}{A_{PA}} = \frac{220}{5} = 44 \text{ Ом}$$

2. Визначаємо активний опір котушки за (16):

$$r = \frac{A_{PW}}{(A_{PA})^2} = \frac{110}{5^2} = \frac{110}{25} = 4,4 \text{ Ом}$$

3. Визначаємо індуктивний опір котушки :

$$X_L = \sqrt{Z^2 - r^2} = \sqrt{44^2 - 4,4^2} = \sqrt{1936 - 19,36} = 43,8 \text{ Ом}$$

Для безпосереднього вимірювання опорів використовується електровимірний прилад **омметр**, який являє собою сукупність міліамперметра магнітоелектричної системи та спеціальної вимірної системи, яка складається з джерела постійної електрорушійної сили і регульованого резистора (рис.9.4).

При незмінній напрузі джерела сила струму в колі залежить від вимірюваного опору, що дозволяє градувати шкалу міліамперметра в омах:

$$I = \frac{E}{R_p + R_A + R_x}, \quad (17)$$

де I – сила струму в колі, А;

R_p – опір регульованого резистора, Ом;

R_A – опір амперметра, Ом;

R_x – вимірюваний опір, Ом.

Чим більше вимірюваний опір, тим менший струм протікає в колі, тому омметр має зворотну шкалу.

Крім омметра опір елемента кола можна вимірити за допомогою **вимірювального моста**. Розглянемо чотириплечій вимірювальний міст.

В одне плече моста включається елемент кола, опір якого необхідно вимірити (R_x), у три інших плечі моста включаються регульовані резистори R_1 , R_2 , R_3 . Вимірювальний міст має дві діагоналі (ab і cd), до діагоналі ab підключається джерело постійної електрорушійної сили, до діагоналі cd – гальванометр G .

При вимірюванні необхідно опори регульованих резисторів змінювати так, щоб урівноважити міст, тобто струм у гальванометрі повинний бути відсутнім. Це означає, що в урівноваженому стані $I_1 = I_2$, $I_3 = I_x$. У відповідності до другого закону Кірхгофа:

$$R_1 I_1 = R_3 I_3, \quad R_2 I_2 = R_x I_x. \quad (18)$$

Розділивши одне рівняння на інше, одержимо:

$$R_x = \frac{R_3}{R_1} R_2. \quad (19)$$

Запитання для самоконтролю

Складіть розрахункову схему двоплечего моста.

Опишіть принцип дії двоплечего моста.

Складіть розрахункову схему чотириплечего моста.

Опишіть принцип дії чотириплечего моста.

Тестові завдання з дисципліни « Електрорадіовимірювання»

1. Виконати завдання інформаційно-репродуктивного і практично-стереотипного характеру, користуючись таблицями.

Таблиця .1

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер відповіді
1	Для чого призначені електровимірювальні прилади?	
2	Опишіть побудову та принцип дії стрілочного електровимірювального приладу?	
3	Перелічіть основні величини, якими характеризується електровимірювальний прилад.	
4	Що розуміється під межею вимірювання приладу?	
5	Як визначити ціну поділки приладу?	
6	Як визначити чутливість приладу?	
7	Що розуміється під показанням приладу?	
8	Як визначити абсолютну похибка приладу?	
9	Як визначити відносну похибку приладу?	
10	Що розуміється під наведеною похибкою приладу?	
11	Що розуміється під класом точності приладу?	

Таблиця 1а

Номер відповіді	Відповідь

	Як різниця між показанням приладу та дійсним значенням вимірюваної фізичної величини: $D = A - A_d$.
	Відношення максимальної абсолютної похибки (установлюваної при проектуванні приладу) до межі вимірювання приладу (виражене у відсотках): $\varepsilon = \frac{\Delta_{\text{MAX}}}{A_{\text{MAX}}} \cdot 100$
	Значення фізичної величини, яке вимірює прилад (визначається як добуток ціни поділки приладу на кількість поділок, на яке відхилилася стрілка приладу при вимірюванні): $A = C \cdot n$.
	Як відношення абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної фізичної величини (виражене у відсотках): $\delta = \frac{\Delta}{A_d} \cdot 100$
	Відношення абсолютної похибки до межі вимірювання приладу (виражене у відсотках): $\gamma = \frac{\Delta}{A_{\text{MAX}}} \cdot 100$
	Складається з вимірювального механізму, поміщеного в корпус, і допоміжних частин (затиски для підключення, перемикачі меж вимірювань, блок живлення, коректор). Вимірювальний механізм складається з рухомої й нерухомої частин та має шкалу з певною кількістю поділок. Принцип дії вимірювального механізму може бути заснований на явищі електромагнетизму, електромагнітної сили або теплової дії струму. У результаті цих явищ виникає обертаючий момент, що повертає рухому частину вимірювального механізму разом з покажчиком (стрілкою). Стрілка відхиляється на кут, прямо пропорційний значенню вимірюваної фізичної величини. У протидію обертаючому моменту (електромагнітним або механічним шляхом) створюється однаковий за значенням і протидіючий момент, тому що інакше стрілка буде відхилятися до кінця шкали при будь-якому значенні вимірюваної величини (відмінної від нуля).
	Межа вимірювання, ціна поділки, чутливість, показання приладу, абсолютна похибка, відносна похибка, наведена похибка, клас точності.
	Як відношення межі вимірювання приладу до кількості поділок на шкалі

	$\tilde{N}_I = \frac{A_{MAX}}{n_{MAX}}$ приладу:
	Найбільше значення фізичної величини, яке можна вимірити приладом.
	Для перетворення різних електричних величин (сили струму, напруги, активних і реактивних потужностей і енергій, коефіцієнта потужності, опору, індуктивності, ємності) у візуальну форму, зручну для сприйняття.
	Як відношення кількості поділок на шкалі приладу до межі вимірювання $\tilde{N} = \frac{n_{MAX}}{A_{MAX}}$ приладу:

Таблиця 9.2

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер відповіді
	Перелічіть основні прилади, які найбільше часто використовуються для електричних вимірювань.	
	Як класифікуються електровимірювальні прилади?	
	Як здійснюється вибір електровимірювального приладу?	
	Опишіть побудову та принцип дії приладу магнітоелектричної системи, указавши область використання.	
	Опишіть побудову та принцип дії приладу електромагнітної системи, указавши область використання.	
	Опишіть побудову та принцип дії приладу електродинамічної системи, указавши область використання.	
	Опишіть побудову та принцип дії приладу індукційної	

	системи, указавши область використання.	
	Опишіть побудову та принцип дії приладу термоелектричної системи, указавши область використання.	
	Опишіть побудову та принцип дії приладу випрямної системи, указавши область використання.	

Таблиця 2а

Номер відповіді	Відповідь
	Прилад являє собою сукупність приладу магнітоелектричної системи та термопари (двох різнорідних металів: мідь – константан, залізо – константан і інших). Два кінці металевих провідників, з яких складається термопара, з'єднані в загальний вузол. До цього вузла приєднаний провідник, по якому проходить вимірюваний електричний струм. У результаті теплової дії струму загальний вузол нагрівається та у ньому наводиться постійна електрорушійна сила (названа термо-е.р.с.), незалежно від роду струму. До двох інших кінців металевих провідників, з яких складається термопара, підключений вимірювальний механізм магнітоелектричної системи. При виникненні термо-е.р.с. у котушці вимірювального механізму протікає постійний струм. При протіканні електричного струму в провідниках котушки спостерігається явище електромагнітної сили. У результаті котушка, а разом з нею й стрілка приладу відхиляються, указуючи на шкалі значення вимірюваної величини. Прилади цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного та змінного струмів.
	Вимірювальний механізм приладу складається із двох котушок індуктивності (рухомої і нерухомої). При протіканні електричного струму в провідниках котушок спостерігається явище електромагнітної сили. У результаті рухома котушка (що знаходиться усередині нерухомої котушки) відхиляється на кут, пропорційний значенню вимірюваної величини. Разом із цією котушкою відхиляється стрілка приладу, указуючи на шкалі значення вимірюваної величини. Прилади цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного та змінного струмів.
	Прилад являє собою сукупність приладу магнітоелектричної системи та одного або декількох напівпровідникових випрямлячів, призначення яких – живлення вимірювального механізму магнітоелектричної системи постійним струмом. Прилади цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного та змінного струмів для вимірювання невеликих значень фізичних величин, а також для вимірювань у колах з підвищеною частотою струму (понад 50 Гц).

	Вимірювальний механізм приладу складається із двох нерухомих котушок індуктивності (зсунених у просторі на кут 90° одна щодо іншої) і рухомої металевої частини (диска, циліндра), що розташовується між котушками. Одну котушку включають паралельно мережі, а іншу послідовно. Струми, що протікають у котушках, створюють два магнітних потоки, які пронизують рухому металеву частину та наводять у ній вихрові е.р.с. Під дією наведених вихрових е.р.с. у рухомій частині будуть протікати вихрові струми, тобто рухома частина зі струмом перебуває в магнітному полі котушок. У результаті спостерігається явище електромагнітної сили та рухома частина (диск, циліндр) приходить в обертання. Прилади цієї системи використовують, як правило, для вимірювання потужності та енергії в колах змінного струму.
	Вимірювана фізична величина, рід струму, клас точності, принцип дії, спосіб відліку та характер шкали, характер застосування та установки.
	Вимірювальний механізм приладу складається з котушки індуктивності з рухомих магнітопроводом, що зв'язаний зі стрілкою приладу. При протіканні електричного струму в провідниках котушки спостерігається явище електромагнетизму. У результаті магнітопровід втягується в котушку пропорційно значенню вимірюваної величини, а стрілка приладу відхиляється, указуючи на шкалі значення вимірюваної величини. Прилади цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного та змінного струмів.
	визначається вимірювана фізична величина та прилад для вимірювань (сила струму - амперметр, напруга - вольтметр, потужність - ватметр і так далі); визначається рід струму в колі (постійний, змінний); визначається необхідний клас точності приладу; визначається характер застосування та установки; визначається система приладу (магнітоелектрична, електромагнітна або інша); визначається межа вимірювання приладу; визначається ціна поділки приладу.
	Вимірювальний механізм приладу складається з постійного магніту, що має підковоподібну форму. Усередині магніту знаходиться котушка індуктивності, зв'язана зі стрілкою приладу. При протіканні електричного струму в провідниках котушки спостерігається явище електромагнітної сили. У результаті котушка, укріплена на осі, повертається на кут, пропорційний значенню вимірюваної величини. Разом з котушкою відхиляється стрілка приладу, указуючи на шкалі значення вимірюваної величини. Прилади цієї системи використовуються для вимірювань у колах постійного струму.

	Амперметр, вольтметр, ватметр, електричний лічильник, фазометр, омметр, вимірювальний міст, частотомір.
--	---

Таблиця 3

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер відповіді
	Для чого призначений амперметр?	
	Як вибрати для вимірювань амперметр?	
	Складіть принципову електричну схему вимірювання сили струму в однофазному навантаженні.	
	Для чого призначений вольтметр?	
	Як вибрати для вимірювань вольтметр?	
	Складіть принципову електричну схему вимірювання напруги на затисках однофазного навантаження.	
	Для чого призначений ватметр?	
	Опишіть побудову ватметра.	
	Опишіть принцип дії ватметра.	
	Як вибрати для вимірювань ватметр?	
	Як визначити межа вимірювання та ціну поділки ватметра?	
	Складіть принципову електричну схему вимірювання потужності однофазного навантаження.	
	Складіть і опишіть принципову електричну схему включення ватметра у високовольтну однофазну мережу за допомогою вимірювальних трансформаторів напруги та струму.	
	Як визначити коефіцієнт потужності пристрою за показаннями амперметра, вольтметра та ватметра?	

Таблиця 3а

Номер відповіді	Відповідь
	За родом струму, класом точності, характером застосування та способом установки, системою приладу, а також тому, що межа вимірювання приладу повинна перевищувати передбачуване значення активної потужності кола.
	Вимірювальний механізм приладу складається із двох котушок: нерухомої та рухомої, зв'язаної зі стрілкою приладу. Нерухома котушка (струмова обмотка) має невелику кількість витків і виконана із проводу з великим перетином; включається в коло послідовно. Рухома котушка (обмотка напруги) має велику кількість витків і виконана із проводу з невеликим перетином; включається в коло паралельно. Струми в котушках повинні протікати в одному напрямку, щоб стрілка приладу відхилялася вправо від нуля, для цього затиски приладу зі знаком «*» поєднують у загальний вузол.
	Як відношення показання ватметра до добутку показань амперметра та вольтметра.
	Принцип дії приладу заснований на явищі електромагнітної сили, що виникає при протіканні струму в обох котушках, у результаті чого виникає обертаючий момент прямо пропорційний струмам у котушках. Сила струму в рухомій котушці пропорційна напрузі в колі, тому що вона включається паралельно. Сила струму в нерухомій котушці пропорційна силі струму в колі, тому що вона включається послідовно. Отже, обертаючий момент, що діє на рухому котушку, пропорційний активної потужності в колі.
	Як добуток межі по струму на межу по напрузі, як частка від ділення межі вимірювання на кількість поділок на шкалі приладу.
	Для вимірювання напруги в колі.
	За родом струму, класом точності, характером використання та способом установки, системою приладу, а також тим, що межа вимірювання приладу повинна перевищувати передбачуване значення напруги в колі.
	Для вимірювання сили струму в колі.
	За родом струму, класом точності, характером використання та способом установки, системою приладу, а також тим, що межа вимірювання приладу повинна перевищувати передбачуване значення сили струму в колі.
	Для вимірювання активної потужності в колі.

Таблиця 4

Номер запитання, завдання	Запитання, завдання	Номер відповіді
	Для чого призначений лічильник активної енергії?	
	Опишіть побудову лічильника активної енергії.	
	Опишіть принцип дії лічильника активної енергії.	
	Складіть і опишіть принципову електричну схему включення лічильника активної енергії у високовольтну мережу за допомогою вимірювальних трансформаторів напруги та струму.	
	Що розуміється під постійною лічильника активної енергії?	
	Як визначити потужність навантаження за показниками лічильника активної енергії?	
	Складіть розрахункову схему двоплечего моста.	
	Опишіть принцип дії двоплечего моста.	
	Складіть розрахункову схему чотиреплечего моста	
	Опишіть принцип дії чотиреплечего моста.	

Таблиця .4а

Номер відповіді	Відповідь
	При вимірюванні необхідно опір регульованого резистора змінювати так, щоб урівноважити міст, після чого за значенням регульованого резистора визначають вимірюваний опір.
	$\frac{3600 \text{ } n}{\tilde{N}_{\text{Е*}} \text{ } t}$

	При вимірюванні необхідно опори регульованих резисторів змінювати так, щоб урівноважити міст, тобто струм у гальванометрі повинен бути відсутнім. $R_x = \frac{R_3}{R_1} R_2$ Це означає, що в урівноваженому стані $I_1 = I_2$, $I_3 = I_x$, тому
	Для обліку спожитої активної енергії.
	При протіканні електричного струму по обмотках спостерігається явище електромагнетизму, у результаті чого створюються магнітні потоки обмоток. Ці потоки пронизують диск і спостерігається явище електромагнітної індукції: у диску наводяться вихрові е.р.с., під дією яких протікають вихрові струми. Взаємодія магнітного поля обмоток і вихрових струмів призводить до виникнення явища електромагнітної сили. Диск, а разом з ним і рахунковий механізм, починають обертатися. Для гальмування диска (при відсутності споживання електроенергії) використовується постійний магніт підковоподібної форми, полюси якого розташовані по різні сторони щодо площини диска.
	Фізична величина, яка показує, скільки обертів диска відповідає 1 кВтЧгод.
	Вимірювальний механізм приладу влаштований у такий спосіб: на двох магнітопроводах, які мають підковоподібну форму та розташованих перпендикулярно один одному, знаходяться обмотки (катушки індуктивності); одна обмотка (обмотка напруги) включається паралельно споживачеві, друга обмотка (струмова обмотка) включається послідовно зі споживачем; між магнітопроводами укріплений алюмінієвий диск на осі, яка зв'язана з рахунковим механізмом.

