

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

з дисциплін

**«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ
ВИМІРЮВАНЬ»,**

«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАНЬ»

*(для студентів 3 курсу заочної форми навчання
напрямів підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології",
6.050702 "Електромеханіка" та для слухачів другої вищої освіти
спеціальностей 7.05070203 – "Електричний транспорт",
7.05070103 – "Електротехнічні системи електроспоживання (за видами)")*

Харків
ХНАМГ
2011

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до виконання лабораторних робіт з дисциплін "Основи метрології та електричних вимірювань", "Основи метрології та електровимірювань" (для студентів 3 курсу заочної форми навчання напрямів підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології", 6.050702 "Електромеханіка" та для слухачів другої вищої освіти спеціальностей 7.05070203 – "Електричний транспорт", 7.05070103 – "Електротехнічні системи електроспоживання (за видами)") / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: М. В. Чернявська, І. Т. Карпалюк, М. Л. Глебова. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 40 с.

Укладачі: к.т.н., доц. М. В. Чернявська,
к.т.н., доц. І. Т. Карпалюк,
к.т.н., доц. М. Л. Глебова

Рецензент: к.т.н., доц. В. М. Охрименко

Затверджено на засіданні кафедри "Інформаційні системи і технології в міському господарстві", протокол № 70 від 08.12.2010 р.

Зміст

ВВЕДЕННЯ.....	5
Лабораторна робота №1 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРІВ	6
1.1 Мета роботи	6
1.2 Загальні відомості.....	6
1.3 Порядок виконання роботи	9
1.4 Звіт про роботу	11
1.5 Контрольні запитання	11
Лабораторна робота № 2 ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ СТРУМУ І НАПРУГИ.....	12
2.1 Мета роботи	12
2.2 Загальні відомості.....	12
2.2.1 Шунти і додаткові опори.....	12
2.2.2 Вимірювальні трансформатори	14
2.2.3 Перетворювачі змінного струму в постійний	15
2.3 Порядок виконання роботи	16
2.4 Звіт про роботу	21
2.5 Контрольні запитання	21
Лабораторна робота № 3 ВИМІР ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ: R , L , M , C	22
3.1 Мета роботи	22
3.2 Загальні відомості.....	22
3.2.1 Непрямий метод виміру опорів	22
3.2.2 Прилади безпосередньої оцінки для виміру опорів	23
3.2.3 Метод амперметра, вольтметра, ватметра для виміру індуктивності, ємності і взаємної індуктивності в колах змінного струму.....	24
3.2.4 Визначення взаємної індуктивності за допомогою амперметра і вольтметра (рис.3.3).....	25
3.2.5 Вимір ємності за сталою часу (рис. 3.4)	26

3.2.6	Вимірювальні прилади врівноважуючого перетворення.....	26
3.3	Порядок виконання роботи	28
3.4	Звіт про роботу	30
3.5	Контрольні запитання.....	30
Лабораторна робота № 4 ВИМІР ПОТУЖНОСТІ І ЕНЕРГІЇ В		
ТРИФАЗНИХ КОЛАХ.....		
4.1	Мета роботи	31
4.2	Загальні відомості.....	31
4.2.1	Вимір активної потужності і енергії в чотирьохпровідних колах ..	31
4.2.2	Вимір активної потужності та енергії у трифазних колах.....	33
4.2.3	Вимір реактивної потужності і енергії в трифазних колах.....	34
4.2.4	Вимір кута зсуву фаз і коефіцієнта потужності.....	36
4.3	Порядок виконання роботи	37
4.4	Звіт про роботу	38
4.5	Контрольні запитання.....	38
Список джерел.....		39

ВВЕДЕННЯ

Дисципліни "Основи метрології та електричних вимірювань", "Основи метрології та електровимірювань" є нормативними дисциплінами для підготовки спеціалістів напрямів підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології", 6.050702 "Електромеханіка", та для слухачів другої вищої освіти спеціальностей 7.05070203 – "Електричний транспорт", 7.05070103 – "Електротехнічні системи електроспоживання (за видами)".

Дисципліни "Основи метрології та електричних вимірювань", "Основи метрології та електровимірювань" мають дати студентам основи знань, необхідних для вирішення виробничих завдань, пов'язаних з вибором засобів і методів вимірів електричних, магнітних та неелектричних величин, а також для вивчення інших дисциплін спеціальності.

Завданням дисциплін є навчання студентів принципам дії, властивостям, характеристикам розповсюджених засобів вимірів електричних величин; вміння вибрати засоби і методи вимірів, виконувати виміри і оцінювати їхні похибки.

Необхідна навчальна база перед початком вивчення дисципліни: з метою найкращого засвоєння матеріалу студенти повинні опанувати знання і навички стосовно процесів та методів розрахунків електричних схем.

Лабораторна робота №1 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРІВ

1.1 Мета роботи

Придбати практичні навички роботи з цифровим вольтметром і електронним амперметром.

Освоїти методику обробки результатів прямих і непрямих вимірів опору.

Навчитися подавати результати вимірів відповідно до ГОСТ 8.01–72.

1.2 Загальні відомості

Результат будь-якого виміру завжди буде відрізнятися від дійсного значення вимірюваної величини. Це розходження являє собою похибку виміру. Залежно від числового виразу розрізняють похибки: абсолютні, відносні і приведені.

Абсолютна похибка

$$\Delta = X - X_{\partial} (\%), \quad (1.1)$$

де X – показ приладу або результат виміру; X_{∂} – дійсне значення вимірюваної величини.

Відносна похибка

$$\delta = \frac{100 \cdot \Delta}{X_{\partial}} (\%). \quad (1.2)$$

Приведена похибка

$$\gamma = \frac{100 \cdot \Delta}{X_n} (\%), \quad (1.3)$$

де X_n – нормуюче значення, яке для приладів дорівнює кінцевому значенню діапазону вимірів або номінальному значенню вимірюваної величини.

Похибка вимірювального приладу, обумовлена класом точності, і похибка виміру цим приладом фізичної величини не збігаються.

Відносна похибка виміру фізичної величини оцінюється за формулою

$$\delta = \pm \frac{100 \cdot \Delta}{X} = \pm \frac{X_H}{X} \cdot \gamma (\%), \quad (1.4)$$

де γ – гранично допустиме значення основної похибки або клас точності приладу.

Відносна похибка виміру струму, напруги і потужності оцінюється за формулами

$$\delta_I = \pm \gamma_I \cdot \frac{I_H}{I} (\%); \quad (1.5)$$

$$\delta_U = \pm \gamma_U \cdot \frac{U_H}{U} (\%); \quad (1.6)$$

$$\delta_P = \pm \gamma_P \cdot \frac{P_H}{P} (\%), \quad (1.7)$$

де $\gamma_I, \gamma_U, \gamma_P$ – клас точності відповідного приладу; I_H, U_H, P_H – кінцевий діапазон виміру величини; I, U, P – вимірюване значення величини.

При непрямих вимірах відносні похибки оцінюють іншим чином. Визначаючи, наприклад, опір за показами амперметра, вольтметра і ватметра, обчислення виконують за однією з нижченаведених формул:

$$R = \frac{U}{I}; \quad (1.8)$$

$$R = \frac{P}{I^2}; \quad (1.9)$$

$$R = \frac{U^2}{P}. \quad (1.10)$$

Відносна похибка виміру опору, відповідно, оцінюється за однією з формул

$$\delta_R = \delta_I + \delta_U; \quad (1.11)$$

$$\delta_R = \delta_P + 2 \cdot \delta_I; \quad (1.12)$$

$$\delta_R = \delta_P + 2 \cdot \delta_U. \quad (1.13)$$

Причин виникнення похибок багато і вони мають як об'єктивний, так і суб'єктивний характер, але у всіх випадках мають дві складові: систематичні

похибки, що можуть бути враховані і виключені з результатів вимірів, і випадкові, які не можуть бути виключені з результатів вимірів, але їх можна зменшити застосуванням методів теорії імовірності і математичної статистики при обробці результатів виміру.

У цій роботі при обліку випадкових похибок окремі досліди розглядаються як випадкові величини, розподілені за нормальним законом.

За результатами спостережень необхідно виконати такі операції:

1. Результати спостережень занести до таблиці і виключити з них систематичні і грубі похибки, в результаті чого отримаємо виправлені спостереження, з якими будемо проводити подальші операції.
2. Визначити середнє арифметичне результатів спостережень, що буде точковою оцінкою дійсного значення вимірюваної величини

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_i + \dots + X_n}{n}. \quad (1.14)$$

3. Обчислити середнє квадратичне відхилення результатів окремих спостережень

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad (1.15)$$

де n – число спостережень; X_i – окреме спостереження вимірюваної величини; \bar{X} – середнє арифметичне.

4. Визначити середнє квадратичне відхилення результатів вимірів

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (1.16)$$

5. Визначити довірчий симетричний інтервал, в який із заданою імовірністю P попадає дійсне значення вимірюваної величини. Шуканий довірчий інтервал визначається за формулою

$$\Delta X = \pm t_{p,n-1} \cdot \sigma_{\bar{X}} = \pm t_{p,n-1} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (1.17)$$

де $t_{p,n-1}$ – коефіцієнт Стюдента, який знаходять з відповідних таблиць залежно від довірчої ймовірності p і числа ступенів свободи $(n-1)$.

6. Записати результат виміру

$$X = \bar{X} \pm \Delta X.$$

1.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з цифровим вольтметром і електронним амперметром. Записати технічні і метрологічні характеристики приладів. Технічні дані занести до табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Найменування приладу	Тип приладу та заводський номер	Верхні межі виміру	Тип струму	Частотний діапазон	Система приладу	Дослідна напруга	Вхідний опір	Межа допуску основної похибки
----------------------	---------------------------------	--------------------	------------	--------------------	-----------------	------------------	--------------	-------------------------------

2. Вивчити порядок роботи з цифровим вольтметром і електронним амперметром.
3. Зібрати електричне коло за схемою (рис. 1.1) і після її перевірки викладачем зняти 15-20 показів вольтметра і амперметра. Напругу змінювати лабораторним автотрансформатором.

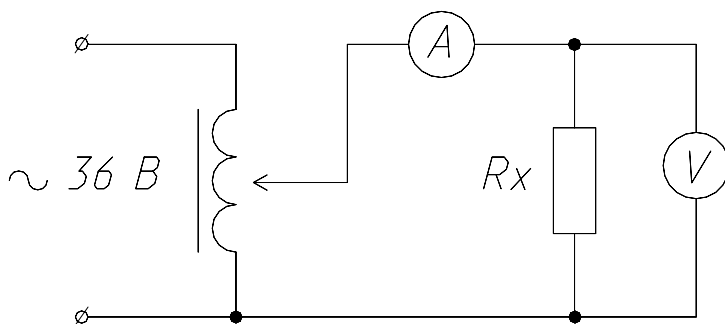


Рис. 1.1

4. За результатами спостережень, використовуючи формули (1.5); (1.6); (1.8); (1.11), обчислити відносні похибки виміру струму, напруги і опору, значення вимірюваного опору. Результати спостережень і розрахунків занести до табл. 1.2, 1.3. Цифровим вольтметром В7-27 зробити прямий замір опору R_x .

Таблиця 1.2

Номер спостереження	Результати вимірів			Результати вимірів						
	$U_{i\text{вх}}$	$U_{i\text{вих}}$	I_i	$R_{i\text{вх}}$	$R_{i\text{вих}}$	$\delta U_{\text{вх}}$	$\delta U_{\text{вих}}$	δI	$\delta R_{\text{вх}}$	$\delta R_{\text{вих}}$
	В	В	А	Ом	Ом	%	%	%	%	%
1										
2										
:										
:										
20										

5. Побудувати графіки залежностей

$$\delta_I = F(I); \quad \delta_V = F(V); \quad \delta_R = F(V, I).$$

Проаналізувати і пояснити отримані результати.

6. Використовуючи дані табл. 1.2, за формулами (1.14) і (1.15) знайти середнє арифметичне і оцінку середнього квадратичного відхилення вимірюваного опору. Цю операцію проводити, використовуючи табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Номер спостереження	$R_1, \text{ Ом}$		$(R_1 - \bar{R}), \text{ Ом}$		$(R_1 - \bar{R})^2, \text{ Ом}$	
	ВХ	ВИХ	ВХ	ВИХ	ВХ	ВИХ
1						
2						
:						
:						
20						
	$\sum \frac{\quad}{n} = \bar{R}$				$\sum =$	

7. За формулами (1.16) і (1.17) визначити оцінку середнього квадратичного відхилення результату виміру опору R і довірчий інтервал ΔR при заданій ймовірності $p = 0,95$.

8. Записати результат виміру опору

$$R = R \pm \Delta R.$$

9. Вимірити той же опір 15-20 разів мостом постійного струму або цифровим омметром і обробити результати вимірів, як було показано вище. Результати спостережень і розрахунків записати до таблиці, яка аналогічна табл. 1.3.

10. Порівняти результати обробки експериментальних даних прямих і непрямих вимірів опору резистора.

11. Для визначення коефіцієнта Стюдента користатися табл. 1.4.

Таблиця 1.4

n – 1	p=0,95	p=0,99	n – 1	p=0,95	p=0,99
3	3,18	5,84	10	2,23	3,17
4	2,78	4,60	11	2,20	3,11
5	2,57	4,03	12	2,18	3,05
6	2,45	3,71	13	2,16	3,01
7	2,36	3,50	14	2,14	2,98
8	2,306	3,25	15	2,13	2,95
9	2,26	3,25	16	2,12	2,92
17	2,11	2,90	20	2,08	2,84

1.4 Звіт про роботу

У звіті повинні бути наведені:

1. Технічні і метрологічні характеристики вимірювальних приладів.
2. Схема електричного кола.
3. Розрахункові формули, таблиці вимірів і обчислень, приклади обчислень за наведеними формулами.
4. Криві залежностей.
5. Стислі висновки по роботі.

1.5 Контрольні запитання

1. Позначення і одиниці виміру електричних і магнітних величин.
2. Прямі, непрямі і сукупні виміри.
3. Методи виміру.
4. Засоби вимірів, їхня класифікація.
5. Абсолютна, відносна і приведена похибки.
6. Відносні похибки виміру струму, напруги і потужності.
7. Порядок обробки результатів прямих вимірів.
8. Порядок обробки результатів непрямих вимірів.

Лабораторна робота № 2 ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ СТРУМУ І НАПРУГИ

2.1 Мета роботи

Виконання розрахунку і практичне застосування шунтів і додаткових опорів для розширення меж виміру струму і напруги. Практичне застосування вимірювальних трансформаторів для виміру змінного струму і напруги. Перетворення змінного струму (різної форми кривої), у постійний за допомогою напівпровідникових випрямлячів. Визначення основних співвідношень між напругами при одно- і двопівперіодному випрямленні.

2.2 Загальні відомості

2.2.1 Шунти і додаткові опори

Шунти, застосовувані для розширення меж виміру вимірювального механізму за струмом, представляють собою невеликий опір, виготовлений з манганіну і постачений струмовими затисками для включення в коло і потенційними для приєднання вимірювального механізму приладу. Таке включення шунта усуває похибки від контактних опорів (рис. 2.1).

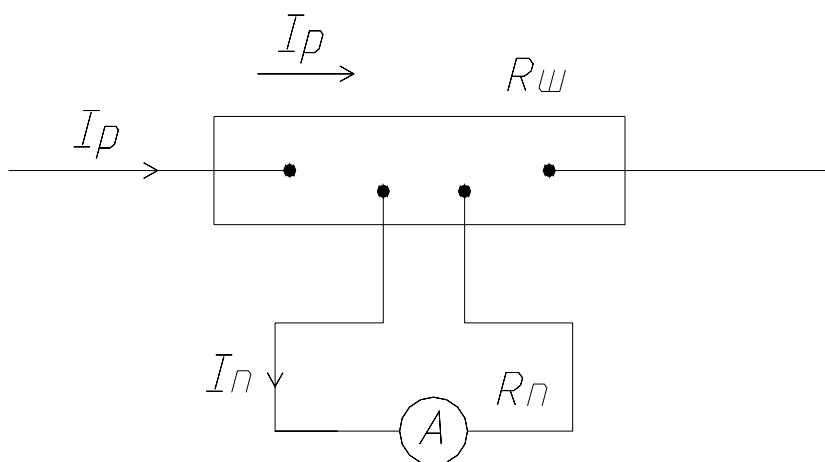


Рис. 2.1

Вимірюваний струм кола I і струм приладу I_n пов'язані співвідношенням

$$I_n = I \cdot \frac{R_{ш}}{R_{ш} + R_n}; \quad (2.1)$$

$$p = \frac{I}{I_n} = \frac{R_n}{R_{ш}} + 1,$$

де p – шунтуючий множник, що показує, у скільки разів вимірюваний струм більше струму приладу або в скільки разів розширюються межі виміру за струмом. Шунтуючий множник є незмінним при постійних значеннях R_n і $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{R_n}{p-1}. \quad (2.2)$$

За рівнянням (2.2) визначають величину опору шунта. Шунти бувають внутрішніми і зовнішніми і застосовуються переважно для постійного струму, бо при змінному струмі розподіл струму в паралельних вітках залежить від індуктивності і частоти, що ускладнює їхнє застосування і має похибки.

Додаткові опори, застосовувані для розширення меж виміру вольтметрів, виготовляють з манганіну і включають послідовно з вимірювальним механізмом (рис. 2.2).

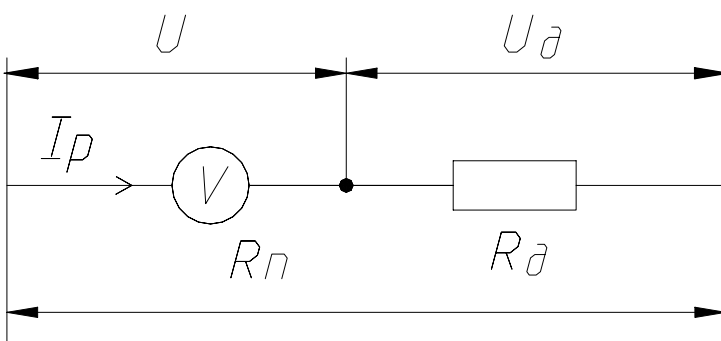


Рис. 2.2

Якщо межу виміру напруги вольтметра треба розширити в $p = \frac{U}{U_n}$ разів, то

$$U = U_n \cdot P = U_n + U_d = I_n \cdot (R_n + R_d),$$

звідси додатковий опір

$$R_d = \frac{U_n \cdot P - I_n \cdot R_n}{I_n} = \frac{I_n \cdot R_n \cdot P - I_n \cdot R_n}{I_n},$$

або

$$R_d = R_n(P-1). \quad (2.3)$$

Шунти і додаткові опори, що включаються з приладами для розширення меж виміру, повинні мати клас точності не нижче вказаного в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Клас точності приладу	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0
Клас точності шунта або додаткового опору	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	0,5	0,5	1,0

2.2.2 Вимірювальні трансформатори

Вимірювальні трансформатори являють собою осердя з листового магнітом'якого матеріалу з двома обмотками і використовують явище електромагнітної індукції. Їхнє основне призначення – перетворення (звичайно зменшення) значень вимірюваних напруг і струмів у стандартні (наприклад, 5 А, 100 В). Застосуванням вимірювальних трансформаторів у колах високої напруги досягається безпека обслуговування приладів у вторинному колі.

Вимірювальні трансформатори поділяються на трансформатори струму і напруги (рис. 2.3).

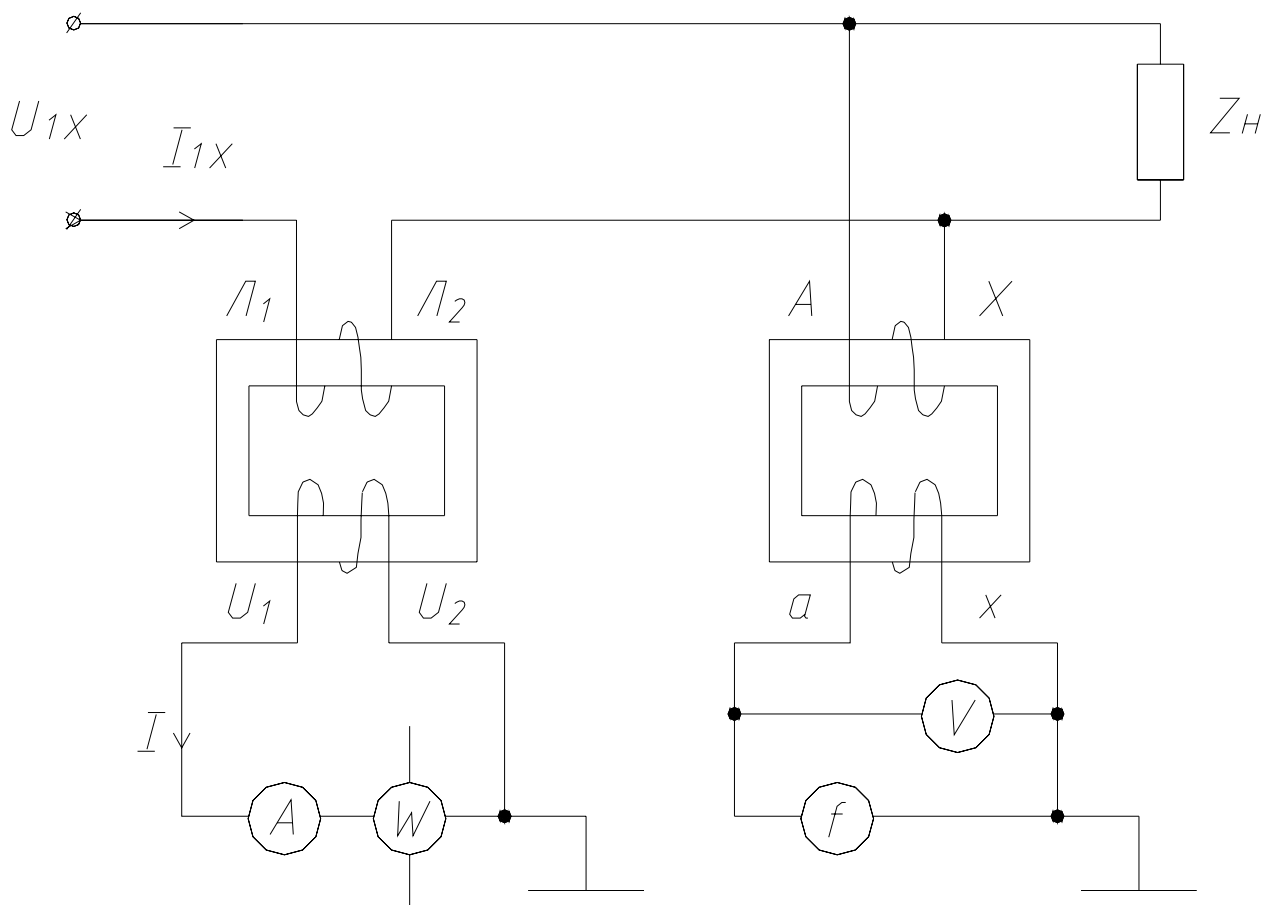


Рис. 2.3

Вимірювальні трансформатори характеризуються номінальними коефіцієнтами трансформації, обумовленими відношенням номінальних значень

$$K_{U_H} = \frac{U_{1H}}{U_{2H}}; \quad K_{I_H} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}. \quad (2.4)$$

Вони вказується в паспортах трансформаторів. Дійсні коефіцієнти трансформації K_U і K_I залежать від значень опорів вторинного кола. Через це виникають похибки за коефіцієнтом трансформації

$$\delta_U = \frac{K_{U_H} - K_U}{K_U} \cdot 100; \quad \delta_I = \frac{K_{I_H} - K_I}{K_I} \cdot 100. \quad (2.5)$$

Значення найбільших похибок, що допускаються, визначають класи точності трансформаторів (0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 10,0). Крім того, трансформатори характеризуються кутковою похибкою, що визначається як кут зсуву між вектором первинної величини і оберненим на 180° вектором вторинної величини. Кутова похибка позначається на результатах вимірів тільки фазочутливими приладами (вольтметри, лічильники і т. ін.).

Таким чином, знаючи покази амперметра I_2 і вольтметра U_2 , вимірюваний струм I_1 і напругу U_1 можна визначити за формулами

$$\begin{aligned} I_1 &= K_I \cdot I_2; & I_1' &= K_{I_H} \cdot I_2; \\ U_1 &= K_U \cdot U_2; & U_1' &= K_{U_H} \cdot U_2. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Звичайно покази приладу збільшуються не на дійсні, а на номінальні коефіцієнти трансформації.

2.2.3 Перетворювачі змінного струму в постійний

В якості перетворювачів змінного струму в постійний застосовують напівпровідникові випрямлячі, термоперетворювачі, транзистори і т. ін.

Напівпровідникові випрямлячі мають необмежений термін служби, малі габарити, вагу, прості і надійні в роботі. Нелінійність характеристик напівпровідникових випрямлячів і сильний вплив температури, а також наявність похибки від скривлення форми кривої вимірюваних величин приводять до зниження точності вимірювальних приладів. Випрямним приладам належить і часткова похибка.

У залежності від з'єднання вимірювального механізму з випрямлячами прилади бувають одно- або двопівперіодного випрямлення. У схемах першого типу через вимірювальний механізм проходить тільки одна напівхвиля змінного струму, а в схемах другого типу – випрямлений струм проходить через вимірювальний механізм в обидві половини періоду (рис. 2.4)

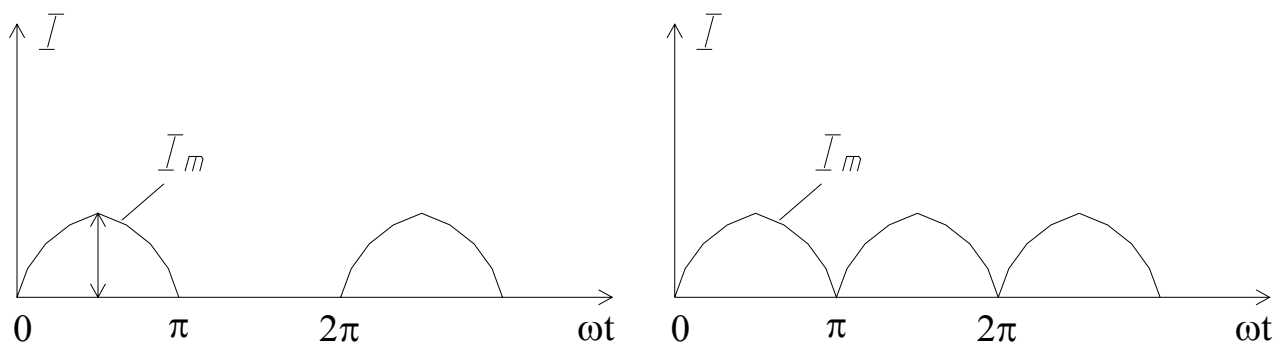


Рис. 2.4

При вимірах на змінному струмі викликає інтерес діюче значення. З огляду на те, що воно зв'язане із середнім співвідношенням

$$I_{\text{сер}} = \frac{I}{K_{\phi}}, \quad (2.7)$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт форми кривої, вимірювальний прилад може бути відградуваний у діючих значеннях тільки для визначеної форми кривої струму або напруги. Якщо використовувати квадратичну ділянку вольт-амперної характеристики (тобто початкову частину), то випрямлений струм (напруга) не буде залежати від форми кривих. Точність випрямних приладів невисока, звичайно клас точності вольтметрів і амперметрів 1,0-1,5.

Сполучення схем комбінованих випрямних ампер-вольтметрів зі схемами магнітоелектричних омметрів дозволить створювати універсальні прилади – тестери, що дозволяють вимірювати постійні і змінні струми і напруги в широких межах, а також активні опори.

2.3 Порядок виконання роботи

1. Записати технічні і метрологічні характеристики приладів до табл. 2.2.
2. Розрахувати величину додаткового опору для свого робочого місця за даними, взятим із табл. 2.2, згідно з формулами (2.2) і (2.3).

Таблиця 2.2

Номер робочого місця	$I_{1H}, \text{мА}$	$I_{2H}, \text{мА}$	$R_n, \text{Ом}$	$U_{1H}, \text{В}$	$U_{2H}, \text{В}$	$R_n, \text{Ом}$
1	7,5	100	668	30	7,5	
2	7,5	100	750	30	7,5	
3	7,5	100	706	30	7,5	
4	7,5	100	663	30	7,5	
5	1,5	100	742	30	7,5	
6	3,0	50	1640	15	7,5	
7	3,5	200	533	30	7,5	
8	1,0	100	742	15	7,5	

3. Зібрати схему для розширення межі виміру мікроамперметра (рис. 2.5).

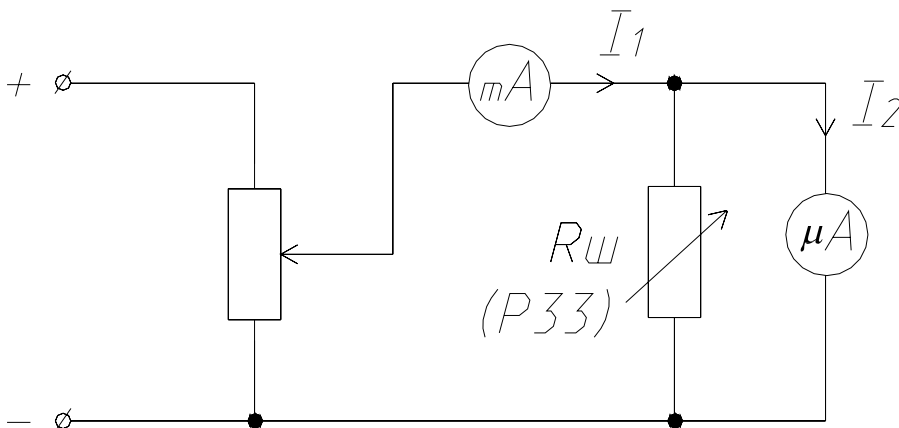


Рис. 2.5

4. Для п'яти оцифрованих значень міліамперметра вимірити струм. Результати вимірів і обчислень занести до табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Найменування	I_1	I_2	p	$R_{ш}$	I_1'	ΔI	γI	C_{I2} (з $R_{ш}$)
	мА	мА		Ом	мА	мА	%	
1								
2								
3								
4								
5								

Для заповнення таблиці зробити обчислення і визначити:

а) $R_{ш}, p$ – за варіантом робочого місця, за співвідношеннями:

$$p = \frac{I_{1н}}{I_{2н}}; \quad R_{ш} = \frac{R_n}{p-1};$$

б) обмірюване значення струму $I_1' = I_2 \cdot p$;

в) абсолютну похибку виміру струму;

г) відносну приведену похибку виміру струму

$$\delta_1 = \frac{\Delta I_1}{I_{1н}} \cdot 100.$$

5. Зібрати схему для розширення межі виміру вольтметра (рис. 2.6).

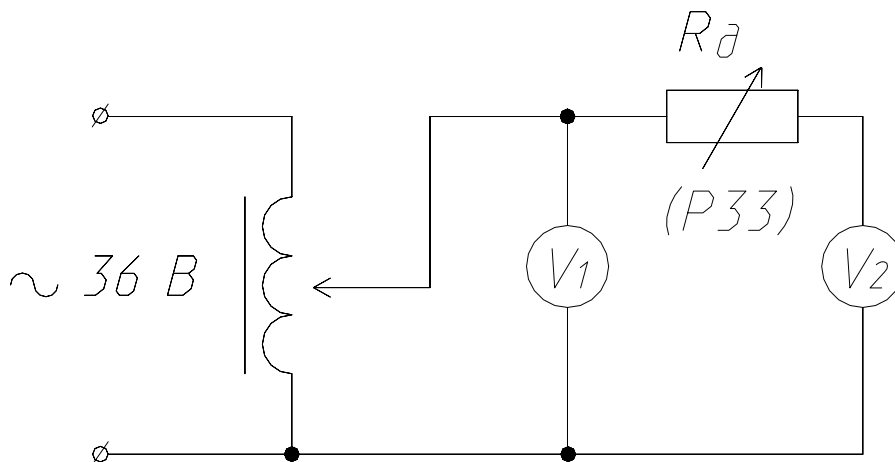


Рис. 2.6

6. Для п'яти різних значень I вимірити напругу U . Результати вимірів і обчислень занести до табл. 2.4. Для заповнення табл. 2.4 виконати обчислення і визначити:

а) p , $R_{д}$ – за варіантом робочого місця, за співвідношеннями:

$$p = \frac{U_{1н}}{U_{2н}}; \quad R_{д} = R_n \cdot (p-1);$$

б) обмірюване значення напруги $U_1' = p \cdot U_2$;

в) абсолютну похибку виміру напруги $\Delta U = U_1' - U_1$;

г) відносну приведену похибку напруги $\gamma_U = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_{1н}}$.

Таблиця 2.4

Найменування	U_1	U_2	P	R_{∂}	U'_1	ΔU	$\gamma\%$	C_{V_2}
	В	В		Ом	В	В	%	
1								
2								
3								
4								
5								

7. Зібрати схему включення амперметра, вольтметра і ватметра з вимірювальними трансформаторами струму і напруги (рис. 2.7).

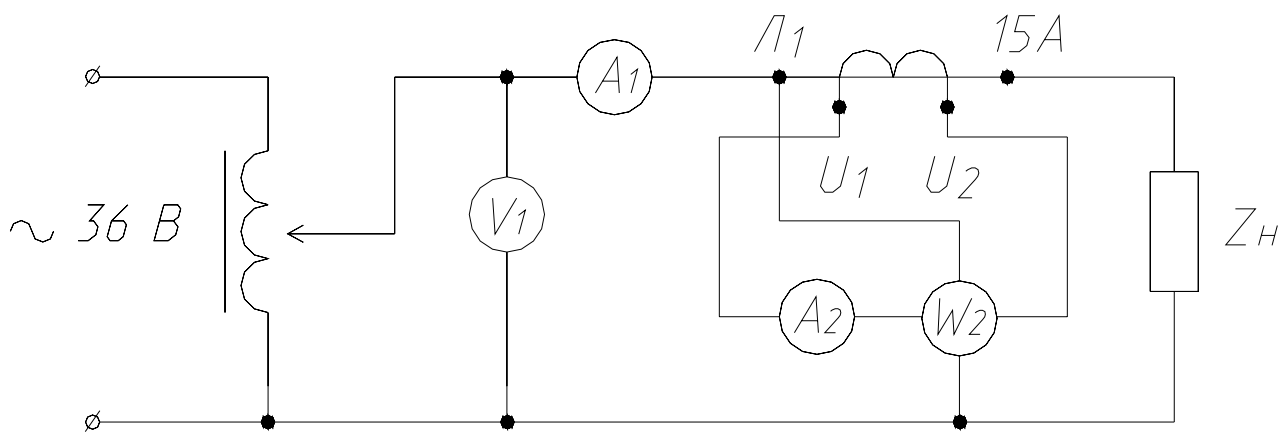


Рис. 2.7

8. Для п'яти різних значень напруги вимірити струм I_1 , напругу U_1 , струм I_2 , потужність P_2 . Результати вимірів занести до табл. 2.5. Для заповнення табл. 2.5. обчислити і визначити:

а) коефіцієнт трансформації $K_{In} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}$;

б) обмірювані значення струму і потужності:

$$I'_1 = I_2 \cdot K_{In}; \quad P_1 = P_2 \cdot K_{In} \cdot K_{Un};$$

в) абсолютну похибку виміру струму:

$$\Delta I = I'_1 - I_1,$$

г) відносні приведені похибки напруги і струму:

$$\gamma_I = \frac{\Delta I \cdot 100}{I_{1н}}$$

Таблиця 2.5

Найменування	U_1	I_1	I_2	P_2	$k_{Iн}$	I_1'	ΔI	γ_I	P_1	
	В	А	А	Вт		А	А	%	Вт	
1										
2										
3										
4										
5										

9. Зібрати схему перетворення змінного струму в постійний при одно- і двопівперіодному випрямленні, подаючи на вхід кола змінну напругу різної форми кривої (рис. 2.8). Для вимірів використовувати: осцилограф, електронний вольтметр і магнітоелектричний мікроамперметр із додатковим резистором.

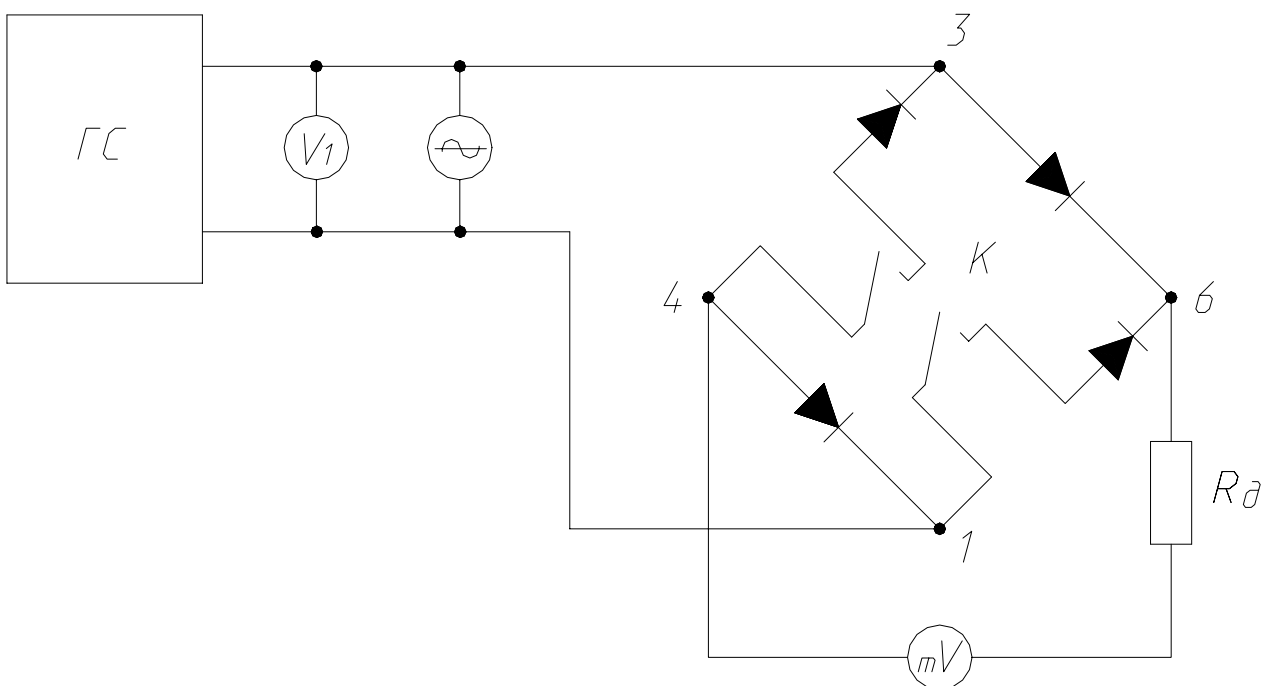


Рис. 2.8

- Встановити на генераторі відповідну форму кривої напруги і подати на вхід 7-12 В, $f = 100-200$ Гц.
- Зарисувати з осцилографа форми кривих напруги на вході і виході при одно- і двопівперіодному випрямленні і знайти амплітудні значення напруг.

Зафіксувати напруги на виході. Результати вимірів занести до табл. 2.6.

$$K_a = \frac{U_{M2}}{U_2}, K_\phi = \frac{U_1}{U_{сер2}}.$$

Таблиця 2.6

Вхід			Вихід						Двопівперіодний випрямлений		
			однопівперіодний			двопівперіодний					
Форми кривої	Напруга		Форми кривої	Напруга		Форми кривої	Напруга		K_a	K_ϕ	U_2
	По осцилографу U_{M1}	U_1		U_{M2}	$U_{сер}$		U_{M2}	$U_{сер}$			
	В	В		В	В		В	В			

2.4 Звіт про роботу

У звіті повинні бути наведені:

1. Технічні і метрологічні характеристики вимірювальних приладів.
2. Схеми електричних кіл.
3. Розрахункові формули, таблиці і обчислення.
4. Стислі висновки по роботі.

2.5 Контрольні запитання

1. Класифікація перетворювачів і їх структурна схема
2. Призначення шунтів і додаткових опорів, схеми включення.
3. Порядок розрахунку шунтів і додаткових опорів.
4. Пристрій, принцип дії і призначення вимірювальних трансформаторів.
5. Режим роботи і похибки вимірювальних трансформаторів.
6. Однопівперіодні випрямні перетворювачі.
7. Двопівперіодні випрямні перетворювачі.
8. Рівняння перетворення для випрямлячів.

Лабораторна робота № 3 ВИМІР ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ: R , L , M , C

3.1 Мета роботи

Освоєння деяких методів виміру параметрів електричних кіл: R , L , M і C .

Одержання практичних навичок роботи з омметрами, мегометрами, мостами постійного і змінного струму.

3.2 Загальні відомості

Опір – один з найважливіших параметрів електричних кіл. За величиною опору дуже різноманітні і поділяються на три групи: малі – від 1 Ом і менше; середні – від 1 Ом до 0,1 МОм; великі – від 0,1 МОм і вище. При вимірах малих опорів на результат вимірів впливає опір з'єднуючих проводів, контактів і контактні термо-ЕРС. При вимірах великих опорів необхідно враховувати і усувати вплив температури, вологості та інших величин. Опір твердих провідників вимірюють на постійному струмі, тому що при цьому виключається похибка, пов'язана з впливом ємності і індуктивності.

3.2.1 Непрямий метод виміру опорів

Метод порівняння при послідовному і паралельному з'єднанні заснований на порівнянні вимірюваного і зразкового опорів. При установці перемикача "К" у положення 1 (рис. 3.1, а) вимірюють напругу U_0 . Струм у колі

$$I_x = \frac{U_0}{R_0} \quad (3.1)$$

При установці "К" у положення 3 вимірюють напругу U_x , тоді вимірюваний опір

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_x}{U_0} \cdot R_0 \quad (3.2)$$

Цей метод застосовують для виміру середніх і великих опорів.

Для виміру малих і середніх значень опорів застосовують схему рис. 3.1 а,б
У положенні 1 ключа "К" вимірюють струм I_0 , а в положення 3 – струм I_x .

Напруга мережі

$$U_x = I_0 \cdot R_0 \quad (3.3)$$

Вимірюваний опір

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{I_0}{I_x} \cdot R_0 \quad (3.4)$$

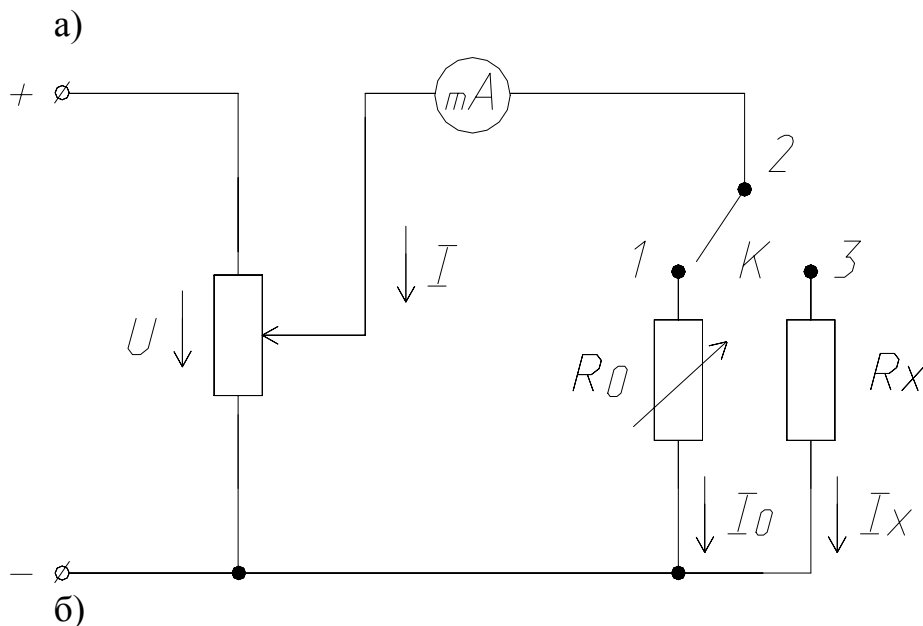
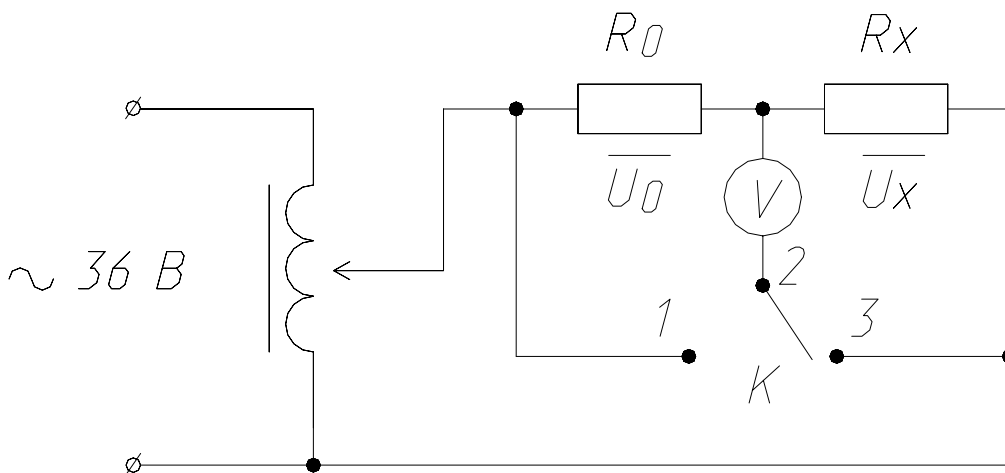


Рис. 3.1

3.2.2 Прилади безпосередньої оцінки для виміру опорів

Для прямого виміру електричного опору використовують омметри і мегометри, в яких застосовують вимірювальні механізми магнітоелектричної системи.

Омметри можна розділити на дві групи: 1) однорамкові, що мають одну рухому рамку; 2) з логотроном, рухома частина яких складається з двох рамок.

Однорамкові омметри характеризуються тим, що покази їхні правильні тільки при певному значенні напруги джерела струму.

Покази омметрів-логометрів не залежать від напруги джерела струму. Промисловість випускає омметри з межами виміру від 0 до 100 кОм і 0,2-200 МОм. Основна їхня погрішність дорівнює $\pm 1\%$.

3.2.3 Метод амперметра, вольтметра, ватметра для виміру індуктивності, ємності і взаємної індуктивності в колах змінного струму

Підключаючи по черзі до затискачів 1-1' котушку з індуктивністю L і конденсатор з ємністю C , вимірюють активну потужність P , струм I , напругу U (рис. 3.2).

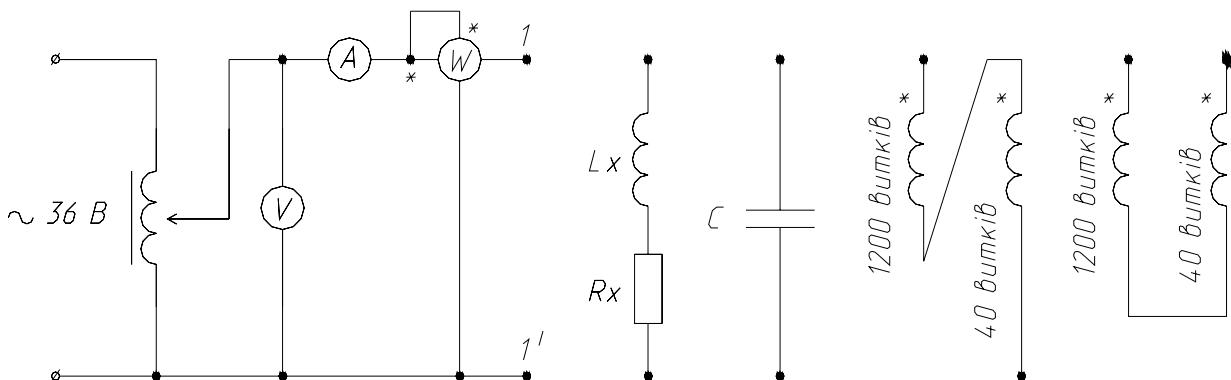


Рис. 3.2

Індуктивність котушки

$$L_x = \frac{\sqrt{Z_k^2 - R_k^2}}{\omega} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_k}{I_k}\right)^2 - \left(\frac{P_k}{I_k^2}\right)^2}}{\omega} = \frac{1}{\omega \cdot I_k^2} \sqrt{U_k^2 \cdot I_k^2 - P_k^2} \quad (3.5)$$

Ємність конденсатора

$$C = \frac{1}{\omega \sqrt{Z_c^2 - R_c^2}} = \frac{1}{\omega \sqrt{\left(\frac{U_c}{I_c}\right)^2 - \left(\frac{P_c}{I_c^2}\right)^2}} = \frac{I_c^2}{\omega \sqrt{U_c^2 \cdot I_c^2 - P_c^2}} \quad (3.6)$$

При узгодженому послідовному з'єднанні двох котушок їхня загальна індуктивність

$$L_C = L_1 + L_2 + 2 \cdot M \quad (3.7)$$

де L_1 – індуктивність першої котушки; L_2 – індуктивність другої котушки; M – взаємна індуктивність двох котушок.

Загальну індуктивність котушок при узгодженому включенні L_c і

зустрічному включенні L_3 можна визначити за формулою (3.7), знаючи покази амперметра і вольтметра:

$$L_c = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_c}{I_c}\right)^2 - \left(\frac{P_c}{I_c^2}\right)^2}}{\omega} \quad (3.10)$$

$$L_3 = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_6}{I_6}\right)^2 - \left(\frac{P_6}{I_6^2}\right)^2}}{\omega} \quad (3.11)$$

При зустрічному послідовному з'єднанні двох котушок їх загальна індуктивність

$$L_B = L_1 + L_2 - 2 \cdot M \quad (3.8)$$

Віднімаючи з рівняння (3.7) рівняння (3.8), одержимо

$$L_C - L_B = 4 \cdot M; \quad M = \frac{L_C - L_B}{4} \quad (3.9)$$

3.2.4 Визначення взаємної індуктивності за допомогою амперметра і вольтметра (рис.3.3)

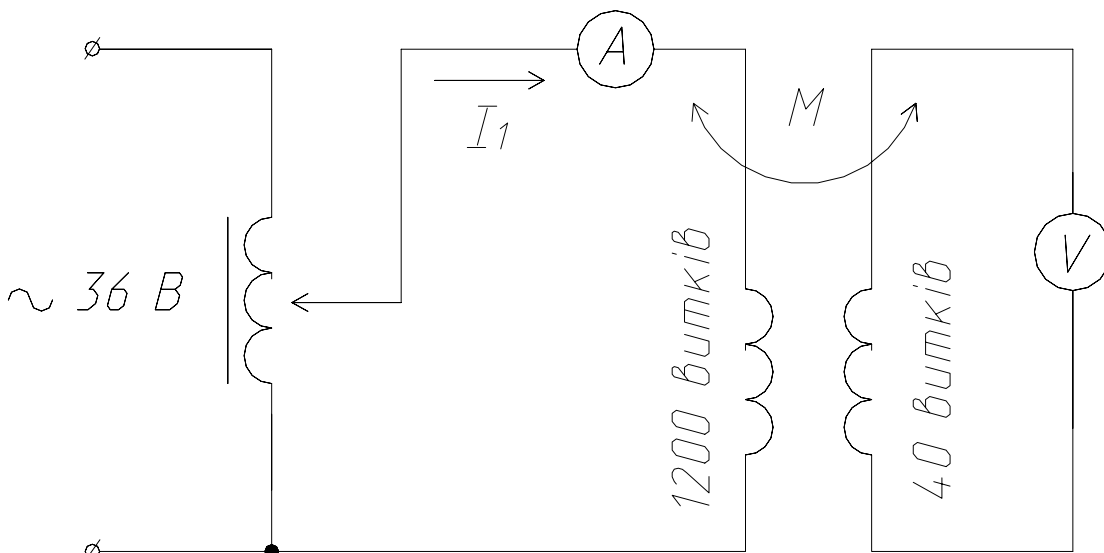


Рис. 3.3

Якщо вимірити струм I_1 у першій котушці і індуковану в другій котушці ЕРС, то маємо співвідношення

$$E_2 = U = MI_1 \cdot \omega; M = \frac{U}{I_1 \cdot \omega} \quad (3.12)$$

де $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – кутова частота.

Для виміру ЕРС використовують цифровий вольтметр, тому що він споживає малу потужність при вимірі, тоді $E_2 = U$.

3.2.5 Вимір ємності за сталою часу (рис. 3.4)

При встановленні ключа в положення 1, конденсатор C_x заряджається до напруги U_1 . У положенні ключа 2 відбувається розряд конденсатора через опір R_0 до напруги U_2 , тоді

$$U_2 = U_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3.13)$$

де t – час розряду конденсатора, обмірюваний секундоміром; τ – постійна часу ($\tau = R_0 \cdot C_x$).

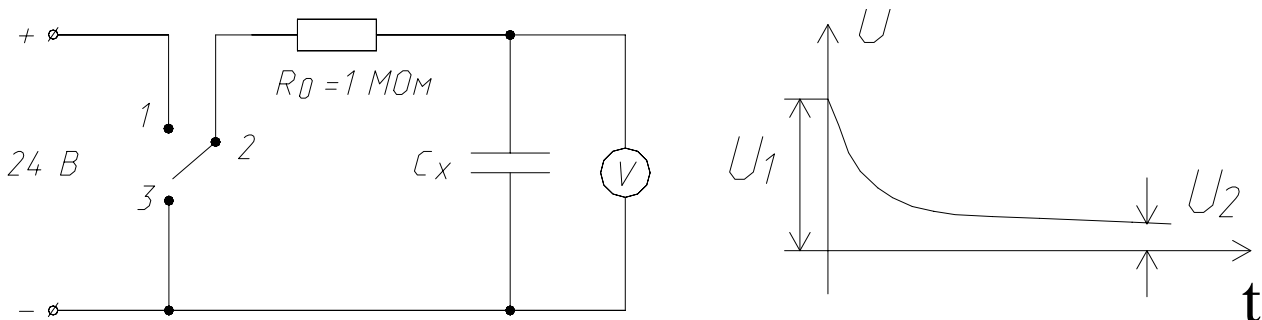


Рис. 3.4

З рівняння (3.13) знайдемо

$$C_x = \frac{t}{(\ln U_1 - \ln U_2) \cdot R_0} \quad (3.14)$$

3.2.6 Вимірювальні прилади врівноважуючого перетворення

1) Вимірювальні мости постійного струму. Мостовий метод є основним, найбільш довершеним методом виміру параметрів електричних кіл. Міст постійного струму призначений для виміру опору.

Найбільше поширення одержали два варіанти мостів: одинарні і подвійні (рис. 3.5).

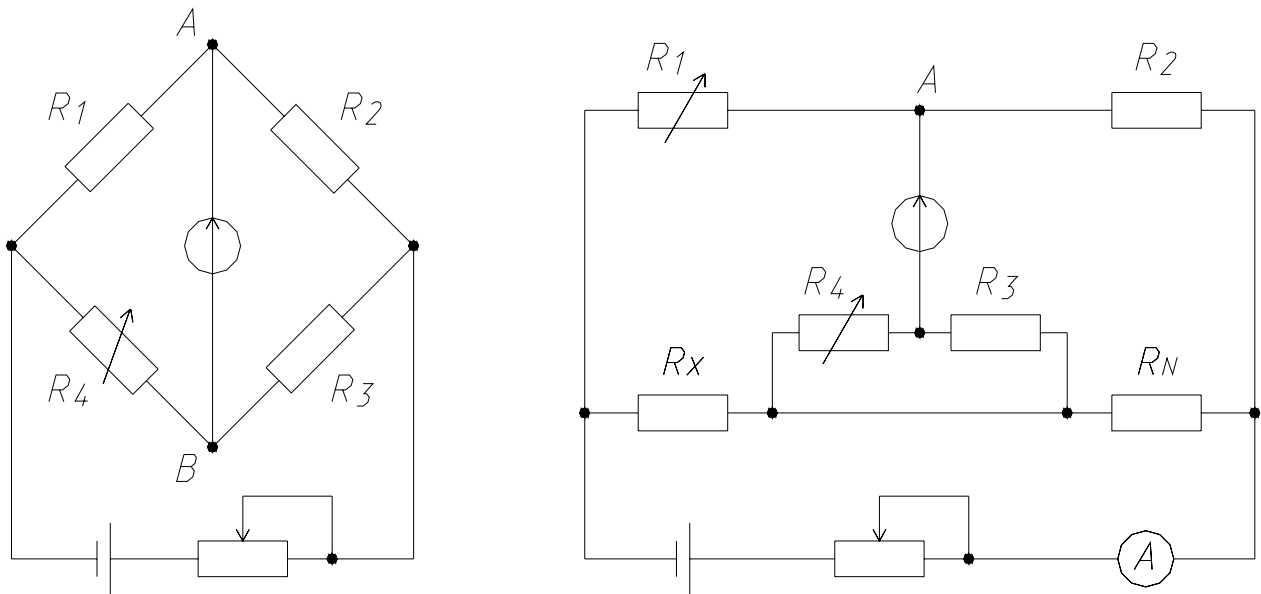


Рис. 3.5

Плечі R_x і R_4 , суміжні в мостовій схемі, називаються плечами порівняння. Два інших опори, які входять у рівняння у вигляді відношення R_2/R_3 , називають плічми відношення.

Різниця напруг між точками А і В вимірювального моста дорівнює нулю за умови, що

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \quad (3.15)$$

Ця рівність визначає умову рівноваги моста. Якщо один з опорів пліч моста є невідомим, то його значення встановлюють

$$R_x = R_I = R_4 \cdot \frac{R_2}{R_3} \quad (3.16)$$

2) Мости змінного струму. Ці мости служать в основному для вимірів комплексних опорів. Основні рівняння для мостів змінного струму:

$$C_x = C_4 \cdot \frac{R_3}{R_2}$$

$$R_x = R_4 \cdot \frac{R_2}{R_3} \quad (3.17)$$

$$\text{tg } \delta_x = \omega \cdot R_4 \cdot C_4$$

$$L_x = C_3 \cdot R_2 \cdot R_4 \quad (3.18)$$

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_3}$$

$$Q_x = \omega \cdot C_3 \cdot R_3$$

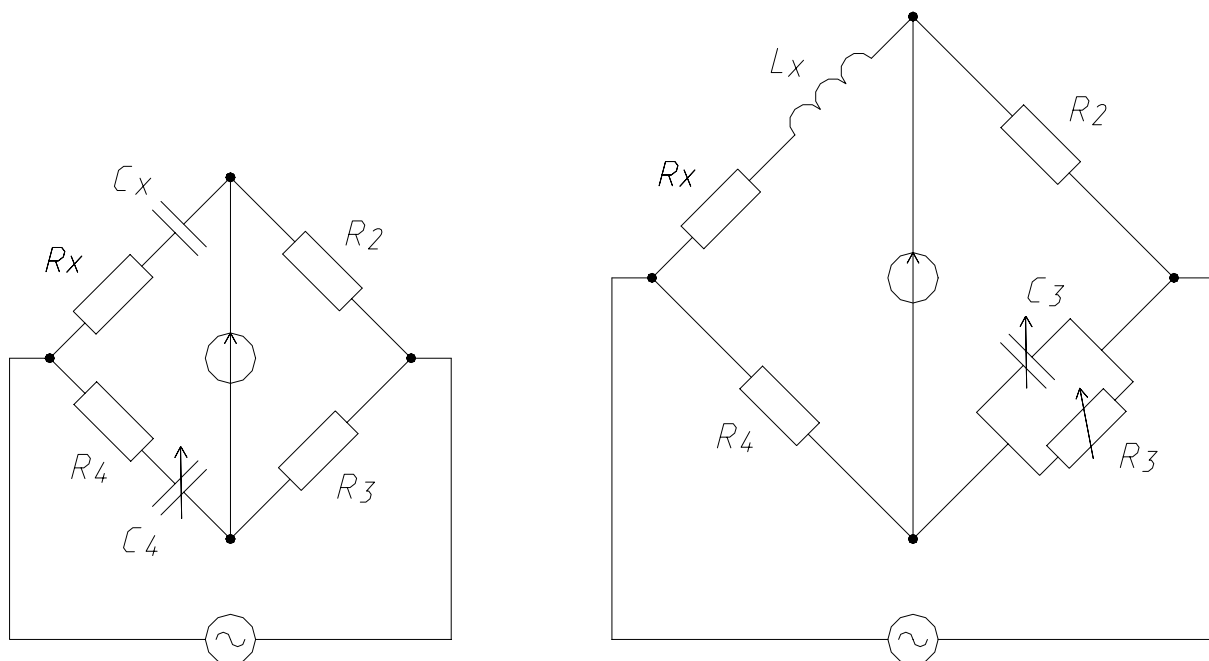


Рис. 3.6

Промислові мости змінного струму звичайно роблять універсальними, об'єднуючи декілька зазначених вимірювальних схем; вони призначені для вимірів комплексних опорів, ємності, індуктивності, тангенса кута втрат і тангенса кута зсуву фаз між векторами струму і напруги (рис. 3.6).

3.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з приладами і записати їх характеристики.
2. Зібрати схему (рис. 3.1, а), вимірити U_x і U_0 для двох різних значень напруги. Обчислити значення R за формулою (3.2) і середнє значення занести до табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Метод вимірів	Вимірюваний опір					
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6

3. Зібрати схему (рис. 3.1, б), вимірити струми I_0 і I_x , обчислити опір за формулою (3.4), занести до табл. 3.1.
4. Вимірити опір мегометром, результат занести до табл.3.1.
5. Вимірити опір мостом постійного струму.
6. Вимірити опір обмоток котушок індуктивності омметром. Результат занести до табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Кількість витків котушки індуктивності	3600	2400	1200	40	25	15
R_x						

7. Зібрати схему (рис. 3.2), вимірити струм, напругу і потужність. За формулами (3.5), (3.6), (3.9) обчислити K , C , і M . Результати занести до табл.3.3, 3.4, 3.5.

Примітка. Активний опір котушки з 1200 витками взяти з попереднього дослідження (табл. 3.2).

Таблиця 3.3

Виводи котушок	I	U	P	Z	R	$\cos \varphi$	L	$Q = \frac{X}{R}$
	А	В	Вт	Ом	Ом		Гн	
1200								

Таблиця 3.4

Номер конденсатора	U	I	P	Z	R	$\cos \varphi$	C_x
	В	А	Вт	Ом	Ом		мкФ
C_1							
C_2							
C_3							

Таблиця 3.5

Поєднання котушок	I	U	P	L	M
	А	В	Вт	Гн	Гн
послідовне					
зустрічне					

8. Зібрати схему (рис. 3.3), вимірити струм і напругу. Обчислити за формулою (3.12) взаємну індуктивність. Занести результат до табл. 3.6.

Таблиця 3.6

I_1	E_2	f	ω	M
А	В	Гц	c^{-1}	Гн

9. Зібрати схему (рис. 3.4). Вимірити напругу заряду і розряду ємності, час розряду ємності секундоміром до напруги. U_2 . Обчислити за формулою (3.14) C_x . Результати занести до табл. 3.7.

Таблиця 3.7

U_1	U_2	t	R	C_x
В	В	с	Ом	мкФ

10. Вимірити ємність і індуктивність мостом змінного струму. Значення L і C будуть дорівнювати добутку показів по шкалі перемикача діапазонів вимірів змінного опору. Результати занести до табл. 3.8 і 3.9.

Таблиця 3.8

Номер конденсатора	C_1	C_2	C_3
C (мкФ)			
$tg\delta$			

Таблиця 3.9

Виводи котушок	3600	2400	1200
L (Гн)			
Q			

3.4 Звіт про роботу

У звіті повинні бути наведені:

1. Найменування і ціль роботи.
2. Характеристики приладів.
3. Схеми електричних кіл.
4. Розрахункові формули, таблиці вимірів і обчислень.
5. Стислі висновки по роботі.

3.5 Контрольні запитання

1. Назвати основні методи виміру опорів.
2. Як вимірюють опір методом порівняння?
3. Прилади безпосередньої оцінки опорів.
4. Непрямі методи виміру індуктивності, ємності і взаємної індуктивності.
5. Прямі методи виміру індуктивності і ємності.
6. Якими недоліками володіють методи виміру L і C приладами безпосередньої оцінки?
7. Вимір індуктивності мостом змінного струму.
8. Вимір ємності мостом змінного струму.
9. Мости постійного струму і їхнє застосування.

Лабораторна робота № 4 ВИМІР ПОТУЖНОСТІ І ЕНЕРГІЇ В ТРИФАЗНИХ КОЛАХ

4.1 Мета роботи

Одержати практичні навички роботи з ватметрами електродинамічної системи, лічильниками індуктивної системи.

Навчитися вимірювати активну і реактивну потужності в трифазних колах.

Навчитися вимірювати енергію в однофазних і трифазних колах.

4.2 Загальні відомості

4.2.1 Вимір активної потужності і енергії в чотирьохпровідних колах

Для виміру активної потужності в трифазних колах застосовують однофазні або трифазні електродинамічні ватметри, а для виміру енергії – індукційні лічильники.

При вимірах активної потужності і енергії в чотирьохпровідних колах ватметри і лічильники треба включати за схемою рис. 4.1.

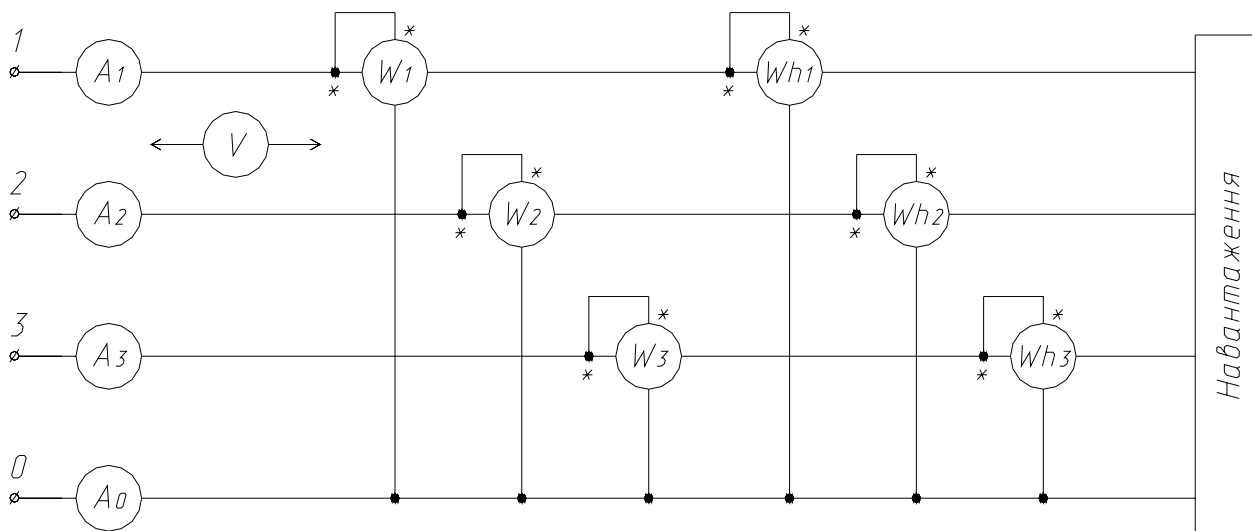


Рис. 4.1

Значення активної потужності визначити як суму показів трьох ватметрів:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (4.1)$$

Кожний з ватметрів включений на фазний струм і фазну напругу і вимірює потужність відповідної фази

$$\begin{aligned}
 P_1 &= U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 \\
 P_2 &= U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \\
 P_3 &= U_3 \cdot I_3 \cdot \cos \varphi_3
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Результат виміру визначити за показами ватметрів

$$P = C_{w1} \cdot N_{w1} + C_{w2} \cdot N_{w2} + C_{w3} \cdot N_{w3} \tag{4.3}$$

де C_{w1} , C_{w2} , C_{w3} – сталі ватметрів; N_{w1} , N_{w2} , N_{w3} – відлік за шкалою кожного ватметра.

Якщо ватметри мають однакову сталу, то

$$P = C_{w1} \cdot (N_{w1} + N_{w2} + N_{w3}) \tag{4.4}$$

Витрату активної енергії за час t знайти за формулою

$$W_a = C_{ном} \cdot (N_1 + N_2 + N_3) \tag{4.5}$$

де $C_{ном}$ – номінальна стала лічильника;

N_1 , N_2 , N_3 – число обертів диска кожного лічильника за час t .

Відносна похибка лічильника

$$\delta_w = \frac{C_{ном} - C}{C} \cdot 100 \tag{4.6}$$

де C – дійсна стала лічильника.

Дійсна стала лічильника

$$C = \frac{P_1 \cdot t}{N} \tag{4.7}$$

де P_1 – потужність фази; N – число обертів диска лічильника, включеного в дану фазу.

Поріг чутливості S лічильника

$$S = \frac{P_{мін}}{P_{ном}} \cdot 100 \tag{4.8}$$

$P_{мін}$ – мінімальна потужність, при якій диск лічильника починає обертатися;

$P_{ном}$ – номінальна потужність лічильника.

Якщо ватметри і лічильники включені через вимірювальні трансформатори струму і напруги, то активну потужність і енергію слід визначати за формулами

$$P = C_w \cdot K_I \cdot K_U \cdot (K_{w1} + K_{w2} + K_{w3}) \quad (4.9)$$

$$W_a = C_{ном} \cdot K_I \cdot K_U \cdot (N_1 + N_2 + N_3) \quad (4.10)$$

де K_I і K_U – коефіцієнти трансформації трансформатора струму і напруги відповідно.

4.2.2 Вимір активної потужності та енергії у трифазних колах

Наведена вище схема (рис. 4.1) дає можливість вимірювати активну потужність і енергію при будь-якому навантаженні фаз, як рівномірному, так і нерівномірному.

При повній симетрії напруг, струмів і фазових зсувів між ними для виміру активної потужності і енергії досить включити по одному ватметру і лічильнику в одну з фаз приймача енергії. Результати вимірів активної потужності й енергії визначають за формулами

$$P = 3 \cdot C_w \cdot N_w \quad (4.11)$$

$$W_a = 3 \cdot C_{ном} \cdot N \quad (4.12)$$

У трипровідних колах при нерівномірному і рівномірному навантаженні фаз для виміру активної потужності і енергії треба застосовувати два ватметри і два лічильники, струмові кола яких включити в будь-які дві лінії, а кола напруги приєднати до генераторних кінців, і іншими кінцями – до вільної лінії.

На рис. 4.2 наведена схема включення ватметра і лічильників для виміру активної потужності і енергії в трипровідних колах. У даному випадку активну потужність трифазного кола можна представити у вигляді

$$P = P_1 + P_2 = U_{13} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 + U_{23} \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad (4.13)$$

де φ_1 і φ_2 – різниця фаз струмів і напруг ватметрів; P_1 і P_2 – покази ватметрів.

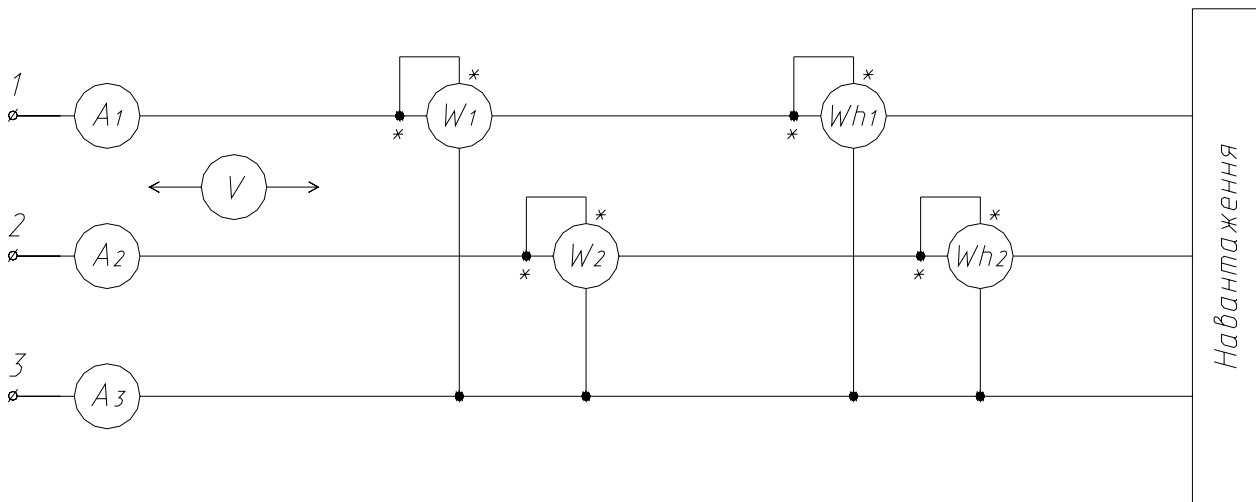


Рис. 4.2

Треба помітити, що в залежності від характеру навантаження один з кутів φ_1 або φ_2 може бути більше 90° . У цьому випадку показчик відповідного ватметра відхилиться вліво від нуля; щоб одержати відлік, необхідно вимірити напрямок струму в одній з його обмоток (показ ватметра береться зі знаком мінус).

Для визначення потужності трифазного кола слід брати алгебраїчну суму показів ватметрів, тому необхідно строго дотримуватися правильного підведення генераторних затисків кола ватметрів.

Активну енергію у трипровідних колах вимірюють за аналогією з виміром активної потужності і визначають як алгебраїчну суму показів лічильників, тобто

$$W_a = W_{h1} + W_{h2} = C_{ном} \cdot (N_1 + N_2) \quad (4.14)$$

Крім схеми (рис. 4.2) можливі ще два варіанти схеми включення ватметрів і лічильників.

Для розширення діапазонів виміру струму і напруги обмотки ватметрів і лічильників включають через трансформатори струму і напруги. У цьому випадку для визначення активної потужності і енергії результати, отримані за формулами (4.13) і (4.14), потрібно помножити на коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів.

4.2.3 Вимір реактивної потужності і енергії в трифазних колах

Для виміру реактивної потужності і енергії в трифазних колах застосовують однофазні ватметри і лічильники. При повній симетрії для виміру реактивної

потужності і енергії в три- або чотирипровідному трифазному колі можна застосувати один ватметр і один лічильник або два ватметра і два лічильники, включених, як показано на схемі рис. 4.3.

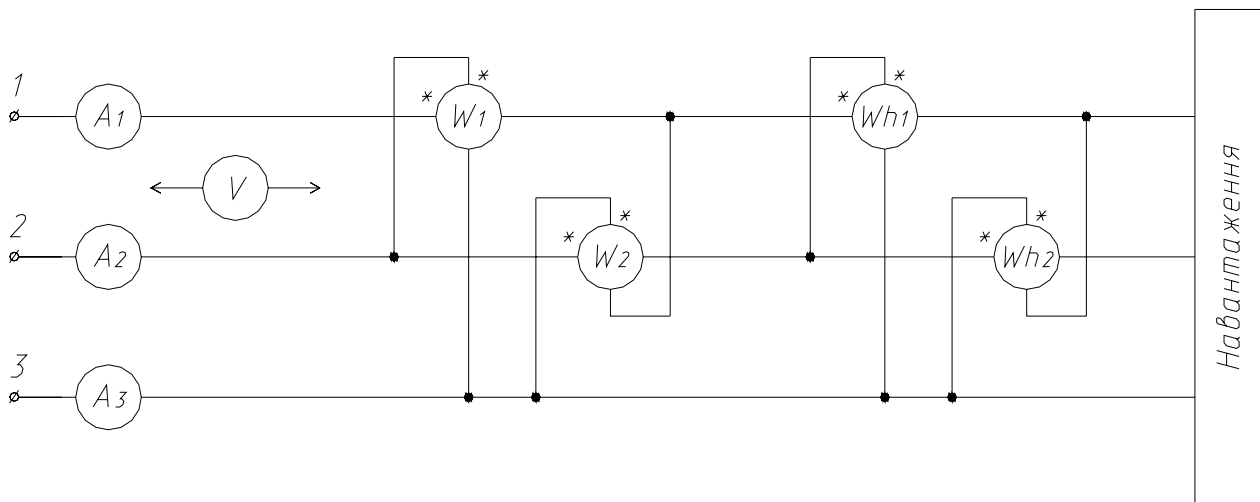


Рис. 4.3

Струмове кола ватметрів і лічильників включити послідовно в першу і другу лінії, а кола напруги підключити до двох ліній, при цьому генераторні затиски підключити до ліній, які йдуть по черзі чергування фаз відносно лінії, в яку включена струмова обмотка. Для обчислення реактивної потужності трифазного трипровідного кола треба алгебраїчну суму показів ватметрів помножити на $\frac{\sqrt{3}}{2}$, тобто

$$Q = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (P_1 + P_2) \quad (4.15)$$

Реактивна енергія

$$W_p = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (W_{h1} + W_{h2}) = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot C_{ном} \cdot (N_1 + N_2) \quad (4.16)$$

У трифазних трипровідних або чотирипровідних колах реактивну потужність і енергію треба визначати за показами трьох ватметрів і трьох лічильників, включених, як показано на схемі рис. 4.4.

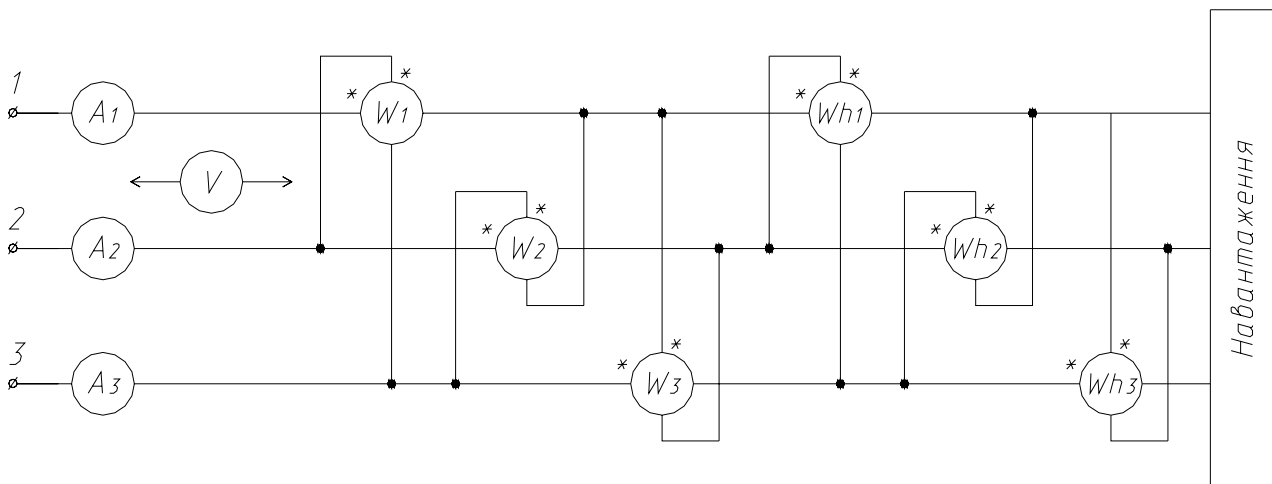


Рис. 4.4

Для одержання реактивної потужності трифазного кола необхідно суму показів трьох ватметрів розділити на $\sqrt{3}$, тобто

$$Q = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\sqrt{3}} \quad (4.17)$$

Реактивна енергія

$$W_p = \frac{W_{h1} + W_{h2} + W_{h3}}{\sqrt{3}} = \frac{C_{ном} \cdot (N_1 + N_2 + N_3)}{\sqrt{3}} \quad (4.18)$$

4.2.4 Вимір кута зсуву фаз і коефіцієнта потужності

Значення кута зсуву фаз φ і $\cos \varphi$ є визначеними тільки для однофазних і строго симетричних трифазних кіл.

Для однофазного кола

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I} \quad (4.19)$$

де P, U, I – вимірювані значення потужності, напруги і струму.

Для симетричного трифазного кола

$$\cos \varphi = \frac{P}{3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L} \quad (4.20)$$

де $P, U_\phi, U_L, I_\phi, I_L$ – вимірювані значення потужності, напруг і струмів.

Коефіцієнт потужності в несиметричному трифазному колі можна визначити, виміривши активну P і реактивну Q потужності

$$\lambda = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (4.21)$$

Для режиму контролю експлуатації промислових енергосистем визначають середнє значення коефіцієнта потужності за визначений інтервал часу за показами лічильників активної і реактивної енергії

$$\lambda_{cp} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}} \quad (4.22)$$

4.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з методичними вказівками до даної роботи.
2. Ознайомитися з приладами і занести їх технічні і метрологічні характеристики до таблиці звіту.
3. Зібрати схему (рис. 4.1) для виміру активної потужності і енергії в трифазному чотирипровідному колі.
4. Встановити за показами амперметрів симетричне активне навантаження фаз. Для одного з лічильників вимірити час, за який диск зробить п'ять обертів. Результати спостережень у цьому і наступних дослідженнях занести до табл. 4.1.
5. Підключити паралельно резисторам котушки індуктивності і виконати виміри так, як у п.4.
6. Встановити несиметричне навантаження фаз, змінюючи опори резисторів так, щоб струм у фазі А і в фазі С дорівнював 2 А, а у фазі В – 1,5 А. Вимірити час, за який диски лічильників зроблять по п'ять обертів.
7. Не змінюючи навантаження фаз, у схемі переключити кола напруг ватметрів і лічильників так, як показано на рис. 4.4. Одержимо схему для виміру реактивної потужності і енергії в трифазному несиметричному колі. Виконувати виміри так, як зазначено в п.6.
8. Не змінюючи схеми, встановити симетричне навантаження фаз і виконати виміри так, як зазначено в п. 7. Покази амперметрів не повинні перевищувати 2 А.
9. Зібрати схему (рис. 4.2) для виміру активної потужності і енергії в трифазному трипровідному колі методом двох приладів і виконати виміри

при симетричному і несиметричному навантаженнях фаз.

10. За результатами вимірів виконати відповідні обчислення і занести їх до табл. 4.1.

11. За результатами вимірів і обчислень для дослідів 2, 3, 5, 6 побудувати векторні діаграми.

Таблиця 4.1

Номер досліду	Результати вимірів										Результати обчислень				
	I_1	I_2	I_3	I_0	U_{12}	U_{23}	U_{31}	P_1	P_2	P_3	U_1	U_2	U_3	P	Q
	А	А	А	А	В	В	В	Вт	Вт	Вт	В	В	В	Вт	ВАр

4.4 Звіт про роботу

У звіті повинні бути наведені:

1. Номер, найменування і ціль лабораторної роботи.
2. Технічні і метрологічні характеристики приладів.
3. Схеми електричних кіл.
4. Розрахункові формули, таблиці вимірів і обчислень, приклади обчислень за наведеними формулами.
5. Векторні діаграми для чотирьох дослідів.
6. Стислі висновки по роботі.

4.5 Контрольні запитання

1. Застосування одного, двох і трьох ватметрів для виміру активної потужності.
2. Застосування одного, двох і трьох ватметрів для виміру реактивної потужності.
3. Вимір кута зсуву фаз при симетричному навантаженні.
4. Визначення коефіцієнта потужності.
5. Визначення $\cos \varphi$ за показами амперметра, вольтметра і ватметра.
6. Вимір активної енергії в трипровідних колах.
7. Вимір реактивної енергії в трипровідних колах.
8. Визначення сталої ватметра і лічильника.

Список джерел

1. Метрологія та вимірювальна техніка / За ред. проф. Є. Поліщука. – Львів, 2003.
2. Електричні виміри і електровимірювальні прилади / В. І. Котур, М. Н. Скотська, Н. Н. Храмова. – К.: Енергоіздат, 1986
3. Основы метрологии и электрические измерения. Под ред. Душина Е. М. – Л.: Энергоиздат, 1987.
4. Основы метрології і електровимірювальна техніка. М. Л. Глебова, А. І. Кузнецов, М. В. Чернявська. – Х.: ХНАМГ – 2006.

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань», «Основи метрології та електровимірювань» (для студентів 3 курсу заочної форми навчання напрямів підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології», 6.050702 «Електромеханіка» та для слухачів другої вищої освіти спеціальностей 7.05070203 – "Електричний транспорт", 7.05070103 – «Електротехнічні системи електроспоживання (за видами)»))

Укладачі:

ЧЕРНЯВСЬКА Маргарита Василівна,
КАРПАЛЮК Ігор Тимофійович,
ГЛЄБОВА Марина Леонідівна

Відповідальний за випуск *О. С. Гаєвський*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. Т. Карпалюк*

План 2011, поз. 652 М

Підп. до друку 17.11.2011
Друк на ризографі
Зам. № _____

Формат 60 x 84 1/16
Ум. друк. арк. 2,4
Тираж 50 пр.

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