МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ, НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КРАСНОАРМІЙСЬКИЙ ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
ДЕРЖАВНОГО ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ

ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Для студентів навчального напряму підготовки 6 050702 „Електромеханіка”

2010

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ, НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КРАСНОАРМІЙСЬКИЙ ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
ДЕРЖАВНОГО ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ

ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Для студентів навчального напряму підготовки
6 050702 „Електромеханіка”

Розглянуто на засіданні
кафедри Інженерної механіки
протокол № 3 від 07.10.10

Затверджено на засіданні навчально-видавничої Ради ДонНТУ
протокол № 2 від 21.03.11

2010

УДК 669.01

Основи метрології та електричні вимірювання. Лабораторні роботи. Для студентів навчального напряму „Електромеханіка” /Лаппо І.М., Вірич С.О., Горячева Т.В., - Красноармійськ: КІІ ДонНТУ, 2010. - 66 с.

У посібнику комплексно подані всі складові лабораторного курсу згідно з типовою навчальною програмою дисципліни. Лабораторні роботи з курсу „Основи метрології та електричні вимірювання” містять основні теоретичні відомості про методи та засоби вимірювань; метрологічні характеристики найбільш розповсюджених приладів електричних вимірювань; методику проведення вимірювань та розрахунків основних параметрів.

Лабораторні роботи призначені для студентів навчального напряму „Інженерна механіка”.

Укладачі: І.М. Лаппо, ас.
С.О. Вірич, доц., к.т.н.
Т.В. Горячева, ст.викл.

Відповідальний за випуск С.О. Вірич

@ Лаппо І.М., Вірич С.О., Горячева Т.В.
Красноармійськ, КІІ ДонНТУ, 2010

ЗМІСТ

Загальні відомості 6

Порядок виконання лабораторних робіт…… 7

Лабораторна робота № 1.

Обробка результатів вимірів……... 8

Лабораторна робота № 2.

Повірка електровимірювальних приладів……. 13

Лабораторна робота № 3.

Вимірювальні перетворювачі струму і напруги…… 20

Лабораторна робота № 4.

Дослідження загальних властивостей показникових приладів….. 30

Лабораторна робота № 5.

Вимір електричних величин електронним осцилографом……... 37

Лабораторна робота № 6.

Вимір параметрів електричних кіл: R, L, M, C……. 48

Лабораторна робота № 7.

Вимір потужності і енергії в трифазних колах……. 57

Техніка безпеки при виконанні лабораторних робіт…… 65

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.

Лабораторні заняття з курсу «Основи метрології та електричні вимірювання» мають за мету:

– ознайомити студентів з експлуатаційними і метрологічними характеристиками широко розповсюджених електричних вимірювальних приладів;

– прищепити студентам навички користування цими приладами;

– закріпити отримані на лекціях основні поняття про державну метрологічну службу України .

Всі необхідні при виконанні лабораторних робіт формули приводяться в кінцевому вигляді, без доведень, з відповідними посиланнями на теоретичний курс.

Основні метрологічні визначення, термінологія і класифікація вимірювальних засобів співпадають з встановленими стандартами і прийнятими в лекційному курсі.

Прийоми вимірювань в усіх запропонованих роботах в основному базуються на практиці заводських вимірювальних лабораторій і на інструкціях Комітету стандартів, мір і вимірювальних приладів Державного комітету України.

В даних методичних вказівках розглянуті найбільш розповсюджені електричні вимірювальні прилади і методи вимірювання. Знайомство з ними повинно прищепити студентам певні навички в поводженні з вимірювальним обладнанням.

Темою кожної лабораторної роботи є опис вимірювальних засобів і методів вимірювань виробів певної геометричної форми. В кожній лабораторній роботі дається принципова схема і коротка характеристика основних приладів. Описуються прийоми вимірювань на цих приладах. До опису додається рекомендована форма таблиці для запису результатів вимірювань.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.

Лабораторні роботи студенти виконують побригадно (у кожній бригаді – 2-3 студентів).

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен ознайомитись з її змістом, вивчити теоретичний матеріал за підручником, усвідомити цілі і завдання, поставлені в роботі, ознайомитися з електровимірювальною апаратурою та електричними схемами, підготувати схеми дослідів і таблиці для запису експериментальних даних. Таким чином, до початку занять у лабораторії студент повинен чітко усвідомлювати обсяг, характер і порядок виконання роботи.

Після кожної зміни в схемі її повторне включення можна робити з дозволу викладача.

Розбирати схему електричного кола потрібно після перевірки викладачем експериментальних даних.

На підставі експериментальних даних кожен студент повинен скласти звіт про лабораторну роботу, в якому наводяться:

- номер, найменування і ціль лабораторної роботи;
- технічні і метрологічні характеристики приладів;
- схеми електричних кіл;
- таблиці вимірів, розрахункові формули і приклади обчислень за наведеними формулами;
- графіки і векторні діаграми;
- короткі висновки по роботі.

Схеми, графіки і векторні діаграми виконують за допомогою креслярських інструментів.

Залік по кожній роботі студент здає після виконання роботи і оформлення звіту. Студенти, які не оформили звіт про роботу і не знають теоретичного матеріалу за відповідною темою, до наступної роботи не допускаються.

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

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

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

Відносна похибка

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

Приведена похибка

$$\gamma = \frac{100 \cdot \Delta}{X_{н}} \ (\%), \tag{1.3}$$

де $X_{н}$ – 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

$$\delta = \pm \frac{100 \cdot \Delta}{X} = \pm \frac{X_{н}}{X} \cdot \gamma \ (\%), \tag{1.4}$$

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

Відносна похибка виміру струму, напруги і потужності оцінюється за формулами

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

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

$$\delta_P = \pm\gamma_P \frac{P_н}{P} \ (\%), \tag{1.7}$$

де γ_I, γ_U, γ_P – клас точності відповідного приладу; $I_н$, $U_н$, $P_н$ – 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

$$R = \frac{U}{I}; \tag{1.8}$$

$$R = \frac{P}{I^2}; \tag{1.9}$$

$$R = \frac{U^2}{P}. \tag{1.10}$$

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

$$\delta_R = \delta_I + \delta_U; \tag{1.11}$$

$$\delta_R = \delta_P + 2 \cdot \delta_I; \tag{1.12}$$

$$\delta_R = \delta_P + 2 \cdot \delta_U. \tag{1.13}$$

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

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

3. Обчислити середнє квадратичне відхилення результатів окремих спостережень

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

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

4. Визначити середнє квадратичне відхилення результатів вимірів

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

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

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

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

6. Записати результат виміру

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

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.
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.

Таблиця 1.1-

Технічні та метрологічні характеристики приладів

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

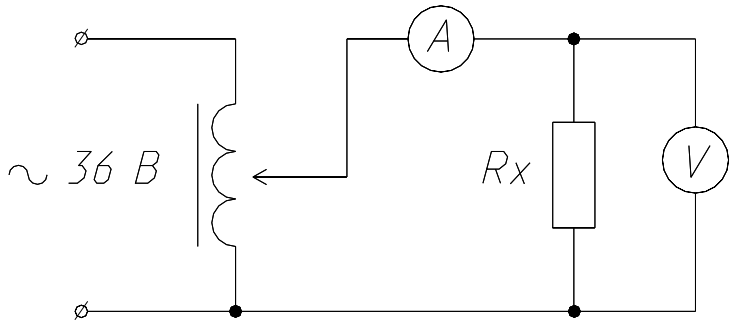


Рисунок 1.1. – Схема електричного кола.

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-

Результати спостережень та розрахунків

Номер спостереження	Результати вимірів			Результати вимірів						
	$U_{івх}$, В	$U_{івви}$, В	I_i, А	$R_{івх}$, Ом	$R_{івих}$, Ом	$\delta_{Uвх}$, %	$\delta_{Uвих}$ %	δ_I, %	$\delta_{Rвх}$, %	$\delta_{Rвих}$ %
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 ариф-

метичне і оцінку середнього квадратичного відхилення вимірюваного опору. Цю операцію проводити, використовуючи табл. 1.3.

Таблиця 1.3-

Номер спостереження	R_1, Ом		$(R_1 - \overline{R})$, Ом		$(R_1 - \overline{R})^2$, Ом	
	вх	вих	вх	вих	вх	вих
1						
2						
:						
:						
20						
	$\frac{\sum}{n} = \overline{R}$				$\sum$ =	

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. Виміряти 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 Стьюдента користатися табл. 1.4.

Таблиця 1.4-

Значення коефіцієнта Стьюдента

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
ПОВІРКА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

2.1. Мета роботи

Придбати навички повірки електровимірювальних приладів.

Вивчити принцип дії і будову потенціометра постійного струму.

Навчитися вимірювати струм, опір і потужність потенціометром.

2.2. Загальні відомості

Якість електровимірювальних приладів визначається рядом характеристик. Найбільш важливі з них: варіації показів і похибки приладу, чутливість і стала приладу, швидкість і споживана потужність. Ці характеристики визначають при повірці електровимірювальних приладів.

Під повіркою розуміється метрологічна операція, що полягає в порівнянні мір і показів електровимірювальних приладів зі зразковими мірами або показами зразкових

вимірювальних приладів для визначення їх похибок.

При виборі зразкових приладів потрібно виконувати такі вимоги:

– клас точності зразкового приладу повинен бути в 5 разів вище класу точності приладу, що повіряється;
– верхні межі виміру зразкового і повірюваного приладів повинні бути однаковими або відрізнятися не більше ніж на 25 %;
– варіація показів зразкового приладу не повинна перевищувати похибки, що допускається;
– при повірці приладів на постійному струмі в якості зразкових треба застосовувати магнітоелектричні прилади.

При виборі класу точності зразкового приладу треба користуватися табл. 2.1.

Таблиця 2.1-

Класи точності зразкових приладів

Клас повірюваного приладу	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0
Клас зразкового приладу	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5

Повірка стрілочних електровимірювальних приладів завжди здійснюється методами: а) звіряння; б) компенсаційним на постійному струмі.

Метод звіряння полягає в одночасному вимірі величин приладом, що повіряється, і зразковим, і порівнянні їх показів. За дійсні значення вимірюваної величини приймають покази зразкового приладу.

Повірка компенсаційним методом так само, як і методом звіряння, зводиться до виміру однієї і тієї ж величини один раз повіряємим приладом, а другий – потенціометром постійного струму.

Принципова схема потенціометра наведена на рис. 2.1.

Потенціометри відносяться до приладів порівняння і служать для виміру напруги або ЕРС. Вони забезпечують найбільшу точність вимірів, їхня похибка не перевищує +(0,01-0,02)%.

В основу принципу дії потенціометра покладений компенсаційний метод, що полягає в зрівноваженні двох електрично не зв'язаних між собою, але протилежно спрямованих напруг або ЕРС. Робоче коло компенсатора (потенціометра) складається з послідовно з’єднаних опорів R_y, $R_н$ і R_p і допоміжного джерела енергії E.

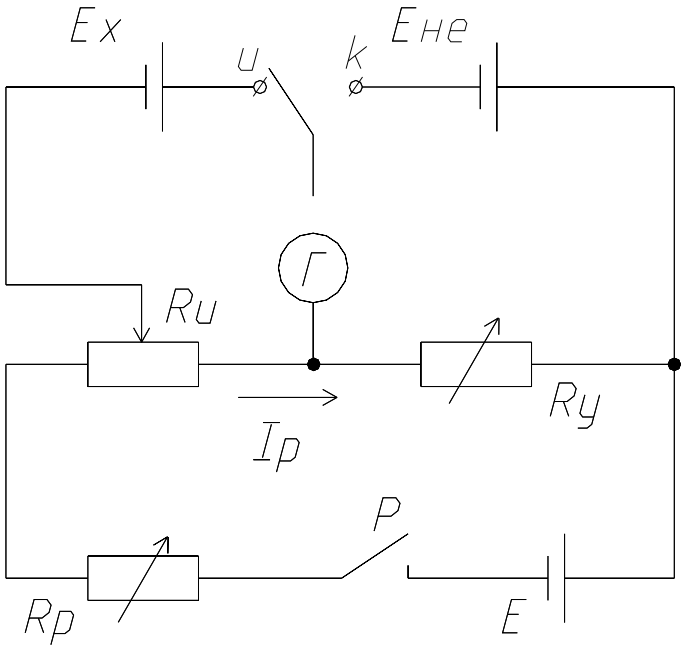


Рисунок 2.1. – Принципова схема потенціометра

При вимірі невідомої ЕРС E_x її необхідно підключити через високочутливий гальванометр $Г$ паралельно вимірюваному опору R_U (перемикач $П$ встановити в положення *u*). Змінюючи опір R_U, домогтися відсутності струму в ділянці вимірюваної ЕРС. При відсутності струму одержимо

$$E_x = I_p \cdot R_u^{/}, \tag{2.1}$$

де I_p – робочий струм потенціометра; $R_u^{/}$ – частина опору, спадання напруги на якому урівноважує ЕРС E_x.

Встановлення робочого струму I_p здійснює ЕРС нормального елемента $E_{не}$, яка через гальванометр $Г$ підключається паралельно установочному опору R_y (перемикач встановити в положення *k*).

Змінюючи опір R_p та R_y, домогтися відсутності струму в ділянці з $E_{не}$. При відсутності струму отримуємо

$$E_{не} = I_p \cdot R_y, \tag{2.2}$$

звідки

$$I_p = \frac{E_{не}}{R_y}. \tag{2.3}$$

Тоді

$$E_x = E_{не} \cdot \frac{R_u^{/}}{R_y}. \qquad (2.4)$$

При значеннях $E_{не}$, $R_u^{/}$, R_y, заданих з великою точністю, значення вимірюваної ЕРС E_x одержимо також з великою точністю. Безпосередньо потенціометром можна виміряти тільки ЕРС і напругу.

Струми, опори і потужності визначають побічно за результатами вимірів напруги, як показано на рис. 2.2.

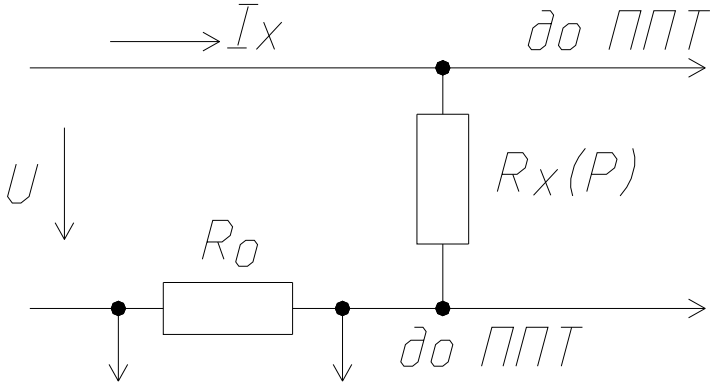


Рисунок 2.2. – Схема виміру напруги.

У досліджуване коло необхідно включити послідовно зразковий R_0 і невідомий R_x опори і виміряти потенціометром напруги на їхніх затискачах U_0 і U_x.

Струм, опір і потужність визначають за формулами

$$I_x = \frac{U_0}{R_0}; \qquad (2.5)$$

$$R_x = R_0 \cdot \frac{U_x}{U_0}; \qquad (2.6)$$

$$P_x = U_x \cdot I_x. \qquad (2.7)$$

Для встановлення класу точності приладу необхідно визначити основну похибку на всіх цифрових поділках шкали. За основну похибку приймається найбільша за абсолютною величиною різниця між показом повірюваного і зразкового приладів:

$$\Delta = X - X_д. \qquad (2.8)$$

Приведена основна похибка визначається як відношення абсолютної похибки до верхньої межі виміру приладу $X_н$

$$\gamma = \frac{100 \cdot \Delta}{X_н}. \qquad (2.9)$$

Клас точності приладу визначається за найбільшою основною приведеною похибкою.

Поправка β є величина, що повинна бути алгебраічно додана до показу приладу для одержання дійсного значення вимірюваної величини. Чисельно поправка дорівнює абсолютній похибці, взятій зі зворотним знаком

$$\beta = -\Delta. \qquad (2.10)$$

Для зменшення помилок при внесенні виправлень останні визначаються як середні арифметичні з двох вимірів при зростанні $X_{зр}$ і зменшенні $X_{зм}$ вимірюваної величини.

Варіація показу приладу – це найбільша різниця між показами зразкового приладу, відповідними одній й тій ж поділці шкали повірюваного приладу, одержаними при зростанні $X_{зр}$ і зменшенні $X_{зм}$ вимірюваної величини.

Варіація показів виражається у відсотках від верхньої межі вимірів приладу

$$B = \frac{(X_{зр} - X_{зм})}{X_н} \cdot 100\%. \qquad (2.11)$$

Варіація приладу не повинна перевищувати значення основної припустимої погрішності.

2.3. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з вимірювальними приладами і обладнанням. Занести до таблиці технічні і метрологічні характеристики приладів.
2. Зібрати схему для перевірки вольтметра (рис. 2.3).
3. Включити коло і, користуючись лабораторним трансформатором, змінювати напругу так, щоб стрілка приладу, що перевіряється, установлювалася по черзі на кожній цифровій відмітці при зростанні й зменшенні напруги. Стрілка вольтметра, що перевіряється, повинна підходити до тієї або іншої поділки з однієї сторони.
4. Результати вимірів і обчислень (зробити 5 вимірів) занести до табл. 2.2.

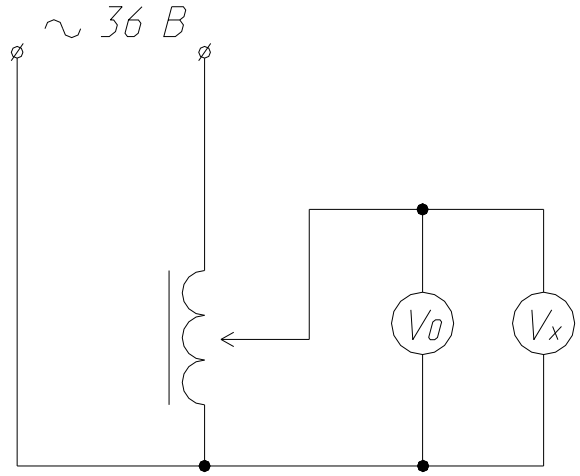


Рисунок 2.3. – Схема перевірки вольтметра

Таблиця 2.2 –

Результати вимірів і обчислень

Результати вимірів			Результати обчислень				
Покази повірюваного приладу (вольтметру)	Покази зразкового приладу (вольтметру)		Абсолютна похибка		Поправка	Основна приведена похибка	Варіація показів
U_x,В	$\uparrow U_0$,В	$\downarrow U_0$,В	$\uparrow \Delta U$ В	$\downarrow \Delta U$ В	$\beta_{сер}$,В	γ,%	B,%

5. На підставі даних, отриманих з дослідження; побудувати криву поправок

$$\beta_{сер} = F(U_x).$$

за знайденим значенням варіації показів оцінити якість вольтметру; визначити, до якого класу точності відноситься повірюваний вольтметр і чи відповідає він класу точності, позначеному на шкалі вольтметра, що повіряється.

6. Зібрати схему для перевірки міліамперметру компенсаційним методом (рис. 2.4).
7. Включити коло, змінюючи опір R_p, встановити стрілку приладу, що повіряється, по черзі на всі цифрові поділки при збільшенні і зменшенні струму.
8. Результати вимірів і обчислень (зробити 5 вимірів) занести до табл. 2.3. На підставі отриманих результатів зробити висновки щодо повірюваного міліамперметра, як це показано в п.5.

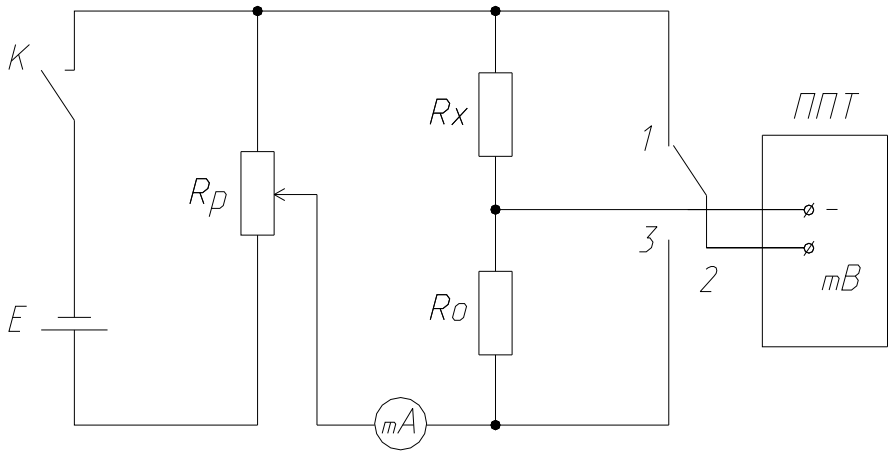


Рисунок 2.4. – Схема перевірки міліамперметру.

Таблиця 2.3. –

Результати вимірів і обчислень

Результати вимірів			Результати обчислень							
Покази міліамперметру	Покази потенціометру		Зразковий опір	Дійсне значення струму		Абсолютна похибка		Поправка	Відносна, приведена похибка	Варіація показу приладу
I_x, мА	$\uparrow U_0$ мВ	$\downarrow U_0$ мВ	R_0,Ом	$\uparrow I_0$ мА	$\downarrow I_0$ мА	$\uparrow \Delta I$ мА	$\downarrow \Delta I$ мА	$\beta_{сер}$ мА	γ,%	B,%

9. На підставі схеми рис. 2.4 виміряти потенціометром напруги U_0 та U_X і, використовуючи їх значення, обчислити струм, опір і потужність за формулами (2.5) – (2.7). Результати вимірів і обчислень (2 досліди) занести до табл. 2.4.

Таблиця 2.4. –

Результати виміру і обчислень

Результати вимірів		Результати обчислень			
U_0,мВ	U_x,мВ	R_0,Ом	I_x,мА	R_x,Ом	P_x,мВт

2.4. Звіт про роботу

У звіті повинні бути наведені:

1. Технічні і метрологічні характеристики приладів.
2. Схеми електричних кіл.
3. Розрахункові формули, таблиці вимірів і обчислень. Приклади обчислень за

наведеними формулами.

4. Криві поправок для повірюваних приладів.
5. Стислі висновки по роботі.

2.5. Контрольні запитання

1. Назвати основні характеристики показуючих приладів і дати їхнє визначення.
2. Основні і додаткові похибки вимірювальних приладів, варіації показів.
3. Вказати методи перевірки електровимірювальних приладів.
4. Перелічити вимоги до зразкових приладів.
5. Порядок перевірки електровимірювальних приладів.
6. Будова і принцип дії потенціометра.
7. Вимір струму, опору і потужності потенціометром.

Лабораторна робота 3

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ СТРУМУ І НАПРУГИ

3.1 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.

3.2 Загальні відомості

3.2.1 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. 3.1).

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

$$I_n = I \cdot \frac{R_ш}{R_ш + R_n}; \qquad (3.1)$$

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

де p – шунтуючий множник, що показує, у скільки разів вимірюваний струм більше струму приладу або в скільки разів розширюються межі виміру за струмом.

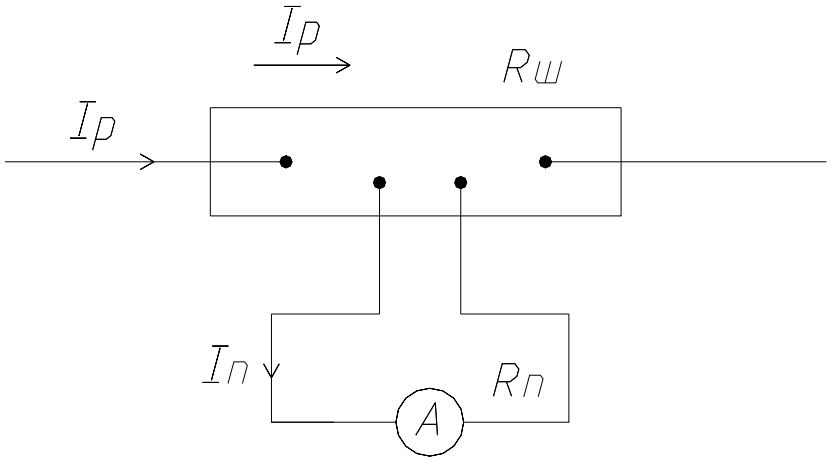


Рисунок 3.1. – Схема включення шунта

Шунтуючий множник є незмінним при постійних значеннях R_n і $R_ш$:

$$R_ш = \frac{R_n}{p-1}. \qquad (3.2)$$

За рівнянням (3.2) 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. 3.2).

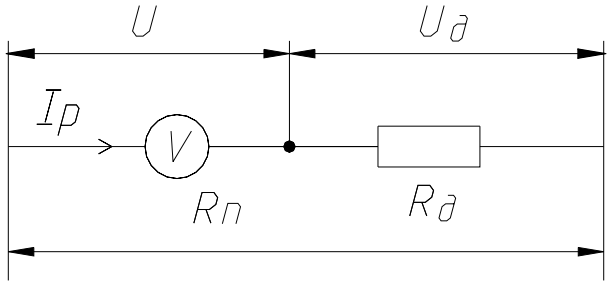


Рисунок 3.2. – Схема включення додаткових опор

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

$$U = U_n \cdot P = U_n + U_д = I_n \cdot (R_n + R_д),$$

звідси додатковий опір

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

або

$$R_д = R_n (P - 1). \qquad (3.3)$$

Шунти і додаткові опори, що включаються з приладами для розширення меж виміру, повинні мати клас точності не нижче вказаного в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.-

Класи точності приладів і шунтів

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

3.2.2 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. 3.3).

Вимірювальні трансформатори характеризуються номінальними коефіцієнтами трансформації, обумовленими відношенням номінальних значень

$$K_{Uн} = \frac{U_{1н}}{U_{2н}}; \quad K_{Iн} = \frac{I_{1н}}{I_{2н}}. \qquad (3.4)$$

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

$$\delta_U = \frac{K_{Uн} - K_U}{K_U} \cdot 100; \quad \delta_I = \frac{K_{Iн} - K_I}{K_I} \cdot 100. \tag{3.5}$$

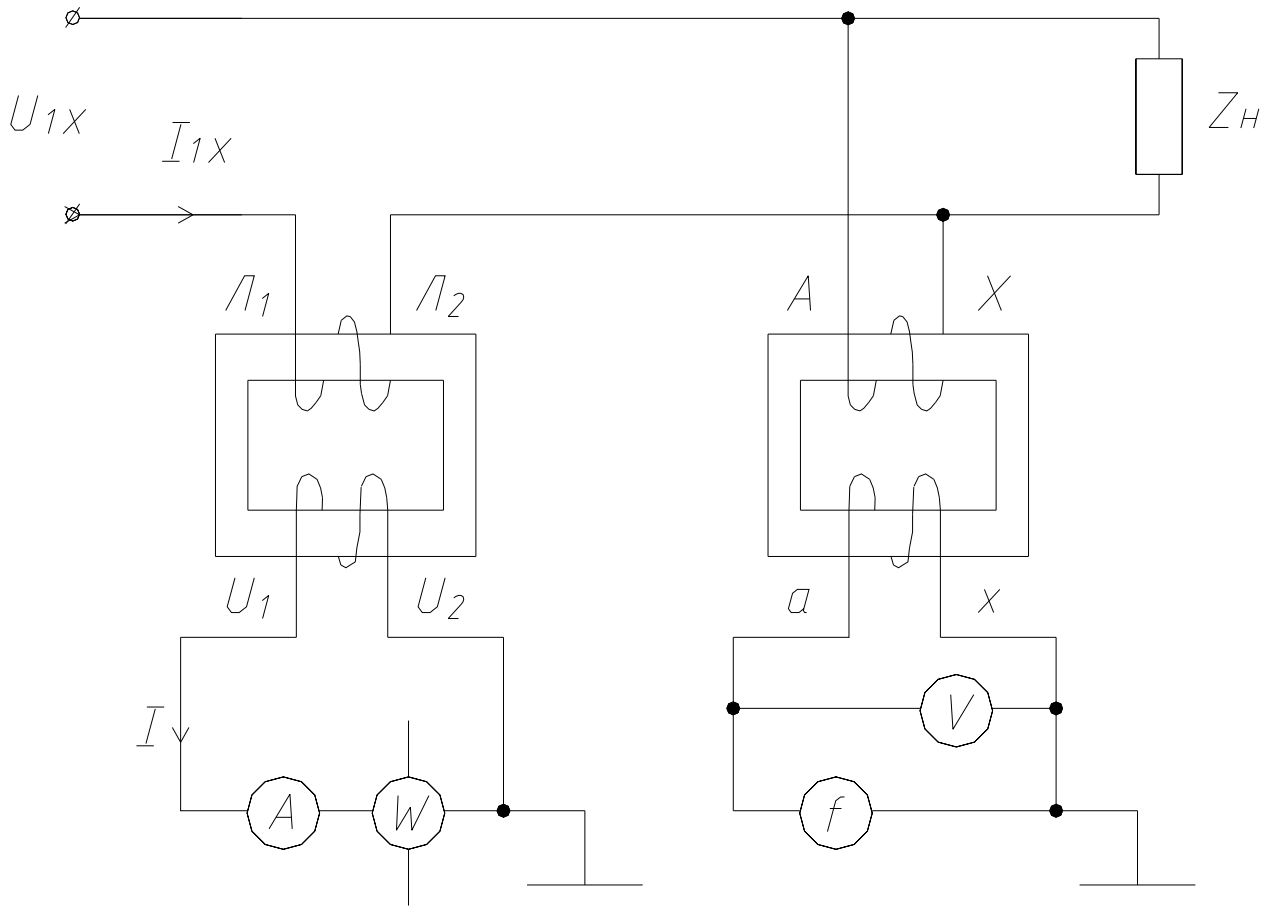


Рисунок 3.3. – Схема вимірювальних трансформаторів струму і напруги

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 кутовою 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

$$I_1 = K_I \cdot I_2; \quad I_1^{/} = K_{Iн} \cdot I_2;$$
$$U_1 = K_U \cdot U_2; \quad U_1^{/} = K_{Uн} \cdot U_2. \qquad (3.6)$$

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

3.2.3. 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. 3.4)

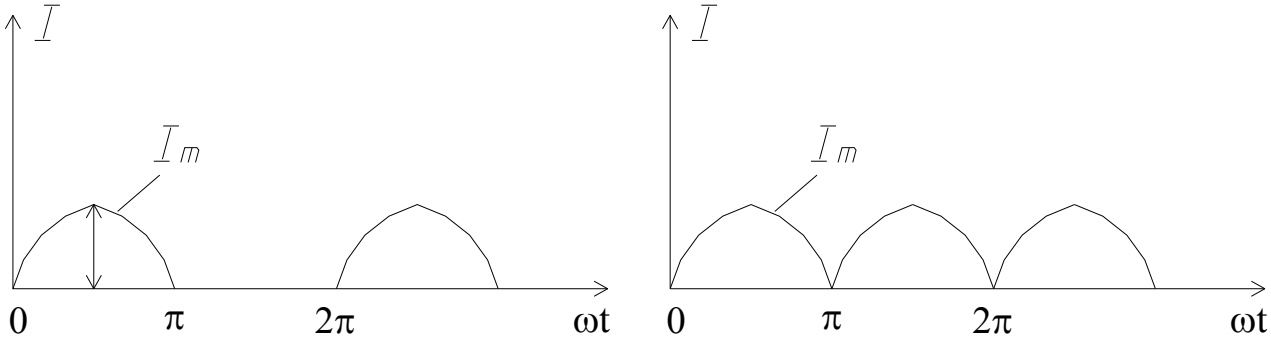


Рисунок 3.4. – Схеми одно- або двопівперіодичного випрямлення

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

$$I_{сер} = \frac{I}{K_ф}, \qquad (3.7)$$

де $K_ф$ – коефіцієнт форми кривої, вимірювальний прилад може бути

відградуйований 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.

3.3 Порядок виконання роботи

1. Записати технічні і метрологічні характеристики приладів до табл. 3.2.
2. Розрахувати величину додаткового опору для свого робочого місця за даними, взятим із табл. 3.2, згідно з формулами (3.2) і (3.3).

Таблиця 3.2.-

Номер робочого місця	$I_{1н}$, мА	$I_{2н}$, мА	$R_п$, Ом	$U_{1н}$, В	$U_{2н}$, В	$R_п$,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. 3.5).

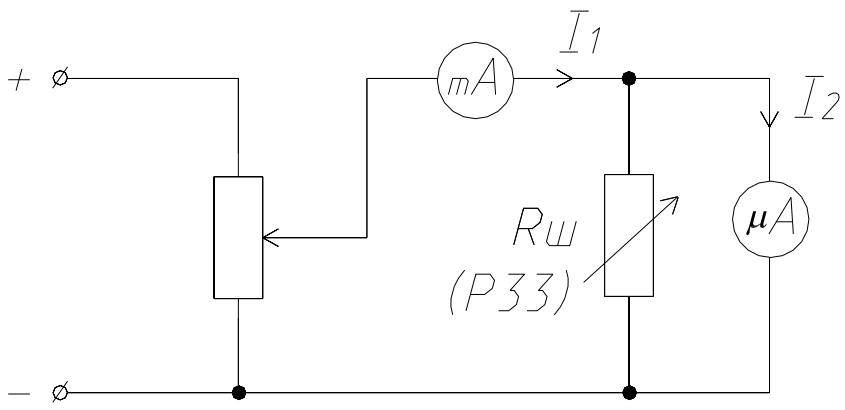


Рисунок 3.5. – Схема розширення межі виміру мікроамперметра

4. Для п'яти оцифрованих значень міліамперметра виміряти струм. Результати вимірів і обчислень занести до табл. 3.3.

Для заповнення таблиці зробити обчислення і визначити:

а) $R_ш$, p – за варіантом робочого місця, за співвідношеннями:

$$p = \frac{I_{1н}}{I_{2н}};\ R_ш = \frac{R_п}{p-1};$$

Таблиця 3.3.-

Результати виміру та обчислень

Найменування	I_1	I_2	p	$R_ш$	$I_1^/$	ΔI	γ_I	C_{I2} (з $R_ш$)
	мА	мА		Ом	мА	мА	%	
1								
2								
3								
4								
5								

6) 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. 3.6).

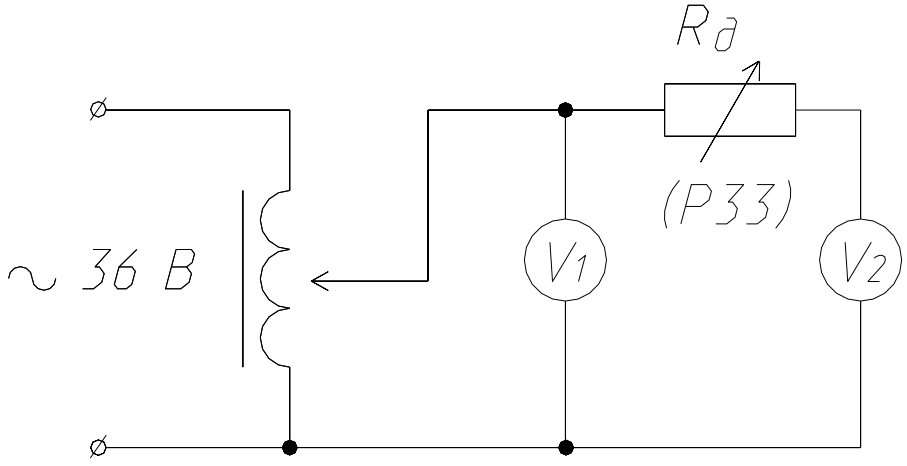


Рисунок 3.6. – Схема розширення межі виміру вольтметра

6. Для п'яти різних значень I виміряти напругу U. Результати вимірів і обчислень занести до табл. 3.4. Для заповнення табл. 3.4 виконати обчислення і визначити:

а) p, $R_д$ – за варіантом робочого місця, за співвідношеннями:

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

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 3.4. –

Результати обчислення

Найменування	U_1,В	U_2,В	p	$R_д$,Ом	$U_1^{/}$,В	ΔU,В	$\gamma_{\%}$,%	C_{V_2}
1								
2								
3								
4								
5								

7. Зібрати схему включення амперметра, вольтметра і ватметра з вимірювальними трансформаторами струму і напруги (рис. 3.7).

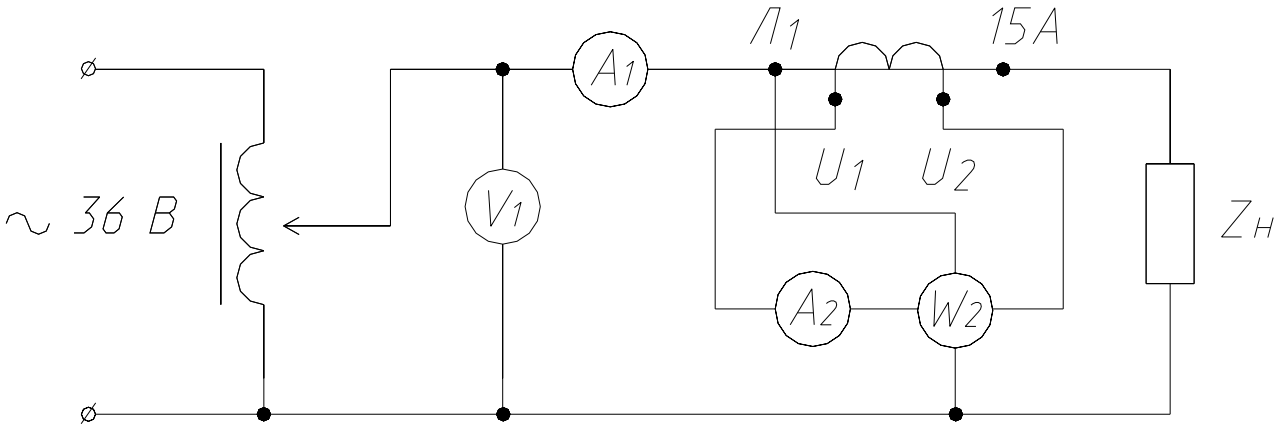


Рисунок 3.7. – Схема включення амперметра, вольтметра, ватметра з вимірювальними трансформаторами струму та напруги

8. Для п'яти різних значень напруги виміряти струм I_1, напругу U_1, струм I_2,

потужність P_2. Результати вимірів занести до табл. 3.5. Для заповнення табл. 3.5. обчислити і визначити:

а) коефіцієнт трансформації $K_{Iн} = \frac{I_{1н}}{I_{2н}}$;

б) обмірювані значення струму і потужності:

$$I_1^{/} = I_2 \cdot K_{Iн}; \quad P_1 = P_2 \cdot K_{Iн} \cdot K_{Uн};$$

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 3.5. –

Результати вимірів

Найменування	U_1, В	I_1	I_2, А	P_2, Вт	$k_{Iн}$	$I_1^{/}$, А	ΔI, А	γ_I, %	P_1, 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. 3.8). Для вимірів використовувати: осцилограф, електронний вольтметр і магнітоелектричний мікроамперметр із додатковим резистором.
10. Встановити на генераторі відповідну форму кривої напруги і подати на вхід 7-12 В, f = 100-200 Гц.
11. 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. 3.6.

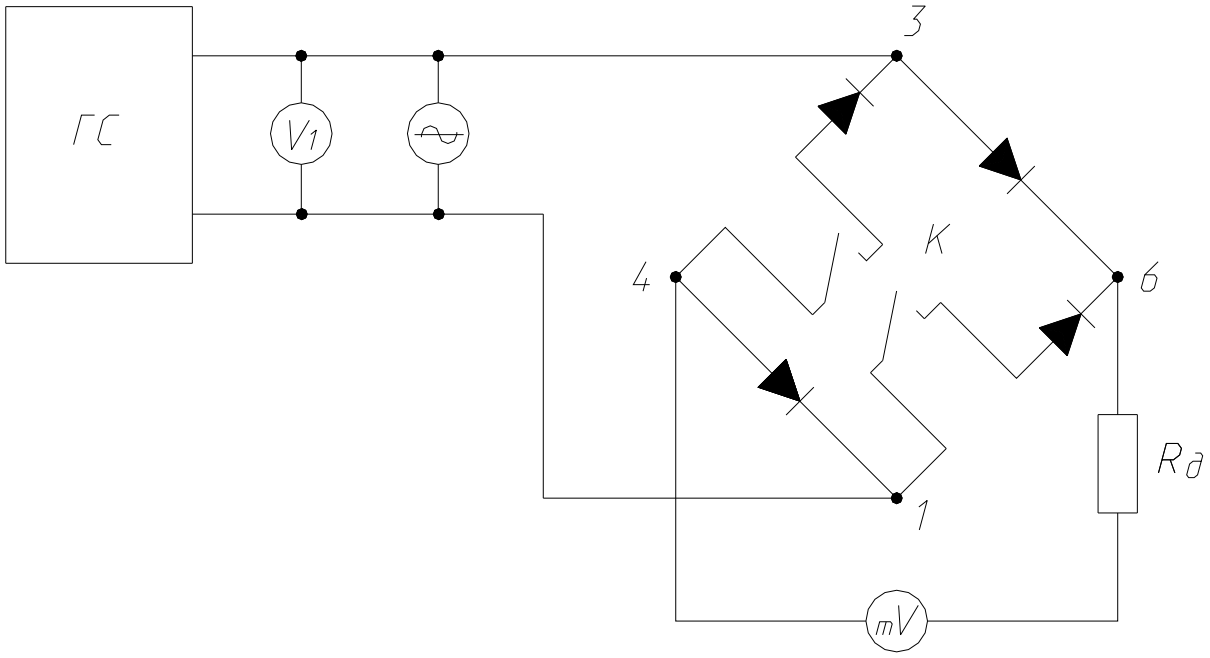


Рисунок 3.8. – Схема перетворення змінного струму в постійний

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

Таблиця 3.6. –

Результати вимірів

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},В	U_1, В		U_{M2} В	$U_{сер}$ В		U_{M2}	$U_{сер}$ В			

3.4. 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 роботе.

3.5. 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 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКАЗНИКОВИХ ПРИЛАДІВ

4.1. Мета роботи

Ознайомитися з показниковими приладами різних систем.

Вивчити основні статичні характеристики приладів та методи їх визначення.

Дослідити вплив частоти і форми кривої напруги на покази вольтметрів. Визначити споживану потужність вольтметрів.

4.2. Загальні відомості

У даній роботі досліджуються властивості електромеханічних, електронних і цифрових вольтметрів.

4.2.1. Електромеханічні прилади

Такі прилади складаються з вимірювального ланцюга і вимірювального механізму. Вимірювальний ланцюг служить для перетворення вимірювальний величини в іншу, що безпосередньо впливає на вимірювальний механізм.

У вимірювальному механізмі електрична енергія перетворюється в механічну енергію переміщення рухомої системи. Звичайно в приладах застосовують кутове переміщення. Момент, що виникає у приладі і обертає рухому частину в бік зростаючих показів, називають обертальним моментом $M_{об}$. Він однозначно визначає вимірювану величину X і в загальному випадку залежить від кута повороту рухомої частини α, тобто

$$M_{вр} = F(x, \alpha). \qquad (4.1)$$

Для електромеханічних приладів вираз обертального моменту має вигляд

$$M_{об} = \frac{dW_{ел}}{d\alpha}, \qquad (4.2)$$

де $W_{ел}$ – енергія електромагнітного поля, зосереджена в вимірювальному механізмі.

За способом створення обертального моменту прилади розділяють на такі системи: магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, електростатичні, індукційні.

Для того, щоб кут повороту поданої частини залежав від вимірюваної величини, у приладі створюється протидіючий момент, спрямований назустріч обертальному і залежний від

$$M_{пр} = W_{\alpha}, \qquad (4.3)$$

де W_{α} – питомий протидіючий момент.

При встановленій рівновазі обертальний і протидіючий моменти рівні

$$M_{пр} = M_{об}. \qquad (4.4)$$

Знаючи аналітичний вираз для моментів, із виразу (4.4) можна знайти залежність кута обертання рухомої частини від вимірюваної величини і конструктивних параметрів приладу

$$\alpha = F(x, A), \qquad (4.5)$$

де A – параметри приладу.

Вираз (4.5) – рівняння перетворення, що характеризує основні властивості того або іншого приладу.

У табл. 4.1. наведені основні характеристики вимірювальних механізмів електромеханічної групи.

4.2.2. Випрямні прилади

Для випрямних приладів, що представляють собою сполучення магнітоелектричного вимірювального механізму і випрямляючого пристрою (детектора) на напівпровідникових діодах, рівняння перетворення має вигляд .

$$\alpha = \frac{B \cdot S \cdot \omega}{W} \cdot I_{сер}, \qquad (4.6)$$

де B, S, ω, W – конструктивні параметри магнітоелектричного вимірювального

механізму;

$I_{сер}$ – середнє за період значення змінного струму.

Шкала цих приладів градуюється в діючих значеннях при сінусоїдній форми, тобто з обліком коефіцієнта форми $K_ф$. При несінусоїдній формі кривої в показах приладу виникає похибка у вимірах струмів і напруг. Загальні особливості випрямних приладів: висока чутливість за струмом і напругою; великий частотний діапазон ($10...20 \cdot 10^3$ Гц); мале власне споживання потужності; невисока точність; залежність показів від форми кривої.

4.2.3. Електронні прилади

Електронні вольтметри, що представляють собою сполучення електронного вимірювального ланцюга і вихідного, звичайно магнітоелектричного, приладу, виготовляють для вимірів постійної і змінної напруги – універсальні, постійної напруги і змінної напруги. До складу електронних вольтметрів входять: дільник напруги для розширення діапазонів виміру; детектор, що перетворює змінний струм у постійний; підсилювач постійної напруги; вихідний магнітоелектричний прилад; джерело живлення детектора і підсилювача. У залежності від типу детектора вольтметри можуть бути амплітудного, середнього і діючого значення напруги. Шкали вольтметрів градуюються в діючих значеннях синусоїдної напруги з використанням залежності від виду детектора відомих співвідношень

$$U = \frac{U}{K_a} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad U = U_{сер} \cdot K_ф = U_{сер} \cdot 1{,}11, \tag{4.7}$$

де K_a – коефіцієнт амплітуди; $K_ф$ – коефіцієнт форми.

Загальні властивості електричних приладів: висока чутливість, мале власне споживання потужності, широкий частотний діапазон (1000 МГц), залежність показів приладів від форми кривої вимірюваної напруги, висока точність.

4.2.4. Цифрові вольтметри

У цифрових вольтметрах результат вимірів безперервної (аналогової) величини подається в дискретній формі у вигляді чисел. Більшість цифрових вольтметрів відносяться до групи приладів порівняння, у яких результат виміру одержують в момент компенсації (рівності) вимірюваної і компенсуючої потужності.

У цифрових вольтметрах безперервна величина перетворюється в дискретну аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП), що є основним вузлом приладу. Окрім АЦП, до складу приладу входять: вхідний перетворювач, цифровий відлікуючий пристрій, джерело живлення всіх вузлів приладу.

За точністю вимірів цифрові вольтметри можуть бути порівняні з потенціометрами постійного струму. Окрім високої точності цифрові вольтметри володіють високою швидкодією, можливістю передачі показів на будь-які відстані.

Недоліки цифрових вольтметрів: складність будови, висока вартість, невисока чутливість.

4.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з приладами і занести їх технологічні і метрологічні характеристики до таблиці звіту.
2. Зібрати схему (рис. 4.1). Після перевірки її викладачем подати напругу на затиски вольтметрів від генератора сигналів.

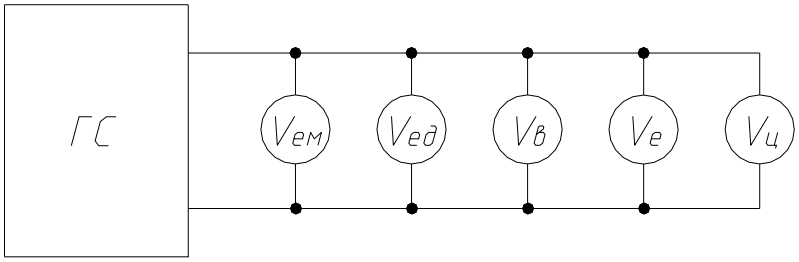


Рисунок 4.1. - Схема

3. На генераторі сигналів встановити синусоїдну форму вихідної напруги величиною 10 В і, підтримуючи цю напругу незмінною, зняти частотні характеристики усіх вольтметрів. Контроль за величиною вихідної напруги здійснювати за електронним вольтметром. Частоту змінювати у діапазоні від 50 до 20000 Гц.
4. Результати вимірів занести до табл. 4.2. За одержаними даними побудувати графіки.
5. Дослідити вплив форми кривої вимірюваної напруги на покази приладів різних систем при діючій напрузі, рівній 12 В і частоті 100 Гц. Форму кривої напруги встановлювати перемикачем генератора сигналів і контролювати за електронним осцилографом.

Таблиця 4.1. –

Основні характеристики вимірювальних механізмів електромеханічної групи.

Різновид вимірювального механізму	Вхідна величина	Частотний діапазон	Величини, що впливають	У яких приладах використовуються	Максимальна чутливість	Мінімальна чутливість	Вищий клас точності	Споживана потужність
Магнітоелектричний	I	0	t	А, В, Лог., Ом	$1.5 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	0,1	10^{-3}
Електромагнітний	I	40-500 Гц	t, f, M	А, В, Лог.	$0.15 \cdot 10^3$	0,01	0,2	1,1
Електродинамічний	I_1, I_2	$10\text{-}1{,}5 \cdot 10^3$ Гц	t, f, M	А, В, Вт, Ф	$0.15 \cdot 10^3$	0,01	0,1	0,1
Феродинамічний	I_1, I_2	$10\text{-}1{,}5 \cdot 10^3$ Гц	t, f	Вт	$3 \cdot 10^2$	0,005	0,5	0,025
Індукційний	I_1, I_2	50 Гц	t, f	Ліч.	–	–	0,5	0,8
Електростатичний	U	$20\text{-}3 \cdot 10^7$ Гц	t, E	В	0,15	10	0,05	–

Примітки:

1) Для змінного струму I і U – діючі значення.
2) Величини, що впливають: t – температура, f – частота, M – магнітне поле, E – електричне поле.
3) Прилади: А – амперметр, В – вольтметр, Вт – ватметр, Ф – фазометр, Ліч. – лічильник, Лог. – логометр, Ом – омметр.

27

Таблиця 4.2. –

Результати вимірів

Частота, Гц	Покази вольтметрів, В				
	Електромагнітного	Електродинамічного	Випрямного	Електронного	Цифрового
50					
100					
150					
200					
400					
600					
800					
1000					
1400					
1600					
2000					
4000					
8000					
10000					
14000					
16000					
20000					

6. Зняти покази приладів, занести до табл. 4.3 і зробити висновки про вплив форми кривої напруги на покази приладів. Контроль за напругою здійснювати за електродинамічним вольтметром.

Таблиця 4.3. –

Покази приладів

Форма кривої напруги	Покази вольтметрів, В				
	електромагнітного	електродинамічного	випрямного	електронного	цифрового

7. Підключаючи вольтметри по черзі до цифрового вольтметра, виміряти їхній вхідний опір і визначити споживану потужність. Результати вимірів і розрахунків занести до табл. 4.4.
8. Зробити висновки про власне споживання потужності досліджуваних вольтметрів

Таблиця 4.4. –

Результати вимірів і розрахунків

Тип приладу	електромагнітний	електродинамічний	випрямний	електронний	цифровий

Споживану потужність визначити за формулою

$$P = \frac{U_н^2}{R_{вх}}, \qquad (4.8)$$

де $U_н$ – межа виміру.

4.4. Звіт про роботу

У звіті повинні бути наведені:

1. Технічні і метрологічні характеристики приладів.
2. Схеми електричних ланцюгів.
3. Розрахункові формули, таблиці вимірів і обчислень. Приклади обчислень за наведеними формулами.
4. Криві залежності $U = F(\lg f)$.
5. Стислі висновки по роботі.

4.5. Контрольні запитання

1. Основні характеристики показникових приладів.
2. Нормальні умови роботи приладів.
3. Нормування похибки аналогових і цифрових приладів.
4. Назвати рівняння перетворення показникових приладів різних систем, дати їхню характеристику.
5. Вказати умовні позначення приладів електромеханічної групи.
6. Вказати основні впливаючі величини.
7. Назвати формулу для визначення потужності, споживаної приладом.
8. Вплив форми кривої напруги на покази приладів різних систем.

Лабораторна робота 5
ВИМІР ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН ЕЛЕКТРОННИМ ОСЦИЛОГРАФОМ

5.1. Мета роботи

Вивчити будову і принцип дії електронного осцилографа (ЕО).

Засвоїти методику підготовки ЕО до використання і проведення вимірів.

Придбати навички виміру за допомогою ЕО миттєвих значень напруг, струмів, часових інтервалів, частоти, зсуву фаз.

5.2. Загальні відомості

Електронно-променеві осцилографи (ЕО) широко застосовують для спостереження форм кривих періодичних і неперіодичних напруг, для виміру миттєвих значень напруг, кута зсуву фаз, частоти, часових інтервалів і т.д. Осцилографи володіють високої чутливістю, широким частотним діапазоном і низьким власним споживанням потужності.

Деякі типи ЕО дозволяють спостерігати два і більше досліджуваних сигналів, робити запам'ятовування зображення на екрані ЕО на значний час, фотографувати зображення.

У залежності від точності відтворення прямокутної напруги, точності виміру, часових інтервалів ЕО поділяють на класи точності: ±3%; ±5%; ±10%.

5.2.1. Устрій ЕО

В основу вимірів більшості ЕО закладений метод вимірів по каліброваній шкалі. Відповідно до цього методу побудована функціональна схема ЕО. Принцип дії ЕО і взаємодія основних вузлів пояснюється блок-схемою (рис. 5.1).

До складу блок-схеми ЕО входять такі основні елементи: вхідний атенюатор, попередній підсилювач, лінія затримки, кінцевий підсилювач; калібратор, схема синхронізації, генератор розгорнення, схема керування променем, підсилювач розгорнення, електронно-променева трубка, блок живлення.

Досліджуваний сигнал подається на вхідне гніздо "Вхід У". За допомогою вхідного атенюатора, що представляють собою частотно-компенсований дільник напруги, вибирають величину сигналу, зручну для спостереження і дослідження на

екрані ЕПТ, через атенюатор сигнал надходить на попередній підсилювач, у якому відбувається основне посилення сигналу.

Для дослідження і спостереження коротких імпульсів на виході попереднього підсилювача включена лінія затримки.

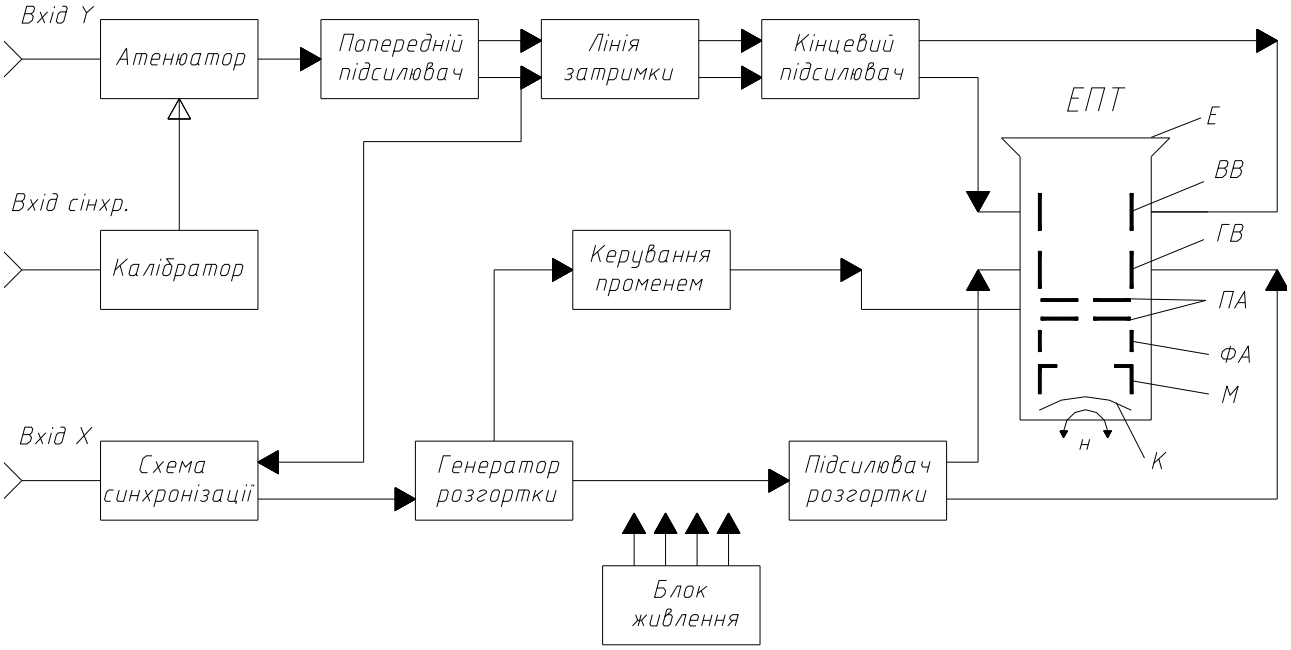


Рисунок 5.1. – Схема електро-променевого осцилографа

Кінцевий підсилювач підсилює досліджуваний сигнал до величини, достатньої для нормального спостереження його на екрані ЕПТ. З попереднього підсилювача вертикального відхилення (ПВВ) досліджуваний сигнал надходить на вхід схеми синхронізації і запуску розгорнення. Для запуску розгорнення може бути використаний зовнішній сигнал, поданий на гніздо "Вхід. сінхр." Схема синхронізації і запуску розгорнення виробляє прямокутні імпульси постійної амплітуди незалежно від величини і форми сигналу, що надходить на вхід; завдяки цьому досягається стійкий запуск генератора розгорнення, що виробляє пилкоподібну напругу.

Лінійно змінювана напруга з генератора розгорнення надходить на її підсилювач, де підсилюється до необхідної величини. З виходу підсилювача розгорнення пилкоподібна напруга подається на горизонтально відключаючі пластини ЕПТ.

У ЕО передбачена можливість подачі зовнішнього сигналу на підсилювач розгорнення при подачі на гніздо "Вхід X", при цьому підсилювач розгорнення відключений від схеми генератора розгорнення.

Калібратор генерує прямокутні імпульси, які використовуються для

калібрування коефіцієнтів розгорнення і відхилення.

Блок живлення забезпечує напругою всю схему ЕО.

Головною частиною ЕО є електронно-променева трубка (ЕПТ) з електростатичним керованим променем, що являє собою сфокусований пучок швидкоплинних електронів. Джерелом електронів служить розігріваний катод К (рис. 5.1), вміщений усередині циліндричного керуючого електрода з отвором – модулятора М. Зміною негативного (відносно катода) потенціалу модулятора регулюється інтенсивність пучка електронів і тим самим змінюється яскравість світіння люмінофора, яким вкритий екран Е. Крім керування яскравості модулятор концентрує електронний вузький пучок. Для чіткого фокусування променя на екрані використовується фокусуючий анод ФА. Енергію, необхідну електронам для руху в пучку і засвічування люмінофора, дає прискорюючий анод ПА, який має позитивний (щодо катода) потенціал в декілька кіловольтів.

На шляху до екрана пучок проходить між двома парами вертикально (ВВ) і горизонтально (ГВ) відхиляючих пластин. Під дією напруги, прикладеної до відповідної пари пластин, світлова точка на екрані переміщається у вертикальному і горизонтальному напрямках.

Всі органи керування електронним променем виведені на передню панель ЕО.

5.2.2. Підготовка ЕО до вимірів

Перед включенням приладу в мережу треба попередньо установити органи керування в такі положення:

- ручки "яскравість", "фокус", "рівень" – у середнє положення;
- "стабільність" – у крайнє праве положення;
- перемикач "Вольт/Діл." – в положення "10" або "5V;
- перемикач полярності синхронізації – у положення "+";
- перемикач синхронізації – у положення "Внутр";
- перемикач "Вхід Х" – у виключеному положенні.

Шнур живлення приладу з'єднати з джерелом напруги і включити тумблер "Мережа", при цьому повинна горіти сигнальна лампочка.

Через 2-3 хвилини після включення ЕО відрегулювати яскравість і фокусування лінії розгорнення за допомогою відповідних ручок. Якщо при максимальній

яскравості на екрані не буде лінії розгорнення, необхідно за допомогою ручок перемістити її в межі робочої частини екрана.

Після 10-15 хвилин прогріву ЕО необхідно зробити балансування підсилювача вертикального відхилення (ПВВ). Сутність балансування полягає в тім, щоб промінь на екрані не переміщався при переключенні перемикача "Вольт/Діл." або "Вольт/См.". Для цього, не подаючи сигналу на вхід ПВВ, лінію розгорнення перемістити в середнє положення робочої частини екрана ЕПТ і регулюванням "Баланс" домогтися незалежності положення лінії розгорнення від положення перемикача.

Після збалансування зробити калібрування коефіцієнта відхилення і коефіцієнта розгорнення за каліброваною напругою прямокутної форми з відомими амплітудою і частотою. Цей пункт студенти виконують за вказівкою викладача.

5.2.3. Проведення вимірів за допомогою ЕОМ

1) Вимір напруги, струму і опору. Перед вимірами амплітуди досліджуваного сигналу необхідно перевірити калібрування і балансування ПВВ. Амплітуда напруги вимірюється подачею досліджуваної напруги на "Вхід У". За допомогою ручок сигнал сполучають з потрібними поділками шкали і вимірюють розмах зображення по вертикалі у поділках або у міліметрах. Для зменшення похибки за рахунок товщини променя виміри робити або обоє по нижніх, або обоє по верхніх краях лінії зображення.

При вимірах синусоїдної напруги, враховуючи, що розмах відповідає подвійній амплітуді синусоїди, одержимо

$$2 \cdot U_m = C_y \cdot l_y \qquad (5.1)$$

де C_y – коефіцієнт відхилення по вертикалі у "Вольт/Діл." або "Вольт/См.".

Звідси амплітуда напруги

$$U_m = \frac{C_y \cdot l_y}{2} \qquad (5.2)$$

Діюче значення напруги

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \qquad (5.3)$$

Цей метод застосуємо і для визначення миттєвого значення напруги в будь-який

момент часу t.

Струм і опір вимірюють за допомогою ЕО непрямим методом: визначають амплітуду напруги на зразковому опорі R і на невідомому Z_x, потім обчислюють струм і опір за формулами

$$I_x = \frac{U_{mR_o}}{\sqrt{2} \cdot R_0} \tag{5.4}$$

$$Z_x = \frac{U_{mz_x}}{U_{mR_0}} \cdot R_0 \tag{5.5}$$

де I_x – діюче значення струму, отримане за допомогою ЕО;

U_{mR_o} – амплітуда напруги на зразковому опорі R;

U_{mz_x} – амплітуда напруги на невідомому опорі Z_x.

2) Вимір часових інтервалів. Перед вимірами часових інтервалів необхідно перевірити калібрування тривалості розгорнення за внутрішнім калібратором, вимірюваний часовий інтервал рекомендується встановити в центрі екрана за допомогою рукоятки. Для зменшення похибки виміру за рахунок товщини лінії променя виміри слід робити або обидва по правих, або обидва по лівих краях лінії зображення. Точність виміру часових інтервалів на екрані ЕПТ збільшується при збільшенні довжини вимірюваного інтервалу. Тому при вимірах треба правильно вибрати робочу тривалість розгорнення.

Вимірюваний часовий інтервал

$$T_x = C_x \cdot l_x \tag{5.6}$$

де C_x – коефіцієнт відхилення по горизонталі в "с/діл." або “с/см" при заданому положенні перемикача "Час/Діл." або "Час/см."; l_x – довжина інтервалу часу на екрані по горизонталі.

3) Вимір частоти. Частоту досліджуваного сигналу можна визначити, вимірявши його період Т

$$f = \frac{1}{T_x} \tag{5.7}$$

Для визначення частоти необхідно по екрану вимірити відстань l, що відповідає цілому числу періодів сигналу T. Тоді шукана частота сигналу

$$f_x = \frac{n}{l \cdot T_p} \qquad (5.8)$$

До інших осцилографічних методів виміру частоти відносяться методи фігур Лісажу і кутового розгорнення.

Сутність методу Лісажу полягає у тім, що якщо на входи горизонтального і вертикального каналів відхилення електронного променя подати напругу вимірюваної частоти f_x і зразкової f_0, то на екрані спостерігається зображення – фігура Лісажу. Якщо відхилення частот дорівнює відхиленню цілих чисел, то фігура на екрані буде непохильною. При цьому буде справедливе таке співвідношення

$$\frac{n_в}{n_2} = \frac{f_x}{f_0} \qquad (5.9)$$

де $n_в$ та n_2 – кількість точок торкання фігури з вертикальною і горизонтальною лініями.

З рівняння (5.9)

$$f_x = \frac{n_в}{n_2} \cdot f_0 \qquad (5.10)$$

За методом кругового розгорнення напруга зразкової частоти за допомогою фазозміщуючого кола RC формує дві зсунутих на 90^0 напруги тієї ж частоти. Якщо ці напруги подати на два входи осцилографа, то електронний промінь буде описувати на екрані окружність (еліпс) за час, рівний періоду зразкової частоти. Напругу вимірюваної частоти подають на модулятор ЕПТ, що викликає яскраву модуляцію променя. У позитивний напівперіод яскравість зображення зростає, у негативний – зменшується. Якщо f_0 та f_x рівні між собою, то одна половина окружності на екрані буде темною, а друга – яркою. Якщо $f_x \succ f_0$, то розгорнення пунктирне і нерухоме у випадку кратності частот f_0 і f_x.

Вимірювана частота визначається за формулою

$$f_x = n \cdot f_0 \qquad (5.11)$$

де n – кількість темних і яскравих штрихів на круговому розгорненні.

4) Вимір кута зсуву фаз. До осцилографічних методів виміру кута зсуву фаз відносять методи лінійного розгорнення і еліпса.

Метод лінійного розгорнення дозволяє спостерігати на екрані двохпроменевого або однопроменевого осцилографа одночасно дві досліджуваних напруги: U_1 та U_2. При вимірі за допомогою однопроменевого осцилографу напруги U_1 та U_2 подають через електронний комутатор на вхід каналу вертикального відхилення, а розгортуючу напругу, синхронізовану з частотою досліджуваних напруг, – на вхід каналу горизонтального відхилення.

На екрані (рис. 5.2) виходять штрихові зображення напруг U_1 та U_2. По обмірюваним у масштабі відрізкам *ab* і *ac* можна обчислити

$$\varphi = \frac{ab}{ac} \cdot 360 \qquad (5.12)$$

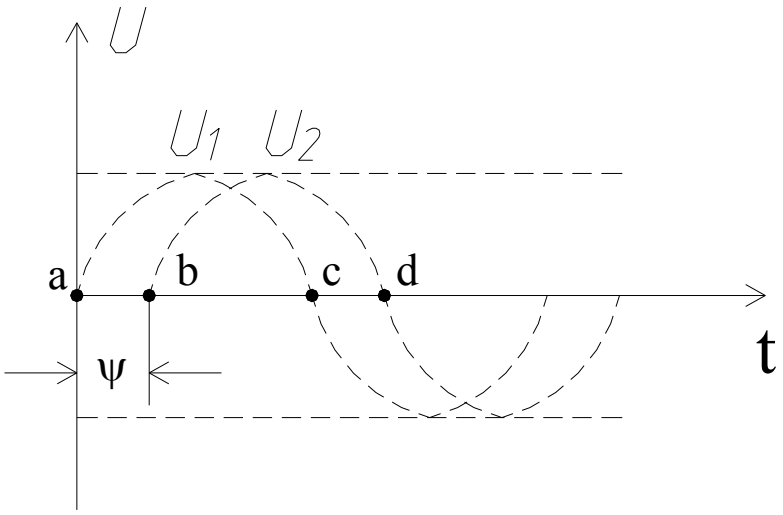


Рисунок 5.2. – Зображення напруг

Для визначення кута зсуву фаз досліджуваних напруг

$$u_1 = U_{m1} \cdot \sin \omega t; \quad u_2 = U_{m2} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

за допомогою методу еліпса їх треба подати відповідно на входи каналів горизонтального і вертикального відхилень. При відключеному генераторі розгорнення на екрані спостерігають зображення еліпса (рис. 5.3).

Центр еліпса треба поєднати з початком координат і знайти точки перетинання еліпса з віссю абсцис (ординат) і максимальну абсцису (ординату) еліпса.

Якщо $t = 0$, то напруга, що відключає промінь по вертикалі, дорівнює нулю, а по горизонталі $u_2 = U_{m2} \cdot \sin \varphi$ або $u_2 = -U_{m1} \cdot \sin \varphi$. Відрізок ab еліпса пропорційний $2 \cdot U_{m2} \cdot \sin \varphi$, а відрізок $a'b'$ пропорційний $2 \cdot U_{m2}$. Кут зсуву фаз визначаємо за формулою

$$Sin\varphi = \frac{l_{ab}}{l_{a'b'}} = \frac{l_{cd}}{l_{c'd'}}. \qquad (5.13)$$

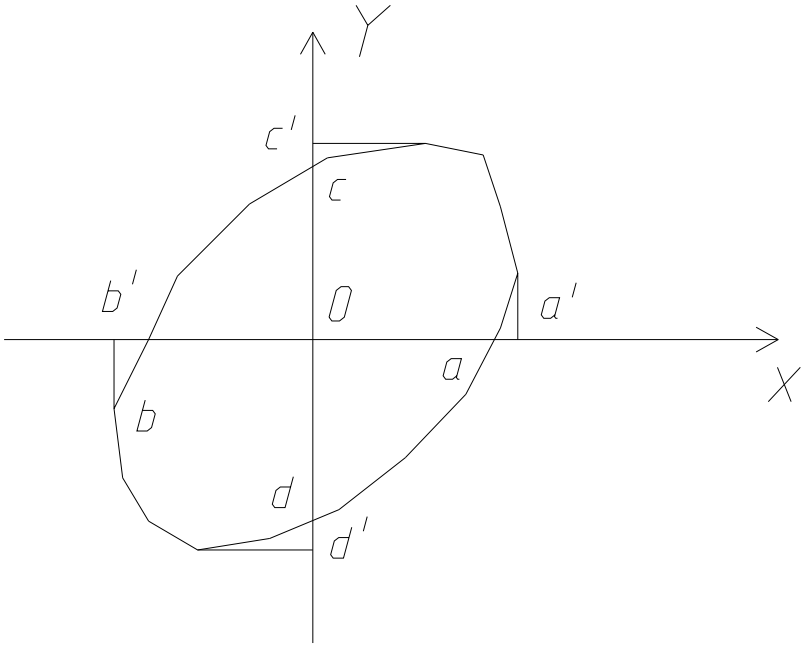


Рисунок 5.3.

Метод еліпса дозволяє виміряти значення фазового зсуву в діапазоні 0-180° без визначення знака фазового кута. Нахилу еліпса (див. рис. 5.3) відповідає $0<\varphi< 90$.

5.3. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з методичними вказівками з підготовки і проведення вимірів ЕО.
2. Підготувати ЕО до проведення вимірів.
3. Зібрати схему електричного кола (рис. 5.4). Для виміру струму I_0 використати електронний вольтметр із приставкою, а для виміру напруги на зразковому опорі R_0 – цифровий вольтметр. У якості Z_x підключити конденсатор (за вказівкою викладача), зразковий опір встановить на одному з наступних значень: 50, 100, 200 Ом (за вказівкою викладача).
4. Після перевірки схеми викладачем підключити її до джерела зі змінною напругою 36 В.
5. Для трьох різних значень Z_x встановити на зразковому опорі R_0 напруги, наведені в табл. 5.1, виміряти амплітуду напруги на R_0 і Z_x, діюче значення струму I_0 і напруги U_{R_0} . Результати вимірів занести до табл. 5.1.
6. За результатами вимірів обчислити: діюче значення напруг на зразковому опорі і конденсаторі, опір і ємність конденсатора, відносні похибки виміру струму і

напруги електронним осцилографом. Результати обчислень занести до табл. 5.1.

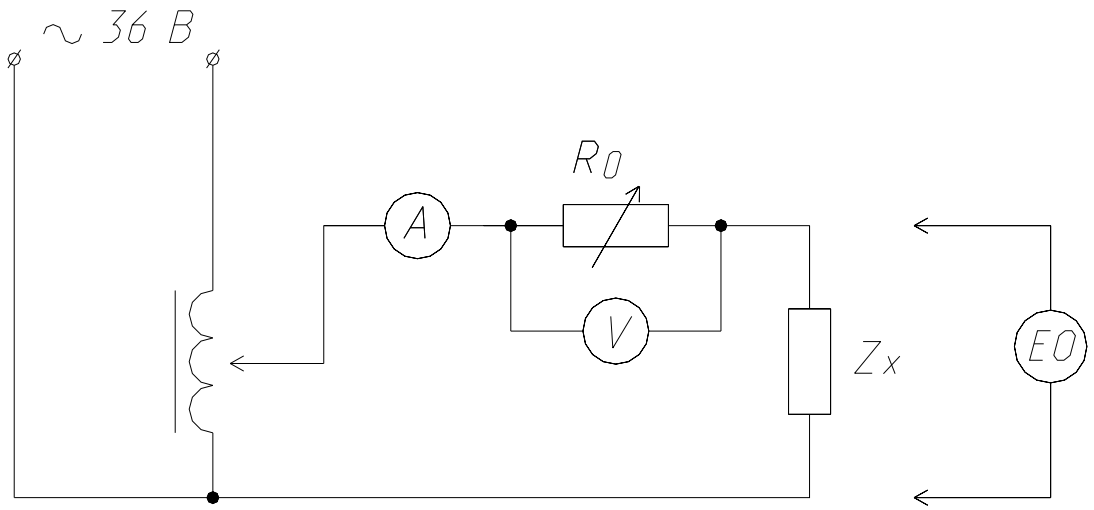


Рисунок 5.4. – Схема електричного кола ЕО

Таблиця 5.1. –

Результати вимірів

№ досліду	Результати вимірів					Результати обчислення							Номер конденсатора
	U_{R0} В	U_{mR0} В	U_{mZx} В	I_0 А	R_0 Ом	U'_{R0} В	U_{Zx} В	I_x А	Z_x Ом	C_x мкф	δ_I %	δ_U %	
1	8				200								C_1
2	10				200								C_2
3	12				200								C_1+C_2

7. Для схеми (див. рис. 5.4) за заданим значенням R_0 і Z_{CI} обчислити кут зсуву фаз φ_p і занести до табл. 5.2.

8. Використовуючи схему (див. рис. 5.4), подати на вхід каналу вертикального відхилення напругу з виходу ЛАТра, а на вхід каналу горизонтального відхилення – напругу з ємності $C_{1(7)}$, на екрані ЕО з'явиться зображення у вигляді еліпса. При різних значеннях опору R_0 за осцилограмою вимірити довжину відрізків l_{cd} та $l_{c'd'}$ або l_{ab} і $l_{a'b'}$, за їхніми значеннями визначити експериментальне значення кута зсуву фаз φ_e. Визначити відносну похибку виміру кута зсуву фаз δ_φ. Результати вимірів і обчислень занести до табл. 5.2.

Таблиця 5.2. –

Результати вимірів і обчислень

R_0, Ом	$Z_{c1(7)}$ Ом	$Sin\varphi_p$	φ_p°	l_{cd}, Діл.	$l_{c/d/}$ Діл.	l_{ab}, Діл.	$l_{a/b/}$ Діл.	$Sin\varphi_e$	φ_e°	δ_φ, %
100	200									
200	200									
300	200									
400	200									
500	200									
600	200									
800	200									
1000	200									

9. Подати на вхід підсилювача ВВ напругу з лабораторного автотрансформатора, а на вхід підсилювача ГВ – напругу з генератора Л-30 і, змінюючи частоту генератора від 0 до 400 Гц, одержати на екрані ЕО стійкі зображення фігур Лісажу. Для кожної фігури визначити число точок торкання з вертикальною $n_в$ і горизонтальною $n_г$ лініями. Прийнявши частоту мережі $f = 50 Гц$ за зразкову, обчислити вимірювану частоту ЕО, за отриманими даними визначити, похибку градуювання шкали генератора Л-30. Результати спостережень і обчислень занести до табл. 5.3.

Таблиця 5.3. –

Результати спостережень і обчислень

f_0, Гц	$n_в$	$n_г$	$f_{ген}$, Гц	f_{EO}, Гц	δ_f
50					
50					
50					
50					
50					
50					
50					

10. Подати від генератора Л-30 на вхід каналу В напругу. Встановити перемикач "Вольт/Діл." на величину зображення, зручну для спостережень. Змінюючи частоту генератора від 500 Гц до 20 кГц і "Тривалість розгортки" ЕО, одержати стійке зображення синусоїди. Користаючись масштабною сіткою і шкалою "Тривалість розгорнення", визначити: довжину періоду, час періоду l_x , частоту f_x. Прийнявши частоту, отриману при вимірі ЕО, за дійсне значення, обчислити

відносну похибку градуювання шкали генератора. Результати спостережень і обчислень занести до табл. 5.4.

Таблиця 5.4. –

Результати спостережень і обчислень

Час/діл., мс/діл.	l_x, діл.	T_x, мс	f_x, Гц	$f_{ген}$, Гц	δ_f, %
				500	
				800	
				1000	
				2000	
				5000	
				10000	
				20000	

5.4. Звіт про роботу

У звіті повинні бути наведені:

1. Найменування і ціль лабораторної роботи.
2. Технічні і метрологічні характеристики приладів.
3. Структурна схема осцилографа і схема будови електронно-променевої трубки.
4. Схеми електричних кіл.
5. Розрахункові формули, таблиці вимірів і обчислень. Приклади обчислень за наведеними формулами.
6. Стислі висновки по роботі.

5.5. Контрольні запитання

1. Призначення електронних осцилографів.
2. Елементи структурної схеми осцилографа і їхнє призначення.
3. Будова електронно-променевої трубки.
4. Чутливість електронно-променевої трубки і параметри, що визначають її.
5. Блок розгорнення осцилографа і його призначення.
6. Синхронізація і її здійснення.
7. Калібрування підсилювачів вертикального і горизонтального відхилень.
8. Вимір напруги, струму, опору, частоти і кута зсуву фаз електронним осцилографом.

Лабораторна робота 6

ВИМІР ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ: *R*, *L*, *M* І *C*

6.1. 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.

6.2. Загальні відомості

Опір – один з найважливіших параметрів електричних кіл. За величиною опори 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.

6.2.1. 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. 6.1, а) вимірюють напругу U_0. Струм у колі

$$I_x = \frac{U_0}{R_0} \qquad (6.1)$$

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

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_x}{U_0} \cdot R_0 \qquad (6.2)$$

Цей метод застосовують для виміру середніх і великих опорів.

Для виміру малих і середніх значень опорів застосовують схему рис. 6.1, б.

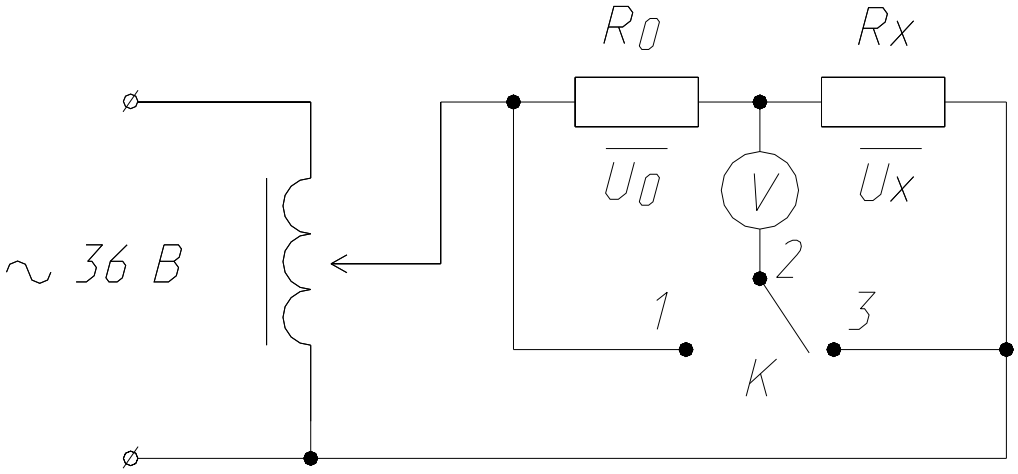
У положенні 1 ключа "К" вимірюють струм I_0, а в положення 3 – струм I_x.

Напруга мережі

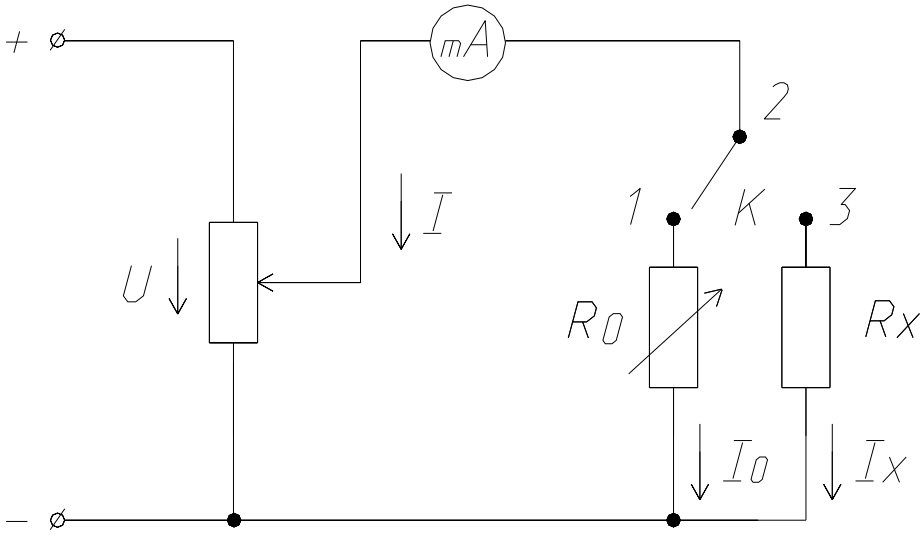
$$U_x = I_0 \cdot R_0 \tag{6.3}$$

Вимірюваний опір

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{I_0}{I_x} \cdot R_0 \tag{6.4}$$



а)



б)

Рисунок 6.1. – Схема паралельного і послідовного з'єднання опору

6.2.2. 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 логометром, 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 ±1%.

6.2.3. 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. 6.2).

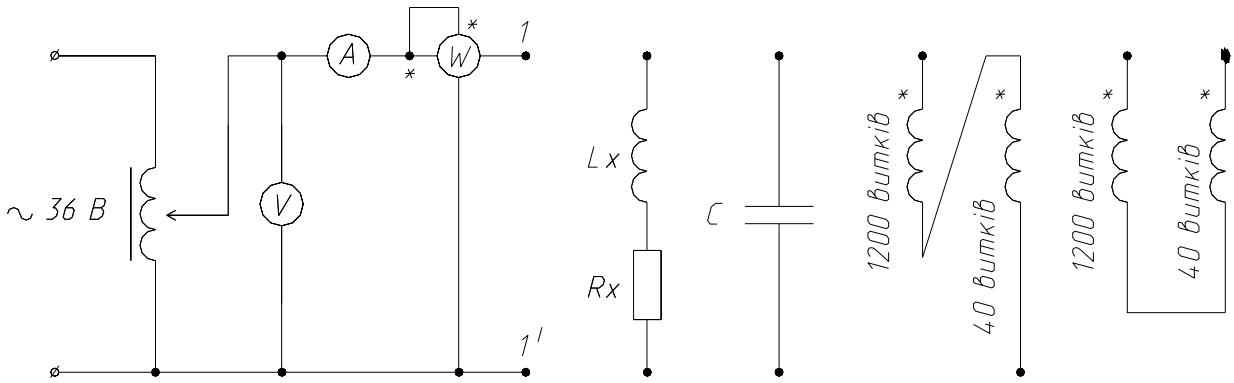


Рисунок 6.2. – Схема методу амперметру, ватметру, вольтметру

Індуктивність котушки

$$L_x = \frac{\sqrt{Z_k^2 - R_k^2}}{\omega} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_k}{I_k}\right)^2 - \left(\frac{P_k}{I_k^2}\right)^2}}{\omega} = \frac{1}{\omega \cdot I_k^2}\sqrt{U_k^2 \cdot I_k^2 - P_k^2} \qquad (6.5)$$

Ємність конденсатора

$$C = \frac{1}{\omega\sqrt{Z_c^2 - R_c^2}} = \frac{1}{\omega\sqrt{\left(\frac{U_c}{I_c}\right)^2 - \left(\frac{P_c}{I_c^2}\right)^2}} = \frac{I_c^2}{\omega\sqrt{U_c^2 \cdot I_c^2 - P_c^2}} \qquad (6.6)$$

При узгодженому послідовному з'єднанні двох котушок їхня загальна індуктивність

$$L_C = L_1 + L_2 + 2 \cdot M \qquad (6.7)$$

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 $L_з$ можна визначити за формулою (6.7), знаючи покази амперметра і вольтметра:

$$L_c = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_c}{I_c}\right)^2 - \left(\frac{P_c}{I_c^2}\right)^2}}{\omega} \qquad (6.10)$$

$$L_з = \frac{\sqrt{\left(\frac{Uв}{I_в}\right)^2 - \left(\frac{P_в}{I_в^2}\right)^2}}{\omega} \qquad (6.11)$$

При зустрічному послідовному з'єднанні двох котушок їх загальна індуктивність

$$L_B = L_1 + L_2 - 2 \cdot M \qquad (6.8)$$

Віднімаючи з рівняння (6.7) рівняння (6.8), одержимо

$$L_C - L_B = 4 \cdot M; \quad M = \frac{L_C - L_B}{4} \qquad (6.9)$$

6.2.4. Визначення взаємної індуктивності за допомогою амперметра і вольтметра (рис. 6.3)

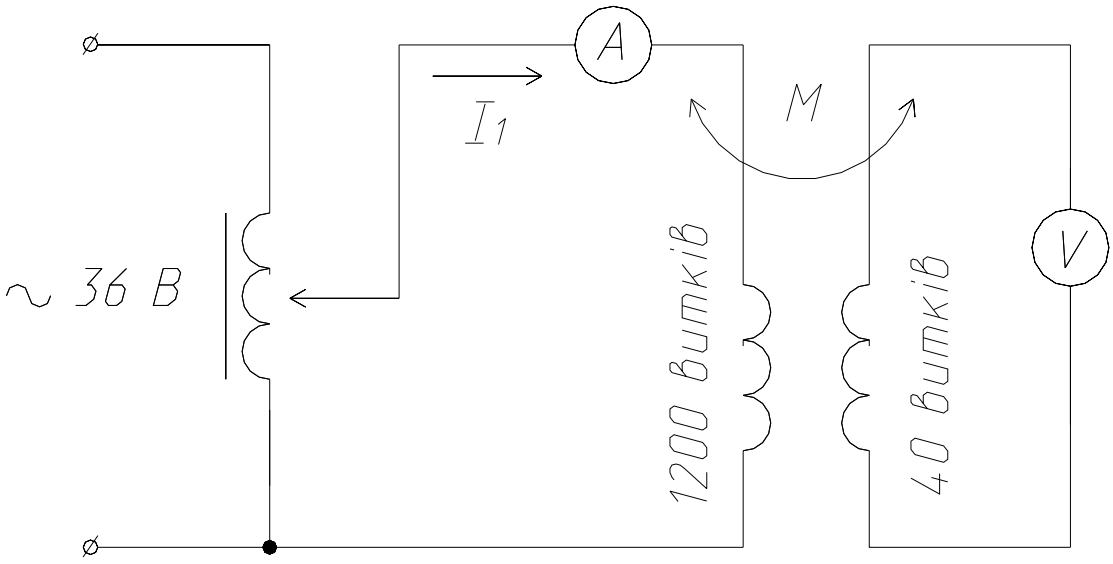


Рисунок 6.3. – Схема визначення індиктивності за допомогою амперметра і вольтметра

Якщо виміряти струм I_1 у першій котушці і індуктовану в другій котушці ЕРС,

то маємо співвідношення

$$E_2 = U = MI_1 \cdot \omega; \quad M = \frac{U}{I_1 \cdot \omega} \tag{6.12}$$

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

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

6.2.5. Вимір ємності за сталою часу (рис. 6.4)

При встановлені 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

$$U_2 = U_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{6.13}$$

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

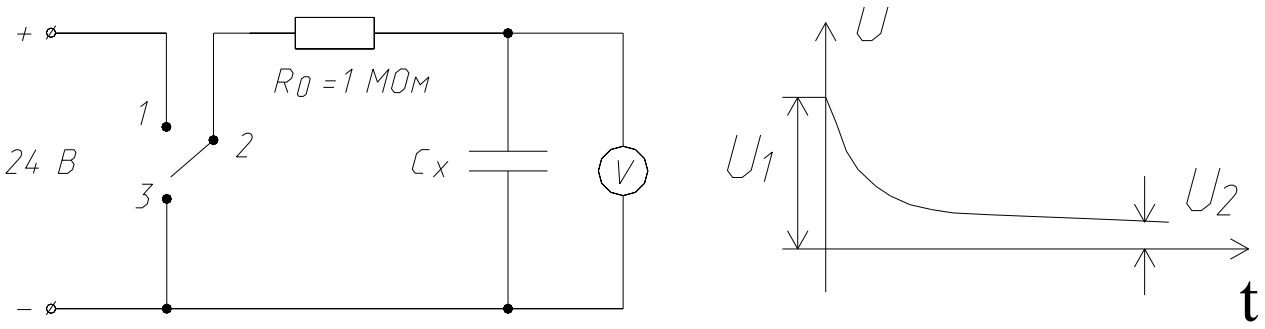


Рисунок 6.4.

З рівняння (6.13) знайдемо

$$C_x = \frac{t}{(\ln \cdot U_1 - \ln U_2) \cdot R_0} \tag{6.14}$$

6.2.6. 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. 6.5).

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.

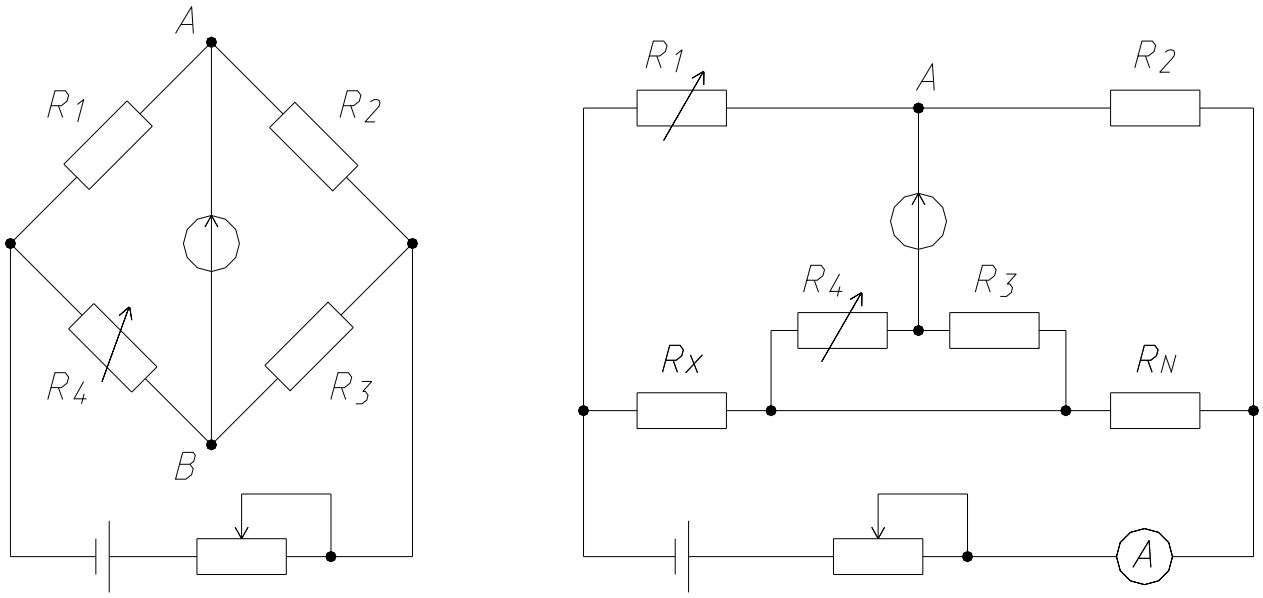


Рисунок 6.5. – Схеми одинарних і подвійних мостів

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

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \qquad (6.15)$$

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

$$R_x = R_I = R_4 \cdot \frac{R_2}{R_3} \qquad (6.16)$$

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

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

$$R_x = R_4 \cdot \frac{R_2}{R_3} \qquad (6.17)$$

$$tg\delta_x = \omega \cdot R_4 \cdot C_4$$

$$L_x = C_3 \cdot R_2 \cdot R_4$$

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_3} \qquad (6.18)$$

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

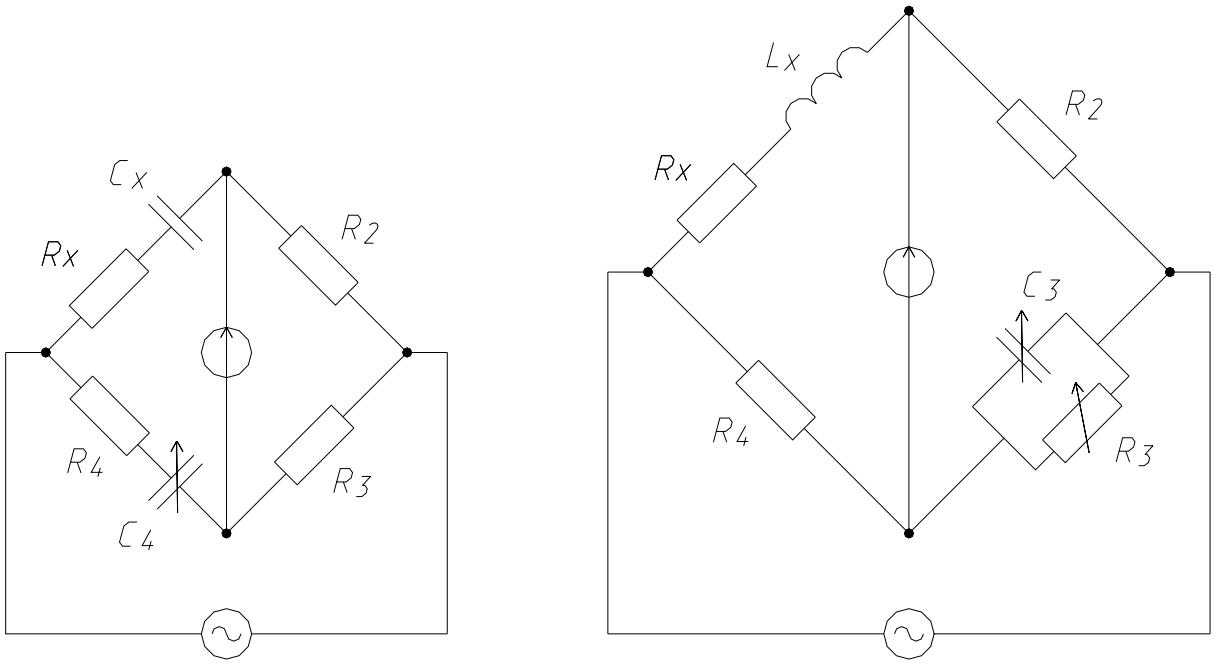


Рисунок 6.6. – Схеми промислових мостів змінного струму

Промислові мости змінного струму звичайно роблять універсальними, об'єднуючими 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. 6.6).

6.3. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з приладами і записати їх характеристики.
2. Зібрати схему (рис. 6.1, а), виміряти U_x і U_0 для двох різних значень напруги. Обчислити значення *R* за формулою (6.2) і середнє значення занести до табл. 6.1.

Таблиця 6.1. -

Метод вимірів	Вимірюваний опір					
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6

3. Зібрати схему (рис. 6.1, б), виміряти струми I_0 і Ix, обчислити опір за формулою (6.4), занести до табл. 6.1.
4. Виміряти опір мегометром, результат занести до табл.6.1.

5. Виміряти опір мостом постійного струму.
6. Виміряти опір обмоток котушок індуктивності омметром. Результат занести до табл. 6.2.
7. Зібрати схему (рис. 6.2), виміряти струм, напругу і потужність. За формулами (6.5), (6.6), (6.9) обчислити *K*, *C*, і *M*. Результати занести до табл.6.3, 6.4, 6.5.

Таблиця 6.2. –

Результати вимірювання

Кількість витків котушки індуктивності	3600	2400	1200	40	25	15
R_x						

Примітка. Активний опір котушки з 1200 витками взяти з попереднього дослідження (табл. 6.2).

Таблиця 6.3. –

Результати вимірювання

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

Таблиця 6.4. -

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

Таблиця 6.5. -

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

8. Зібрати схему (рис. 6.3), виміряти струм і напругу. Обчислити за формулою (6.12) взаємну індуктивність. Занести результат до табл. 6.6.

Таблиця 6.6. -

I_1, А	E_2, В	f, Гц	ω, с$^{-1}$	M, Гн

9. Зібрати схему (рис. 6.4). Вимірити напругу заряду і розряду ємності, час розряду ємності секундоміром до напруги. U_2. Обчислити за формулою (6.14) C_x. Результати занести до табл. 6.7.

Таблиця 6.7. -

U_1, В	U_2, В	t, с	R, Ом	C_x, 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. 6.8 і 6.9.

Таблиця 6.8. -

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

Таблиця 6.9. -

Виводи котушок	3600	2400	1200
L (Гн)			
Q			

6.4. 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.

6.5. 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 7

ВИМІР ПОТУЖНОСТІ І ЕНЕРГІЇ В ТРИФАЗНИХ КОЛАХ

7.1. 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.

7.2. Загальні відомості

7.2.1. 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. 7.1.

Значення активної потужності визначити як суму показів трьох ватметрів:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \qquad (7.1)$$

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

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$$
$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 \qquad (7.2)$$
$$P_3 = U_3 \cdot I_3 \cdot \cos\varphi_3$$

Результат виміру визначити за показами ватметрів

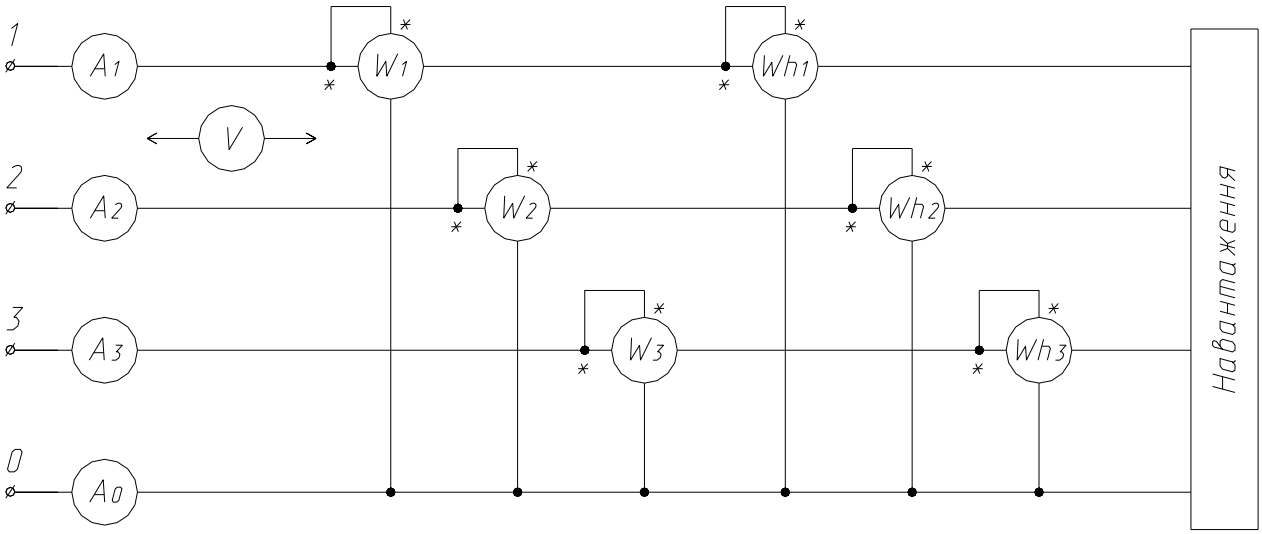


Рисунок 7.1. – Схема чотирьохпровідного кола

$$P = C_{w1} \cdot N_{w1} + C_{w2} \cdot N_{w2} + C_{w3} \cdot N_{w3} \qquad (7.3)$$

де Cw_1 , Cw_2 , Cw_3 – сталі ватметрів; Nw_1 , Nw_2 , Nw_3 – відлік за шкалою кожного ватметра.

Якщо ватметри мають однакову сталу, то

$$P = C_{w1} \cdot (N_{w1} + N_{w2} + N_{w3}) \qquad (7.4)$$

Витрату активної енергії за час t знайти за формулою

$$W_a = C_{ном} \cdot (N_1 + N_2 + N_3) \qquad (7.5)$$

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

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

Відносна похибка лічильника

$$\delta_w = \frac{C_{ном} - C}{C} \cdot 100 \qquad (7.6)$$

де C – дійсна стала лічильника.

Дійсна стала лічильника

$$C = \frac{P_1 \cdot t}{N} \qquad (7.7)$$

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

Поріг чутливості S лічильника

$$S = \frac{P_{мін}}{P_{ном}} \cdot 100 \qquad (7.8)$$

$P_{мін}$ – 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

$$P = C_w \cdot K_I \cdot K_U \cdot \left(K_{w1} + K_{w2} + K_{w3}\right) \qquad (7.9)$$

$$W_a = C_{ном} \cdot K_I \cdot K_U \cdot \left(N_1 + N_2 + N_3\right) \qquad (7.10)$$

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

7.2.2. Вимір активної потужності та енергії у трифазних колах

Наведена вище схема (рис. 7.1) 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

$$P = 3 \cdot C_w \cdot N_w \qquad (7.11)$$

$$W_a = 3 \cdot C_{ном} \cdot N \qquad (7.12)$$

У трипровідних колах при нерівномірному і рівномірному навантаженні фаз для виміру активний 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. 7.2 наведена схема включення ватметра і лічильників для виміру активної потужності і енергії в трипровідних колах. У даному випадку активну потужність трифазного кола можна представить у вигляді

$$P = P_1 + P_2 = U_{13} \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 + U_{23} \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 \qquad (7.13)$$

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

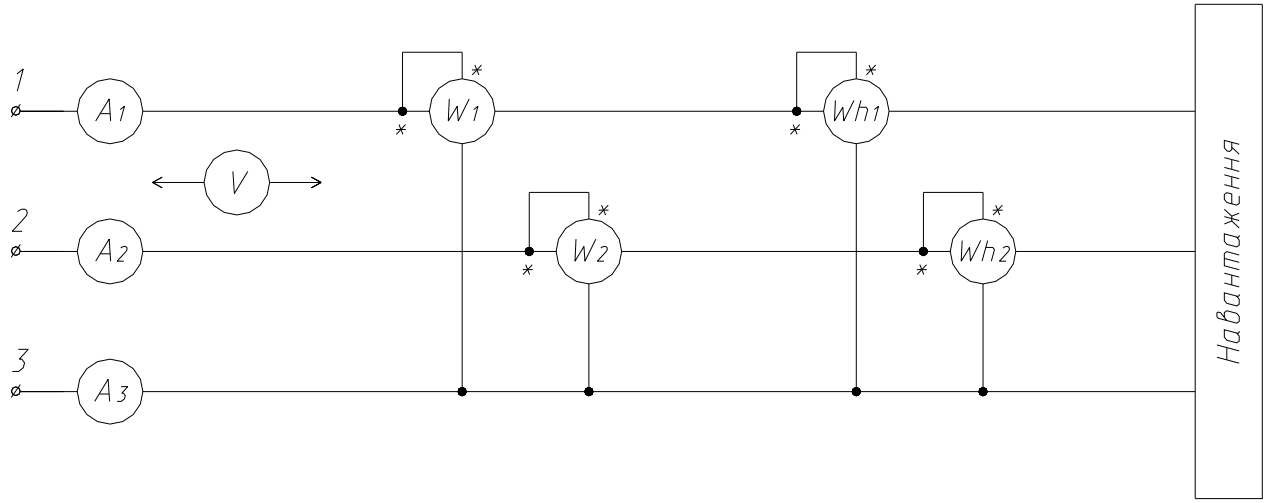


Рисунок 7.2. – Схема трипровідного кола

Треба помітити, що в залежності від характеру навантаження один з кутів φ_1 або φ_2 може бути більше 90^0. У цьому випадку покажчик відповідного ватметра відхилиться вліво від нуля; щоб одержати відлік, необхідно виміряти 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

$$W_a = W_{h1} + W_{h2} = C_{ном} \cdot (\mathrm{N}_1 + \mathrm{N}_2) \qquad (7.14)$$

Крім схеми (рис. 7.2) 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 (7.13) і (7.14), потрібно помножити на коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів.

7.2.3. 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 реактивній

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. 7.3.

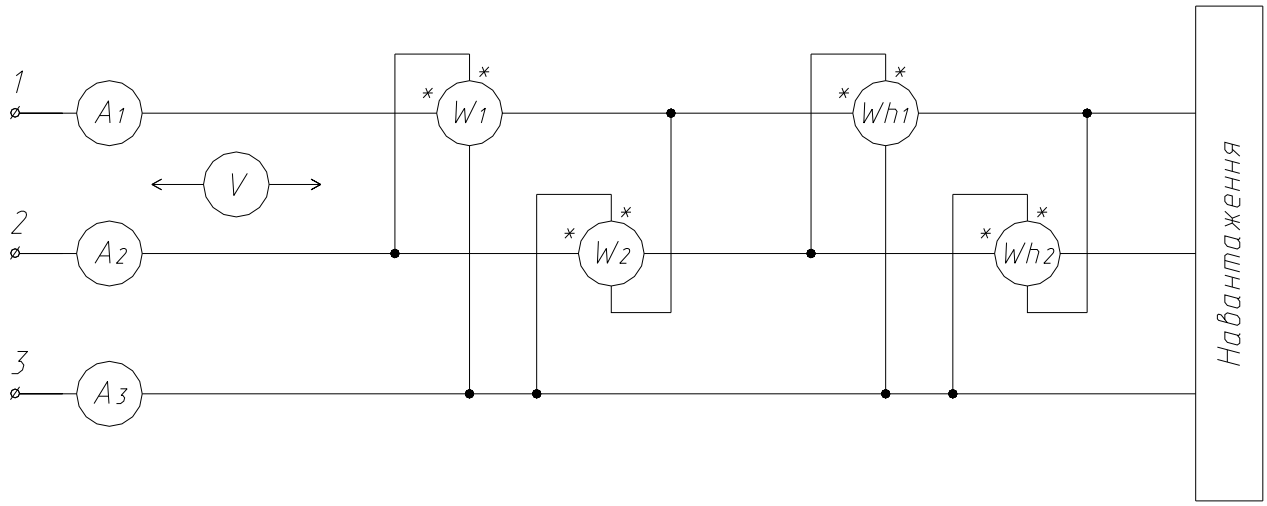


Рисунок 7.3.

Струмові 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

$$Q = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (P_1 + P_2) \qquad (7.15)$$

Реактивна енергія

$$W_p = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (W_{h1} + W_{h2}) = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot C_{ном} \cdot (N_1 + N_2) \qquad (7.16)$$

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. 7.4.

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

$$Q = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\sqrt{3}} \qquad (7.17)$$

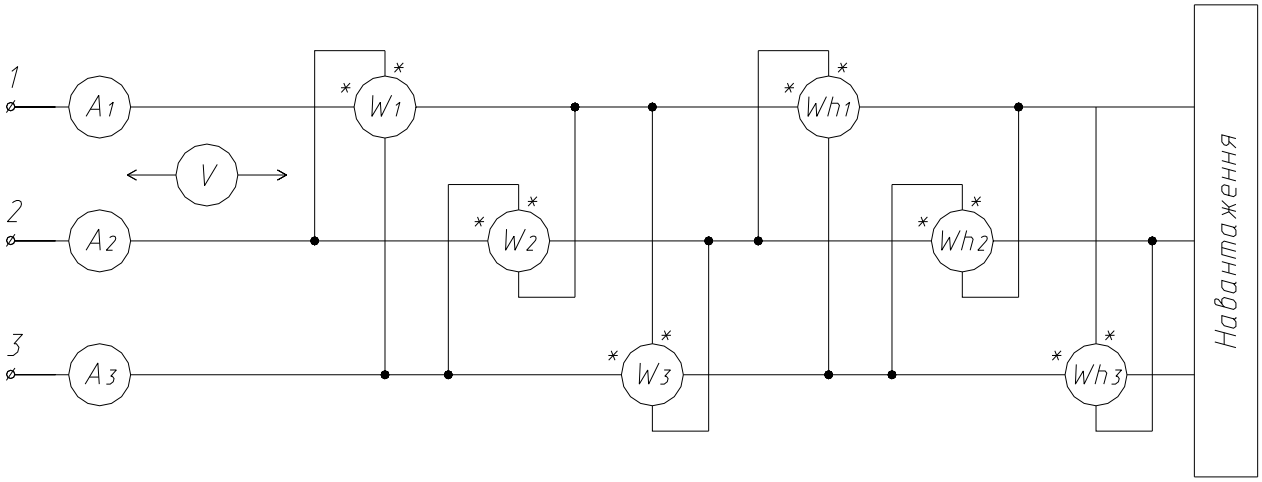


Рисунок 7.4.

Реактивна енергія

$$W_p = \frac{W_{h1} + W_{h2} + W_{h3}}{\sqrt{3}} = \frac{C_{ном} \cdot (N_1 + N_2 + N_3)}{\sqrt{3}} \qquad (7.18)$$

7.2.4. 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

$$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I} \qquad (7.19)$$

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

Для симетричного трифазного кола

$$\cos\varphi = \frac{P}{3 \cdot U_ф \cdot I_ф} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_л \cdot I_л} \qquad (7.20)$$

де P, $U_ф$, $U_л$, $I_ф$, $I_л$ – вимірювані значення потужності, напруг і струмів.

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

$$\lambda = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \qquad (7.21)$$

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

$$\lambda_{cp} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}} \qquad (7.22)$$

7.3. 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. 7.1) для виміру активної потужності і енергії в трифазному чотирипровідному колі.
4. Встановити за показами амперметрів симетричне активне навантаження фаз. Для одного з лічильників виміряти час, за який диск зробить п'ять обертів. Результати спостережень у цьому і наступних дослідженнях занести до табл. 7.1.
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. Виміряти 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. 7.4. 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. 7.2) 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. 7.1.
11. За результатами вимірів і обчислень для дослідів 2, 3, 5, 6 побудувати векторні діаграми.

Таблиця 7.1. -

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	ВА

7.4. 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.

7.5. 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.

ПРАВИЛА З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які пройшли інструктаж з правил техніки безпеки і освоїли основні правила безпечної роботи з електричними установками напругою до 1000 В із записом про це в спеціальному журналі.

Значення напруги, якими студент оперує при аналізі кіл, не становлять небезпеки для життя людини. Усі джерела живлення мають захист від перевантажень. Однак з огляду на те, що все обладнання лабораторії підключене до живильної мережі 220 В, слід дотримуватися таких правил безпеки:

1. При роботі зі стендами забороняється:
- доторкатися до труб опалювальної системи;
- самостійно включати схеми під напругою;
- відключати заземлення вимірювальних приладів;
- захаращувати робоче місце сумками, одягом і т.п.;
- переходити з одного робочого місця на інше, залишати без нагляду схему, що знаходиться під напругою.
2. При виявленні несправності використовуваного обладнання, а також при виникненні будь-яких відхилень у роботі кола негайно відключити схему від джерела живлення і сповістити про це викладачеві.
3. При наявності в схемі конденсаторів треба при відключенні схеми від джерела живлення розряджати їх шляхом короткого замикання ізольованих проводом затискачів конденсатора.
4. По закінченні роботи виключити живлення стенда і вимірювальних приладів.
5. Якщо в лабораторії стався нещасний випадок, негайно відключити живлення лабораторії, надати потерпілому першу допомогу і повідомити про те, що трапилося, викладачеві.

Ірина Миколаївна Лаппо
Світлана Олександрівна Вірич
Тетяна Володимирівна Горячева

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни
«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»

(для студентів навчального напряму «Електромеханіка»)
Українською мовою

Підписано до друку 10.03.2010. Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 2.4.
Друк лазерний. Замовлення № 24/11. Тираж 25 прим.

Надруковано в Видавничому центрі КІІ ДВНЗ „ДонНТУ”