

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



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисциплін

«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАНЬ»
I
«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ»

(для студентів денної та заочної форм навчання
напрямів підготовки
6.050701 – «Електротехніка та електротехнології»
і 6.050702 – "Електромеханіка")

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

Укладачі: доц., к.т.н Д. В. Тугай,
доц., к.т.н. Я. Б. Форкун,
доц., к.т.н. О. В. Дорохов

Рецензент: д.т.н., проф. А. Г. Сосков

Рекомендовано кафедрою теоретичної та загальної електротехніки,
протокол № 7 від 17.02. 2011 р.

ВСТУП

Розвиток науки і техніки завжди був пов'язаний з прогресом в області вимірювань. У фізиці, механіці та інших науках вимірювання дозволили точно встановити залежності, що виражають об'єктивні закони природи, тому ці науки називаються точними. Метрологія – це наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності й досягнення необхідної точності.

Сучасний інженер електротехнічного напрямку підготовки повинен не тільки вміти користуватися засобами вимірювань електричних і магнітних величин, а ще й володіти методикою їх проведення.

Лабораторні роботи з дисциплін «Основи метрології та електровимірювань» та «Основи метрології та електричних вимірювань» охоплюють основні положення названих курсів і призначені для набуття практичних навичок користування електровимірювальним обладнанням, освоєння методики розрахунку похибок вимірювання і обробки результатів експериментів, проведення перевірки вимірювальних приладів, використання вимірювальних перетворювачів та ін.

Методичні вказівки підготовлені на основі робочих програм дисциплін «Основи метрології та електровимірювань» і «Основи метрології та електричних вимірювань» й призначені для студентів 2–3 курсів, що навчаються за напрямками підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» і 6.050702 – «Електромеханіка».

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторні роботи студенти виконують у складі бригади (3-4 студента).

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен ознайомитись з її змістом, вивчити теоретичний матеріал за підручником, усвідомити цілі та завдання, які 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 має чітко усвідомлювати обсяг, характер і порядок виконання роботи.

Включати напругу на панелі живлення лабораторного стенда можна тільки після перевірки викладачем зібраного електричного кола. 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 мета лабораторної роботи;*
- *зведені до таблиці технічні і метрологічні характеристики приладів, що використовувались у лабораторній роботі;*
- *принципові схеми електричних кіл;*
- *таблиці вимірювань, розрахункові формули і приклади розрахунків за наведеними формулами;*
- *графіки і векторні діаграми;*
- *короткі висновки з роботи.*

Звіт про лабораторну роботу виконується у структурованій формі, яка відображає послідовне представлення електричних схем, таблиць, розрахунків, графіків, векторних діаграм у порядку виконання опитів роботи.

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

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

ПРАВИЛА З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

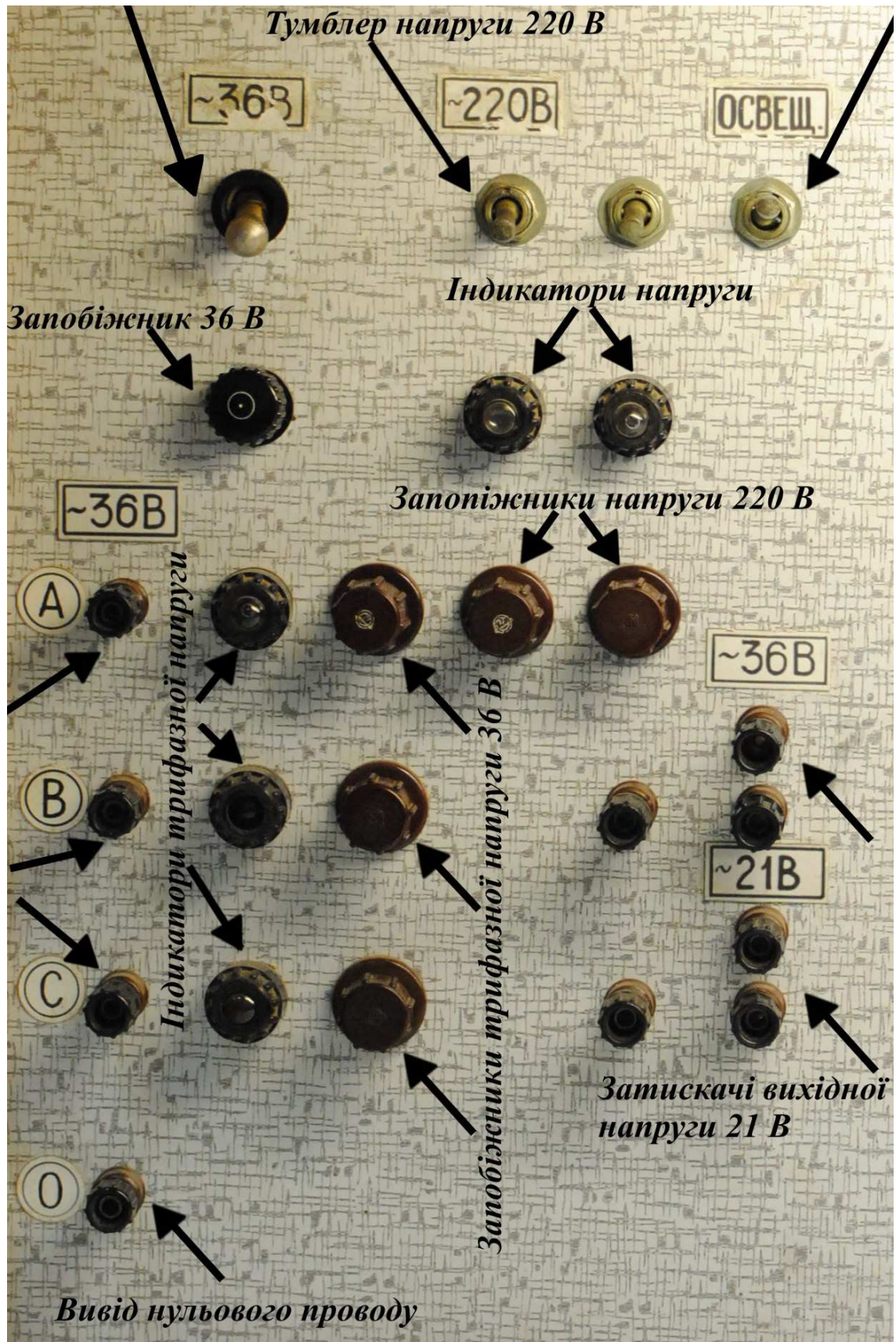
До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які пройшли інструктаж з правил техніки безпеки та освоїли основні правила безпечної роботи з електричними установками напругою до 1000 В із записом про це в спеціальному журналі.

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:

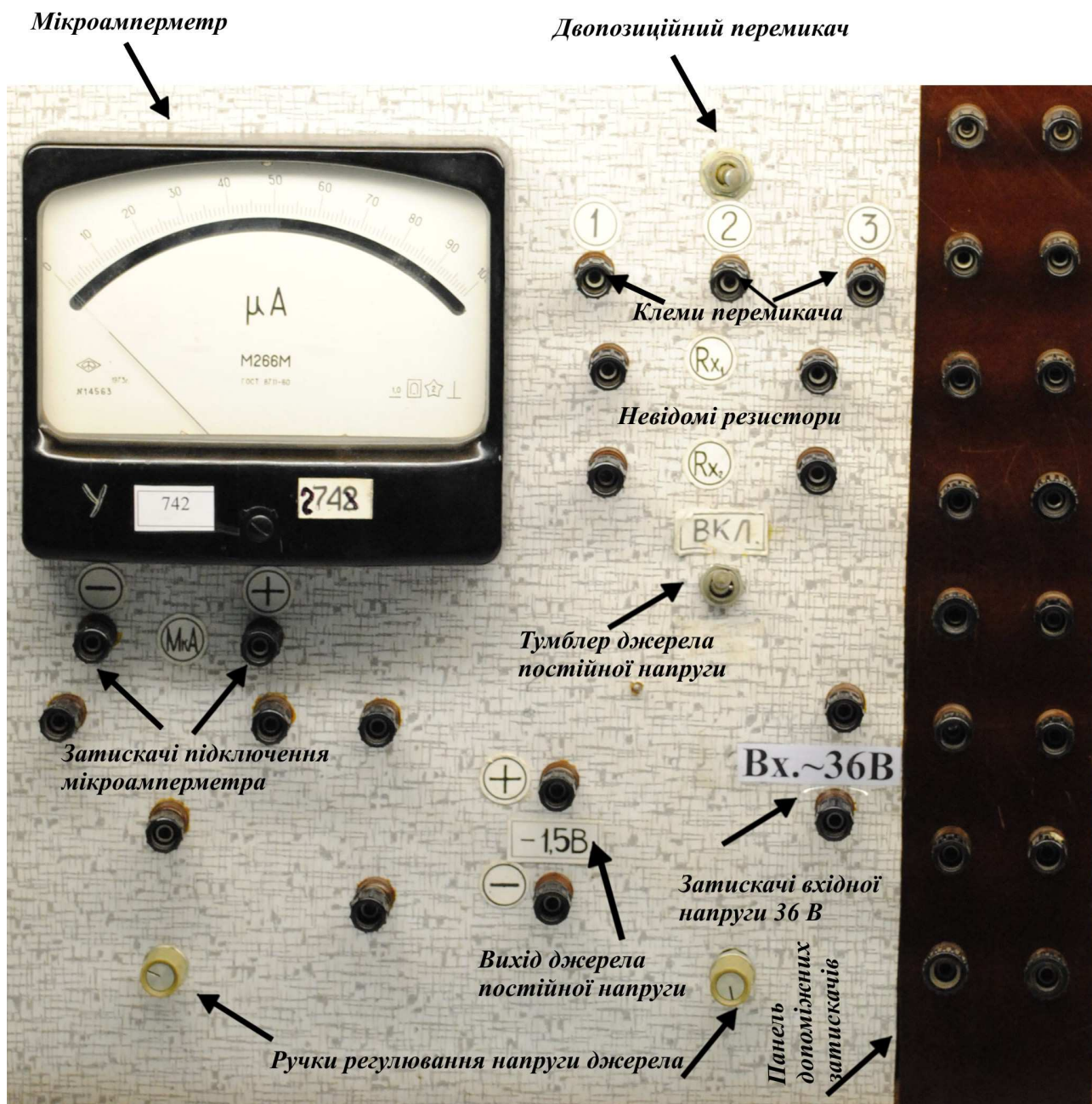
1. При роботі зі стендами забороняється:
 - доторкатися до труб опалювальної системи;
 - самотійно включати схеми під напругою;
 - відключати заземлення вимірювальних приладів;
 - захаращувати робоче місце сумками, одягом і т.п.;
 - переходити з одного робочого місця на інше, залишати без нагляду схему, що знаходиться під напругою.
2. При виявленні несправності використаного 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 після відключення схеми від джерела живлення розряджати їх шляхом короткого замикання ізольованим 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.

КОМПОНУВАННЯ ПАНЕЛЕЙ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ

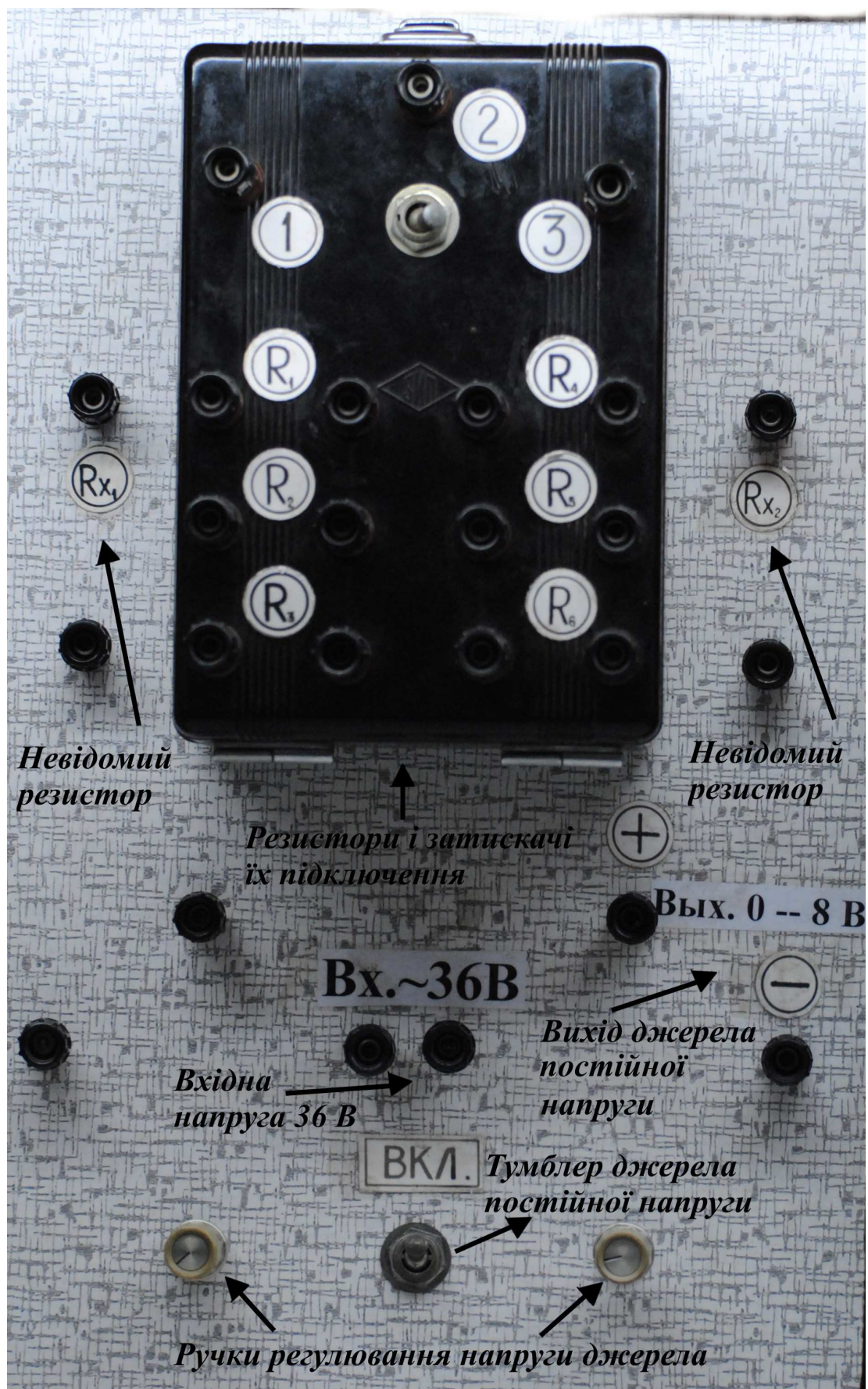
ПАНЕЛЬ 1 (ПАНЕЛЬ ЖИВЛЕННЯ)



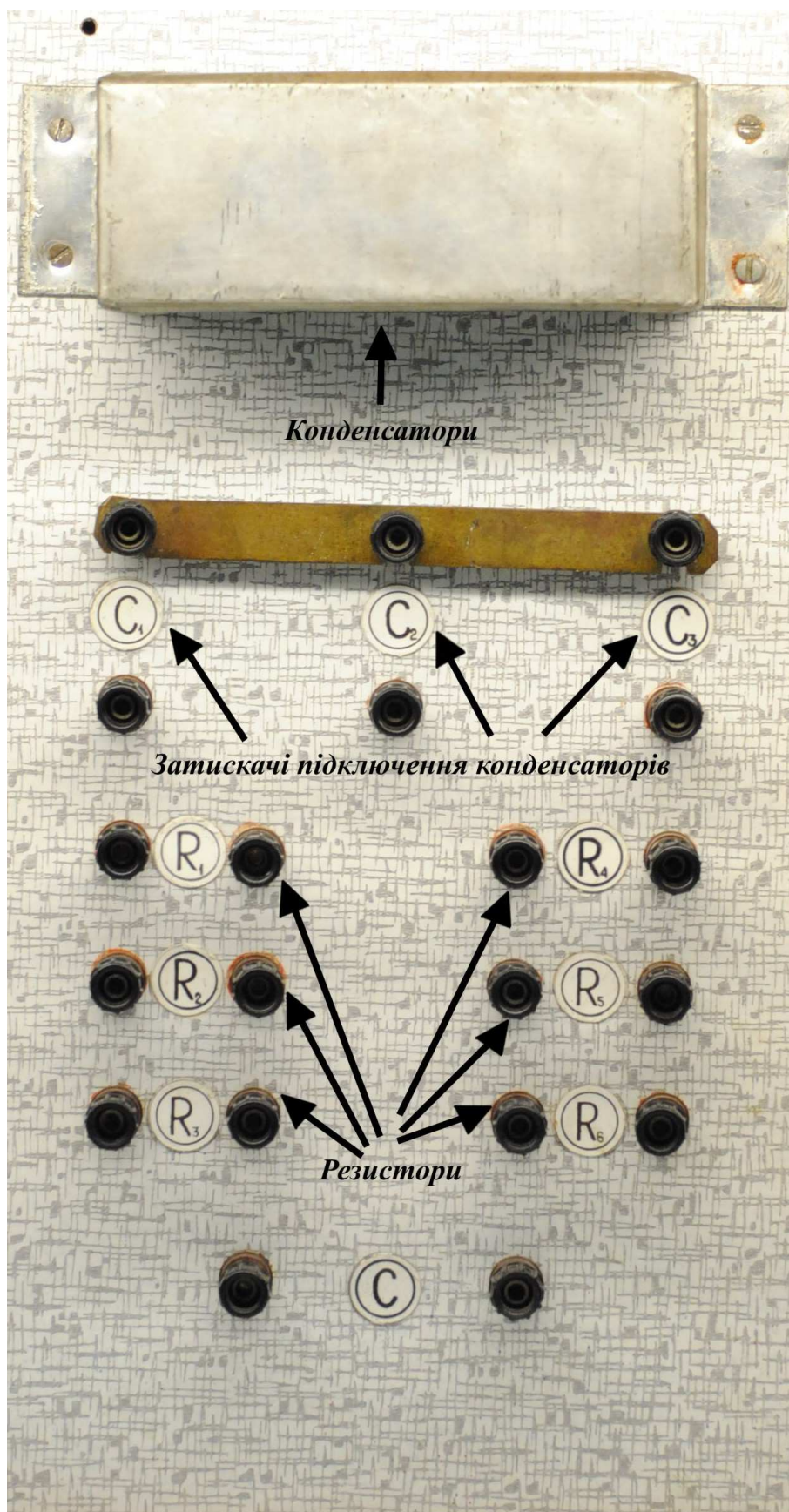
ПАНЕЛЬ 2 (ПАНЕЛЬ ЖИВЛЕНИЯ)



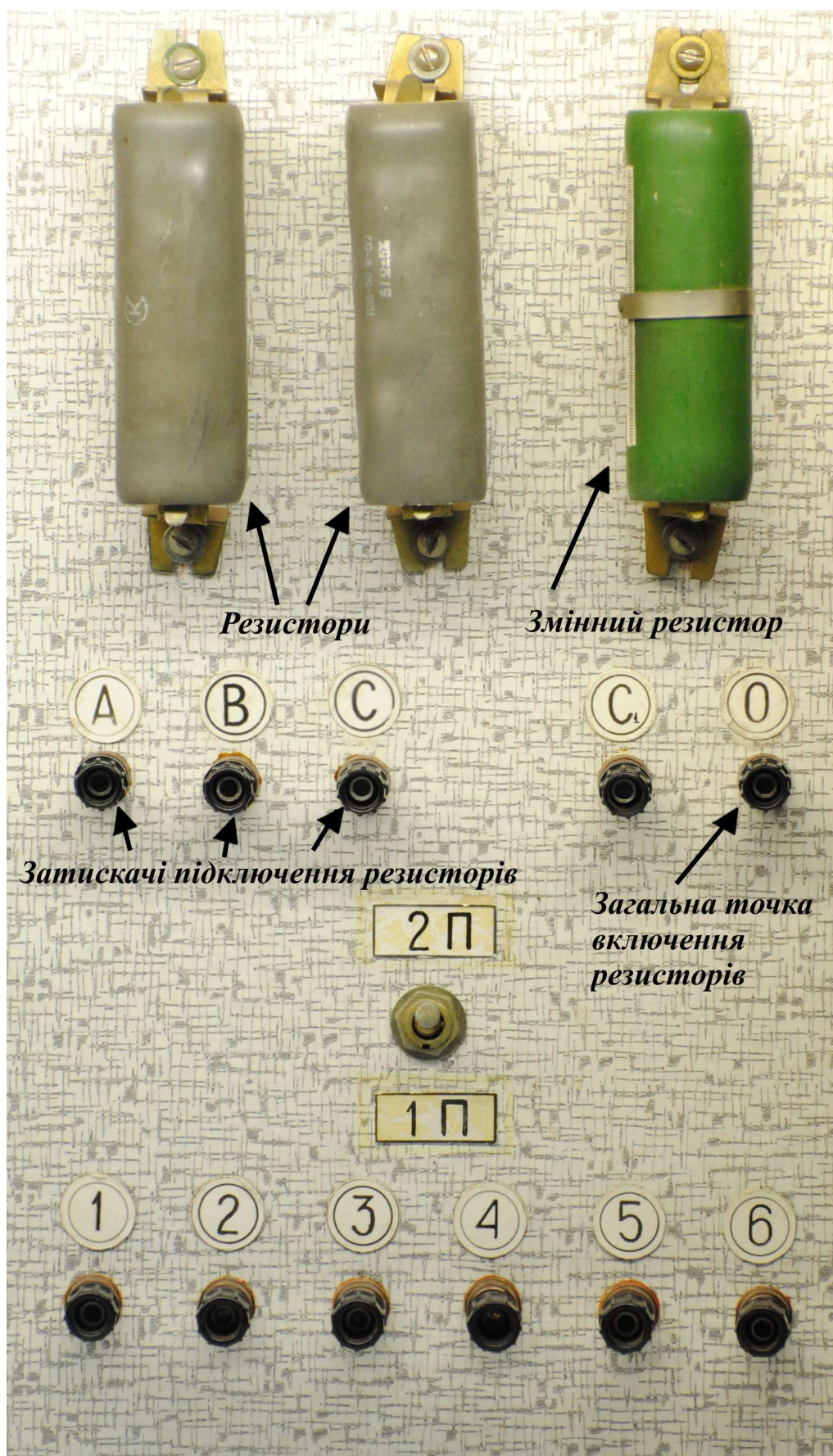
ПАНЕЛЬ 3
(КОМБІНОВАНА ПАНЕЛЬ ЖИВЛЕННЯ І ПАСИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ)



ПАНЕЛЬ 4 (ПАНЕЛЬ ПАСИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ)



ПАНЕЛЬ 5 (ПАНЕЛЬ ПАСИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ)



ПАНЕЛЬ 6 (ПАНЕЛЬ ПАСИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ)



Затискачі
підключення
до вольтметра

Затискачі
підключення
до блоку конденсаторів

Затискачі
підключення
до мікроамперметра

Лабораторна робота № 1

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

1.1. Лабораторне обладнання і електровимірювальні прилади

Панелі стенду 1 та 4, лабораторний автотрансформатор (ЛАТР), вимірювальний комплект К540.

1.2. Ціль роботи

Набути практичних навичок роботи з вимірювальним комплектом К540; освоїти методику обробки результатів прямих і непрямих вимірювань опору; навчитися подавати результати вимірювань відповідно до ГОСТ 8.01–72.

1.3. Загальні відомості

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

Абсолютна похибка:

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

де X – показання приладу або результат вимірювання; 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 вимірювань (верхня межа) або номінальному значенню вимірюваної величини.

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

Відносна похибка вимірювання 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 вимірювань 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 γ_I , γ_U , γ_P – клас точності відповідного приладу; I_H , U_H , P_H – кінцевий діапазон вимірювання величини; I , U , P – вимірюване значення величини.

При непрямих вимірюваннях 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 вимірювання 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. Розрізняють систематичні похибки, що можуть бути враховані та виключені з результатів вимірювань, і випадкові, які не можуть бути виключені з результатів вимірювань, але їх можна зменшити застосуван-

ням методів теорії імовірності й математичної статистики при обробці результатів вимірювань.

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

1.4. Порядок виконання роботи

1.4.1. Ознайомитися з електромагнітними вольтметром і амперметром, що входять до складу вимірювального комплексу К540. Виписати технічні і метрологічні характеристики приладів і занести їх до табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні та метрологічні характеристики приладів

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

1.4.2. Вивчити порядок роботи з вимірювальним комплектом К540.

1.4.3. Зібрати електричне коло за монтажною схемою (рис. 1.1, а). Переконатися, що на вимірювальному комплекті встановлені межі вимірювання за напругою 30 В (натиснута кнопка 30), а за струмом 1 А (перемичка на 1).

В якості джерела живлення використовувати лабораторний автотрансформатор, а в якості опору R_x – два резистора з **панелі 5 стенду**, з'єднаних паралельно. Для цього клеми *A* і *B* з'єднують перемичкою і підключаються проводами з виходу вимірювального комплексу до клем *A* і *O* **панелі 5** (див. рис. 1.1, а). Після перевірки зібраного кола викладачем зняти 15 показів вольтметра на вході й виході вимірювального комплексу, регулюючи величину струму за амперметром від 0,2 до 0,9 А, як зазначено у табл. 1.2. Струм змінювати лабораторним автотрансформатором. Перемикання між входом і виходом вимірювального комплексу здійснювати кнопками $U_f \downarrow$ (вхід) і $U_f \uparrow$ (вихід).

1.4.4. Результати спостережень занести до табл. 1.2. і виключити з них систематичні та грубі похибки, внаслідок чого отримаємо виправлені спостереження, з якими будемо проводити подальші операції.

1.4.5. Цифровим вольтметром В7-27 зробити прямий замір опору R_x .

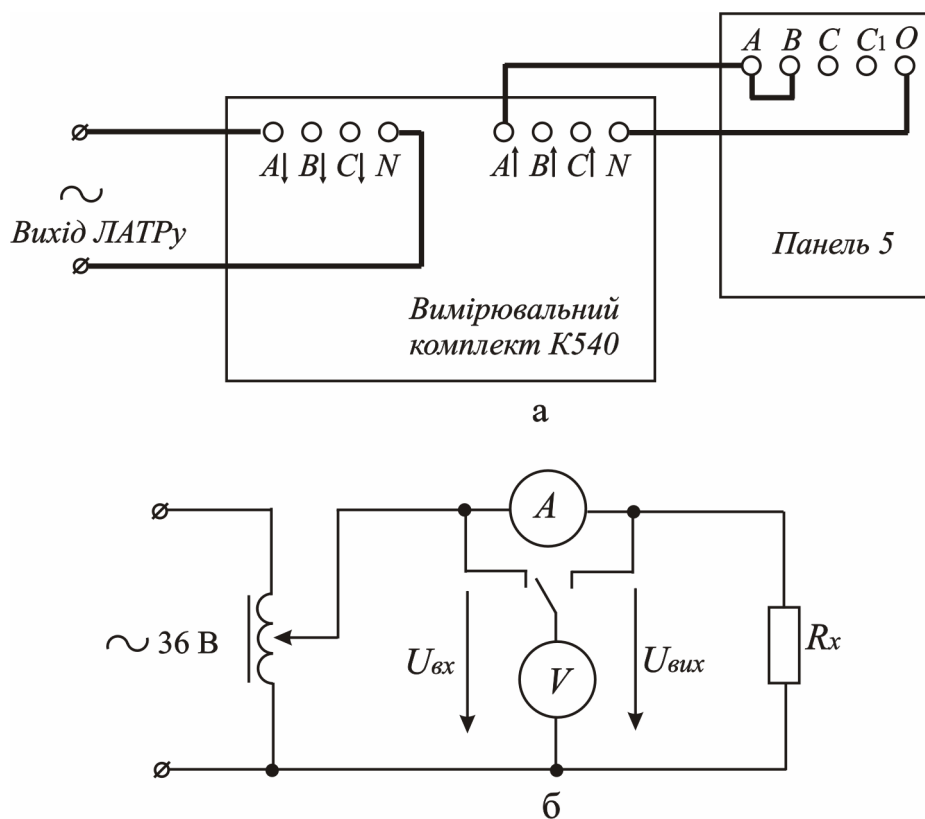


Рис. 1.1 – Схеми вимірювальної установки
а – монтажна; б – електрична принципова

Таблиця 1.2 – Обробка результатів вимірювань

Номер спостереження	Результати вимірювань			Результати розрахунків						
	I_i	U_{iex}	$U_{iвix}$	R_{iex}	$R_{iвix}$	δI	δU_{ex}	$\delta U_{вix}$	δR_{ex}	$\delta R_{вix}$
	А	В	В	Ом	Ом	%	%	%	%	%
1	0,2									
2	0,25									
3	0,3									
4	0,35									
5	0,4									
6	0,45									
7	0,5									
8	0,55									
9	0,6									
10	0,65									
11	0,7									
12	0,75									
13	0,8									
14	0,85									
15	0,9									

Таблиця 1.3 – До розрахунку середнього квадратичного відхилення

Номер спостереження	$R_i, \text{Ом}$		$(R_i - \bar{R}), \text{Ом}$		$(R_i - \bar{R})^2, \text{Ом}^2$	
	$R_{i\text{вх}}$	$R_{i\text{вих}}$	вхід	вихід	вхід	вихід
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
	$\frac{\sum R_i}{15} = \bar{R}$				$\Sigma =$	

1.5. Обробка результатів експериментів

За результатами спостережень необхідно виконати такі операції:

1.5.1. Використовуючи формули (1.5); (1.6); (1.11); (1.8), обчислити відносні похибки вимірювань струму, напруги і опору, а також значення вимірюваного опору. Результати розрахунків занести до табл. 1.2, 1.3.

1.5.2. Визначити середнє арифметичне результатів спостережень, що буде точковою оцінкою дійсного значення вимірюваної величини:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R}{n} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_i + \dots + R_n}{n}. \quad (1.14)$$

1.5.3. Обчислити середнє квадратичне відхилення результатів окремих спостережень:

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

де n – число спостережень; R_i – окреме спостереження вимірювання опору.

1.5.4. Визначити середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань:

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

1.5.5. Визначити довірчий симетричний інтервал, в який із заданою ймовірністю P попадає дійсне значення вимірюваної величини:

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

де $t_{p,n-1}$ – коефіцієнт Стюдента, який знаходять з табл. 4 залежно від довірчої ймовірності P і числа ступенів свободи $(n - 1)$. За формулою (1.17) визначити довірчий інтервал ΔR при заданій ймовірності $p = 0,95$.

1.5.6. Записати результат обчислень у вигляді: $R = \bar{R} \pm \Delta R$ (1.18)

1.5.7. Побудувати графіки залежностей:

$$\delta_I = f(I);$$

$$\delta_{U_{ex}} = f(I), \delta_{U_{вих}} = f(I) - \text{в одній системі координат};$$

$$\delta_{R_{ex}} = f(I), \delta_{R_{вих}} = f(I) - \text{в одній системі координат}.$$

Проаналізувати і пояснити отримані результати.

1.5.8. Порівняти результати обробки експериментальних даних прямих і непрямих вимірювань опору резистора.

Таблиця 1.4 – значення коефіцієнта Стюдента

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

Контрольні запитання

1. Наведіть позначення та одиниці вимірювань електричних і магнітних величин.
2. Охарактеризуйте прямі, непрямі й сукупні вимірювання.
3. Охарактеризуйте методи вимірювань.
4. Дайте визначення засобів вимірювань та наведіть їх класифікацію.
5. Дайте визначення абсолютної, відносної і приведеної похибок.
6. Поясніть, як визначають відносні похибки вимірювань струму, напруги і потужності.
7. Поясніть, в чому полягає порядок обробки результатів прямих та непрямих вимірювань.

Лабораторна робота № 2

ПОВІРКА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

2.1. Лабораторне обладнання і електровимірювальні прилади

Панелі лабораторного стенду 1, 2 і 3, ЛАТР, вольтметр Э540 (або Э59), ампервольтметр Ц20, вольтметр В7-27 (або Ф548), міліамперметр М45М.

2.2. Ціль роботи

Набути навичок проведення повірки електровимірювальних приладів; вивчити принцип дії і будову потенціометра постійного струму; навчитися вимірювати струм, опір і потужність потенціометром.

2.3. Загальні відомості

Якість електровимірювальних приладів визначають рядом характеристик. Найбільш важливі з них: варіації показів і похибки приладу (клас точності), чутливість і стала приладу (ціна поділки), час встановлення показів 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 вимірювання зразкового і повірюваних приладів повинні бути однаковими або відрізнятись не більше ніж на 25 %;
- варіація показів зразкового приладу не повинна перевищувати похибку, що допускається;
- при повірці приладів на постійному струмі в якості зразкових рекомендовано застосовувати магнітоелектричні прилади.

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

Таблиця 2.1 – Вибір класу точності зразкового приладу

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 зазвичай здійснюється методами: *звіряння і компенсаційним на постійному струмі*.

Метод звіряння полягає в одночасному вимірюванні величин приладом, що повіряється, і зразковим приладом, а також в порівнянні їх показів. За дійсні

значення вимірюваної величини приймають покази зразкового приладу.

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

Принципова схема потенціометра наведена на рис. 2.1.

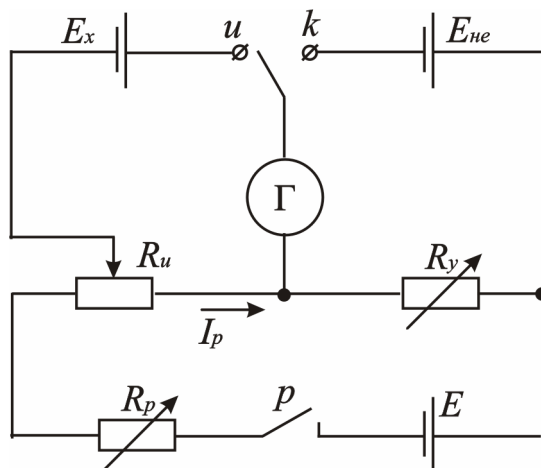


Рис. 2.1 – Принципова схема потенціометра

Потенціометри відносяться до приладів порівняння і служать для вимірювань напруги або ЕРС. Вони забезпечують найбільшу точність вимірювань, їх похибка не перевищує $\pm(0,01-0,02)\%$.

В основу принципу дії потенціометра покладений компенсаційний метод, що полягає в урівноваженні 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_n і R_p і допоміжного джерела енергії E .

При вимірюванні невідомої ЕРС E_x її необхідно підключити через високочутливий гальванометр Γ паралельно змінному опору R_U (перемикач встановити в положення u). Змінюючи опір R_U , домагаються відсутності струму в ділянці вимірюваної ЕРС. При відсутності струму одержимо:

$$E_x = I_p \cdot R_u', \quad (2.1)$$

де I_p – робочий струм потенціометра; R_u' – частина опору, спадання напруги, на якому врівноважується ЕРС E_x .

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

Змінюючи опір R_p та R_y , домагаються відсутності струму в ділянці з E_{ne} . При відсутності струму отримуємо:

$$E_{ne} = I_p \cdot R_y, \quad (2.2)$$

Звідси:

$$I_p = \frac{E_{ne}}{R_y}. \quad (2.3)$$

Тоді:

$$E_x = E_{ne} \cdot \frac{R'_u}{R_y}. \quad (2.4)$$

При значеннях E_{ne} , 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 вимірювань напруги, як показано на рис. 2.2.

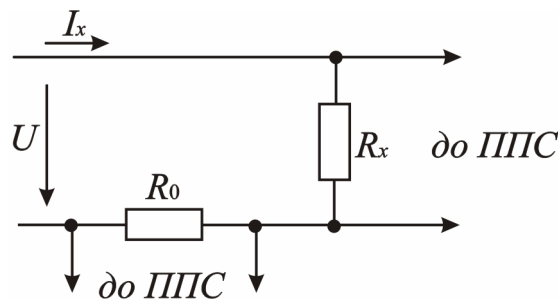


Рис. 2.2 – Непрямі вимірювання струму або опору

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

Струм, опір і потужність визначають за формулами:

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

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

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

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 приладу, що повіряється, і зразкового приладу:

$$\Delta = X - X_{\partial}. \quad (2.8)$$

Приведена основна похибка визначається як відношення абсолютної похибки до верхньої межі вимірювань приладу X_H :

$$\gamma = \frac{100 \cdot \Delta}{X_H}. \quad (2.9)$$

Клас точності приладу визначається за найбільшою основною приведеною похибкою.

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

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

Для зменшення похибок при внесенні поправок останні визначаються як середні арифметичні з двох вимірювань при зростанні $X_{зр}$ і зменшенні $X_{зм}$ вимірюваної величини.

Варіація показів 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 вимірювань приладу:

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

Варіація показів приладу не повинна перевищувати значення основної припустимої похибки.

2.4. Порядок виконання роботи

2.4.1. Ознайомитися з вимірювальними приладами і обладнанням. Занести до табл. 1.1 технічні й метрологічні характеристики приладів.

2.4.2. Зібрати схему для повірки вольтметра (рис. 2.3). В якості джерела живлення використовувати лабораторний автотрансформатор. Як прилад, що повіряється V_x , використовувати тестер Ц20 з верхньою межею $U_H = 30$ В (або інший вольтметр з низьким класом точності), як зразковий прилад V_0 викорис-

товувати електромагнітний вольтметр Э540 (або Э59) з верхньою межею вимірювання 30 В.

2.4.3. Після перевірки схеми викладачем включити тумблер живлення «36 В» і, користуючись лабораторним трансформатором, змінювати напругу так, щоб стрілка приладу, що перевіряється, установлювалася по чергово на кожній числовій відмітці (згідно табл. 2.2) при зростанні й зменшенні напруги. Стрілка вольтметра, що перевіряється, повинна підходити до тієї або іншої поділки з одного боку. Результати вимірювань занести до табл. 2.2.

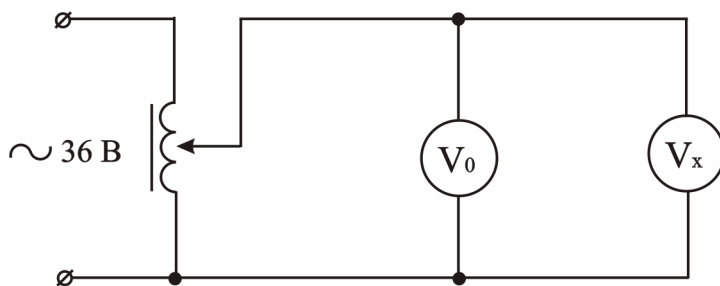


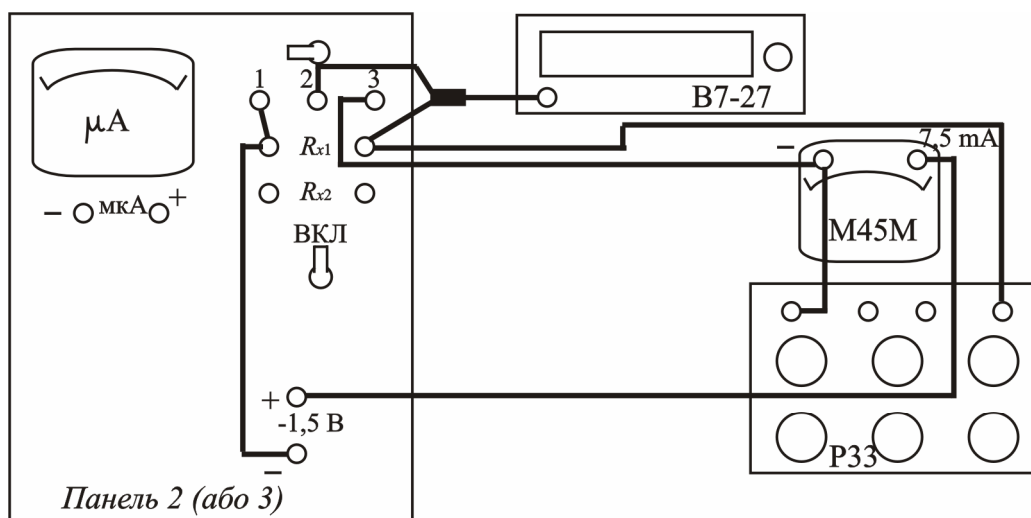
Рис. 2.3 – Електрична схема повірки вольтметра

Таблиця 2.2 – До повірки вольтметра

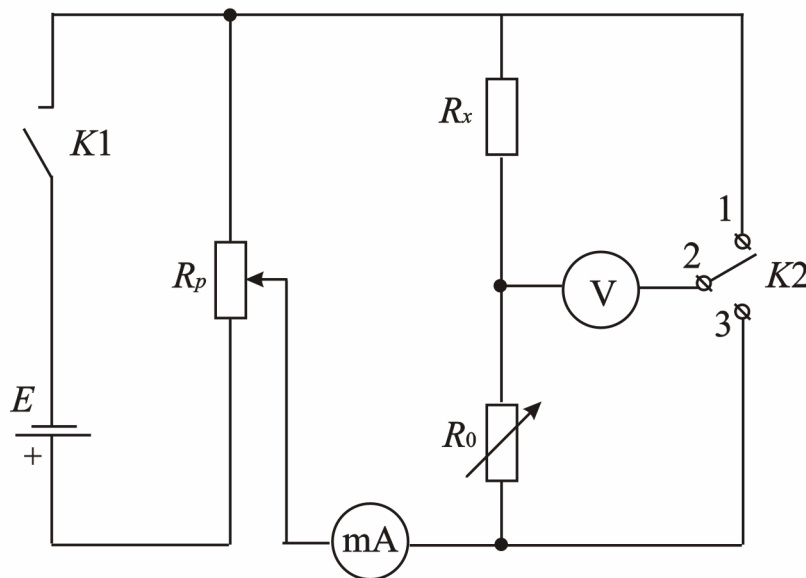
Результати вимірювань			Результати розрахунків				
Покази приладу, що повіряється (вольтметра)	Покази зразкового приладу (вольтметра)		Абсолютна похибка		Поправка	Основна приведена похибка	Варіація показів
U_x	$\uparrow U_0$	$\downarrow U_0$	$\uparrow \Delta U$	$\downarrow \Delta U$	β_{cp}	γ	B
В	В	В	В	В	В	%	%
5							
10							
15							
20							
25							
30							

2.4.4. Зібрати схему для повірки міліамперметра (рис. 2.4, а). В якості джерела живлення використовувати джерело постійної напруги «-1,5 В» з **панелі стенду 2 або 3**. Як прилад, що повіряється, використовувати магнітоелектричний міліамперметр М45М з верхньою межею $I_H = 7,5$ мА. Як зразковий прилад використовувати електронний вольтметр Ф548 або цифровий вольтметр В7-27. Опір R_x – це невідомий опір R_{x1} або R_{x2} (за вказівкою викладача) з **панелі 2 або 3**, зразковий опір R_0 – магазин опорів Р33 (див. рис. 2.4, а). На магазині

опорів встановити опір 10 Ом. В якості двопозиційного перемикача використувати ключ із затискачами 1, 2, 3 (**панель 2 або 3**).



а



б

Рис. 2.4 – Повірка міліамперметра

а – монтажна схема; б – електрична принципова схема

2.4.5. Після перевірки схеми викладачем ввімкнути живлення 36 В, 220 В і тумблер джерела живлення постійної напруги «ВКЛ» на **панелі 2 або 3**. Двопозиційний перемикач повинен знаходитись в положенні 3.

2.4.6. Змінюючи опір R_p ручками регулювання (**панель 2 або 3**) встановлювати стрілку міліамперметра по чергово на всі числові поділки при збільшенні, а потім зменшенні струму згідно з табл. 2.3 і виміряти відповідні значення напруги на зразковому опорі.

2.4.7. Результати вимірювань занести до табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – До перевірки міліамперметра

Результати вимірювань			Результати обчислень							
Покази міліамперметра	Покази потенціометра		Зразковий опір	Дійсне значення струму		Абсолютна похибка		Поправка	Основна приведена похибка	Варіація показу приладу
I_x	$\uparrow U_0$	$\downarrow U_0$	R_0	$\uparrow I_0$	$\downarrow I_0$	$\uparrow \Delta I$	$\downarrow \Delta I$	β_{cp}	γ	B
мА	мВ	мВ	Ом	мА	мА	мА	мА	мА	%	%
1,5			10							
3,0			10							
4,5			10							
6,0			10							
7,5			10							

2.4.8. На підставі схеми рис. 2.4 для двох значень напруги U_0 (за вказівкою викладача) виміряти вольтметром напругу U_x . Для цього після встановлення відповідного значення напруги на зразковому опорі достатньо перевести двопозиційний перемикач у положення 1. Результати вимірювань занести до табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – До вимірювань струму, опору і потужності

Результати вимірювань		Результати розрахунків			
U_0	U_x	R_0	I_x	R_x	P_x
мВ	мВ	Ом	мА	Ом	мВт

2.5. Обробка результатів експериментів

2.5.1. На підставі даних табл. 2.2 розрахувати:

- абсолютні похибки вимірювань $\uparrow \downarrow \Delta U = U_x - \uparrow \downarrow U_0$;

- середню поправку вимірювань $\beta_{cp} = \frac{-(\uparrow \Delta U + \downarrow \Delta U)}{2}$;

- основну приведену похибку $\gamma = \frac{|\beta_{cp}|}{U_n} \cdot 100\%$;

- варіацію показів $B = \frac{(\uparrow U_0 - \downarrow U_0)}{U_n} \cdot 100\%$.

Результати розрахунків занести до табл. 2.2.

2.5.2. На підставі даних, отриманих з дослідження побудувати криву поправок $\beta_{cp} = f(U_x)$.

2.5.3. За знайденим значенням варіації показів оцінити якість вольтметра, визначити, до якого класу точності відноситься вольтметр, що повіряється, і чи відповідає він класу точності, позначеному на його шкалі.

2.5.4. На підставі експериментальних даних табл. 2.3 розрахувати:

- дійсне значення струму $\uparrow\downarrow I_0 = \frac{\uparrow\downarrow U_0}{R_0}$;
- абсолютну похибку вимірювання струму $\uparrow\downarrow \Delta I = I_x - \uparrow\downarrow I_0$;
- середню поправку $\beta_{cp} = \frac{-(\uparrow \Delta I + \downarrow \Delta I)}{2}$;
- основну приведену похибку $\gamma = \frac{100 \cdot |\beta_{cp}|}{I_n}$.
- варіацію показів $B = \frac{(\uparrow I_0 - \downarrow I_0)}{I_n} \cdot 100\%$.

Результати обчислень занести до табл. 2.3.

2.5.5. На підставі отриманих результатів зробити висновки щодо повірюваного міліамперметра, як це показано в п.2.5.4

2.5.6. Обчислити струм, опір і потужність за формулами (2.5) – (2.7) і занести результати до табл. 2.4.

Контрольні запитання

1. Назвати основні характеристики приладів, що показують, і дати їх визначення.
2. Дати визначення основним і додатковим похибкам вимірювальних приладів, варіації показів.
3. Вказати методи перевірки електровимірювальних приладів.
4. Перелічити вимоги до зразкових приладів.
5. Навести порядок повірки електровимірювальних приладів.
6. Пояснити будову і принцип дії потенціометра.
7. Пояснити, як проводять вимірювання струму, опору і потужності потенціометром.

Лабораторна робота № 3

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ СТРУМУ І НАПРУГИ

3.1. Лабораторне обладнання і електровимірювальні прилади

Панелі лабораторного стенду 1, 2, 3, 5 і 6, ЛАТР, магазин опорів РЗЗ, трансформатор струму УТТ-5 або УТТ-5М, мікроамперметр з панелі 2 або 6, міліамперметр М45М, вольтметр Э540 або Э59, вольтметр В7-27, амперметр Э59 або Э537, ватметр Д5065.

3.2. Ціль роботи

Набути навичок виконання розрахунку і практичного застосування шунтів і додаткових опорів для розширення меж вимірювань струму і напруги; а також практичного застосування вимірювальних трансформаторів для вимірювань змінного струму і напруги.

3.3. Загальні відомості

3.3.1. Шунти і додаткові опори

Шунти, застосовувані для розширення меж вимірювань вимірювального механізму за струмом, являють собою невеликий опір, виготовлений з манганіну, що має струмові затискачі для включення в коло і потенційні затискачі для приєднання вимірювального механізму приладу. Таке включення шунта усуває похибки від контактних опорів (рис. 3.1).

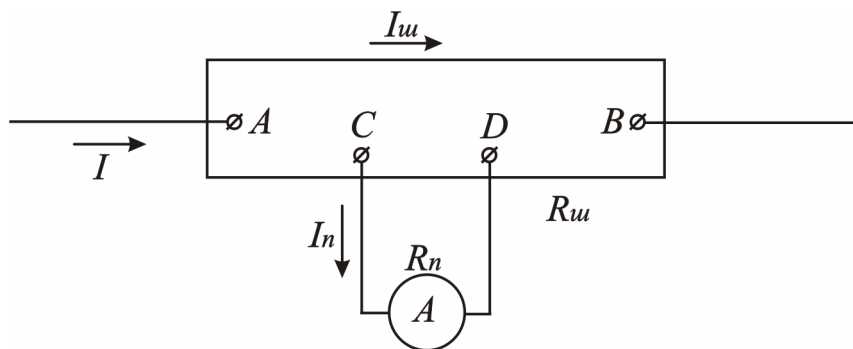


Рис. 3.1 – Схема включення шунта

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

$$I_n = I \cdot \frac{R_{ш}}{R_{ш} + R_n}; \quad (3.1)$$

$$p = \frac{I}{I_n} = \frac{R_n}{R_{ш}} + 1, \quad (3.2)$$

де p – коефіцієнт шунтування, що показує, у скільки разів вимірюваний струм біль-

ше струму приладу або в скільки разів розширюються межі вимірювань за струмом.

Коефіцієнт шунтування є незмінним при постійних значеннях R_n і $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{R_n}{p-1}. \quad (3.3)$$

За рівнянням (3.3) визначають величину опору шунта. Шунти бувають внутрішніми і зовнішніми і застосовують їх 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 вимірювань вольтметрів, виготовляють з манганінового дроту і включають послідовно з вимірювальним механізмом (рис. 3.2).

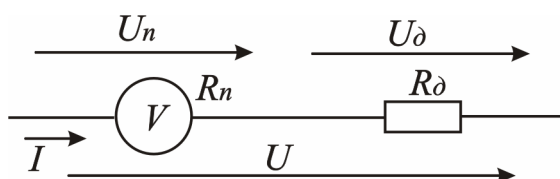


Рис. 3.2 – Схема включення додаткового опору

Якщо межу вимірювань напруги вольтметром треба розширити в $p = \frac{U}{U_n}$ разів, то:

$$U = U_n \cdot p = U_n + U_\delta = I_n \cdot (R_n + R_\delta), \quad (3.4)$$

звідси додатковий опір:

$$R_\delta = \frac{U_n \cdot p - I_n \cdot R_n}{I_n} = \frac{I_n \cdot R_n \cdot p - I_n \cdot R_n}{I_n}, \quad (3.5)$$

або:
$$R_\delta = R_n \cdot (p - 1). \quad (3.6)$$

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

Таблиця 3.1 – Класи точності шунтів і додаткових опорів

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

3.3.2. Вимірювальні трансформатори

Однофазні вимірювальні трансформатори являють собою осердя з листового магнітом'якого матеріалу з двома обмотками. Їх принцип дії заснований на використанні явища електромагнітної індукції. Основне призначення вимірювальних трансформаторів – це перетворення (зазвичай зменшення) значень ви-

мірюваних 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 поділяють на трансформатори струму і напруги (рис. 3.3).

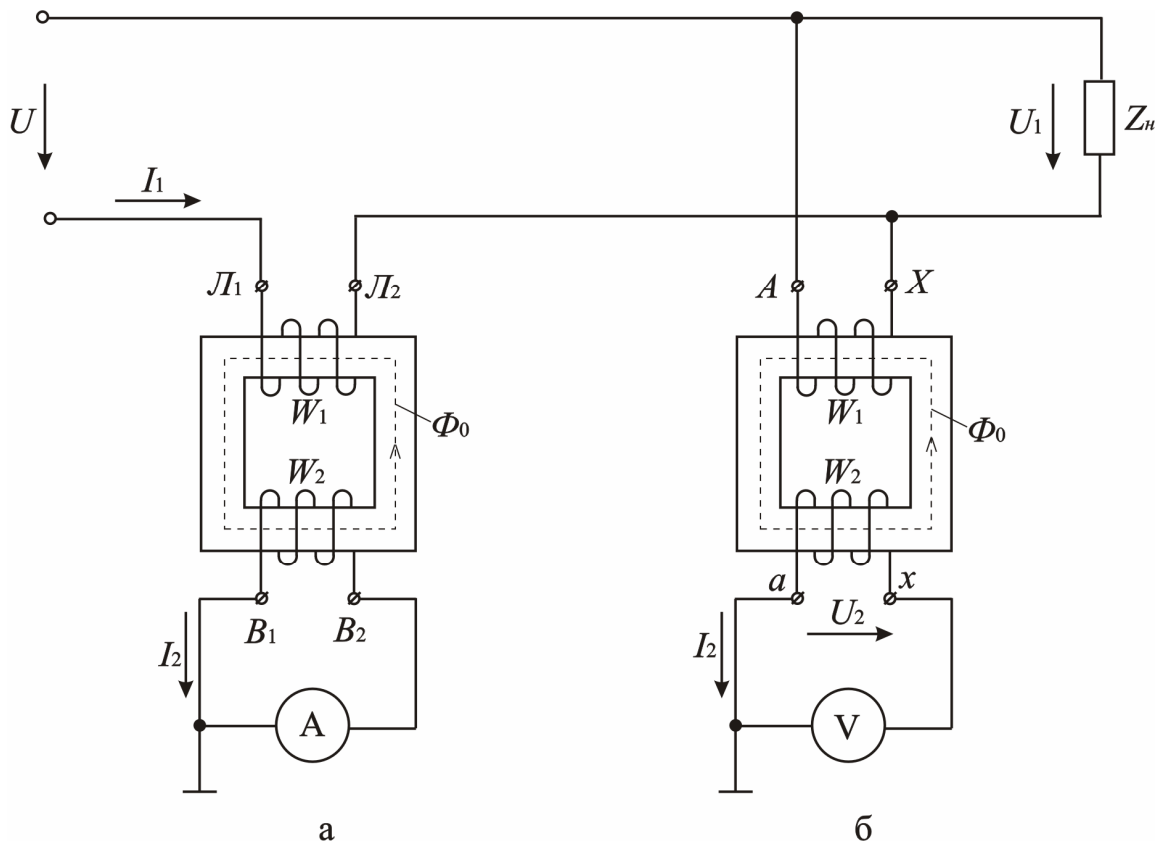


Рис. 3.3 – Схеми ввімкнення вимірювальних трансформаторів:

а – трансформатора струму; б – трансформатора напруги

Вимірювальні трансформатори характеризують номінальними коефіцієнтами трансформації, обумовленими відношенням номінальних значень відповідно до напруги і струму первинної та вторинної обмоток:

$$K_{U_n} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}; \quad K_{I_n} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}. \quad (3.7)$$

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

$$\delta_U = \frac{K_{U_n} - K_U}{K_U} \cdot 100; \quad \delta_I = \frac{K_{I_n} - K_I}{K_I} \cdot 100 \quad (3.8)$$

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, трансформа-

тори характеризуються кутовою похибкою, що визначається як кут зсуву між вектором первинної величини і оберненим на 180° вектором вторинної величини. Кутова похибка позначається на результатах вимірювань тільки фазочутливими приладами (ватметри, лічильники та ін.).

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

$$\begin{aligned} I_1 &= K_I \cdot I_2; & I_1' &= K_{I_n} \cdot I_2; \\ U_1 &= K_U \cdot U_2; & U_1' &= K_{U_n} \cdot U_2. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Зазвичай, покази приладу помножують не на дійсні, а на номінальні коефіцієнти трансформації.

3.4. Порядок виконання роботи

3.4.1. Ознайомитися з вимірювальними приладами і обладнанням. Занести до табл. 1.1 технічні й метрологічні характеристики приладів. З табл. 3.2 відповідно до номера робочого місця взяти значення $I_{1н}$ та R_n для мікроамперметра з панелі 2 або 6; значення $I_{2н}$ для міліамперметра М45М; значення $U_{2н}$ та R_n для вольтметра Э544 (або Э59), розташованому на робочому місці; значення $U_{1н}$ для вольтметра В7-27.

3.4.2. Розрахувати величину опору шунта за формулами (3.3) і додаткового опору за формулою (3.6) для свого робочого місця за даними, взятим з табл. 3.2. Результати попередніх обчислень занести до табл. 3.3.

Таблиця 3.2 – Дані для розрахунку опору шунта і додаткового опору

Номер робочого місця	Для розрахунку $R_{ш}$			Для розрахунку R_d		
	$I_{1н}, \text{А}$	$I_{2н}, \text{А}$	$R_n, \text{Ом}$	$U_{1н}, \text{В}$	$U_{2н}, \text{В}$	$R_n, \text{Ом}$
1	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-6}$	696	50	7,5	
2	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-6}$	1020	60	7,5	
3	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-6}$	663	70	7,5	
4	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-6}$	742	30	7,5	
5	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-6}$	436	40	7,5	
6	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-6}$	343	55	7,5	
7	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-6}$	1490	75	7,5	
8	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-6}$	366	65	7,5	

3.4.3. Зібрати схему для розширення межі вимірювань мікроамперметра (рис. 3.4, а). В якості мікроамперметра використовувати відповідний прилад з **панелі стенду 2 (або 6)** робочого місця. В якості джерела живлення – джерело постійної регульованої напруги -1,5 В з **панелі стенду 2 (або 3)** робочого місця, а в якості шунта – магазин опорів Р33. Як міліамперметр можна використовувати прилад М45М.

3.4.4. Виставити на магазині опорів розрахований за формулою (3.2) опір шунта.

3.4.5. Після перевірки схеми викладачем ввімкнути живлення 36 В і тумблер джерела живлення постійної напруги «ВКЛ» на **панелі 2 (або 3)**.

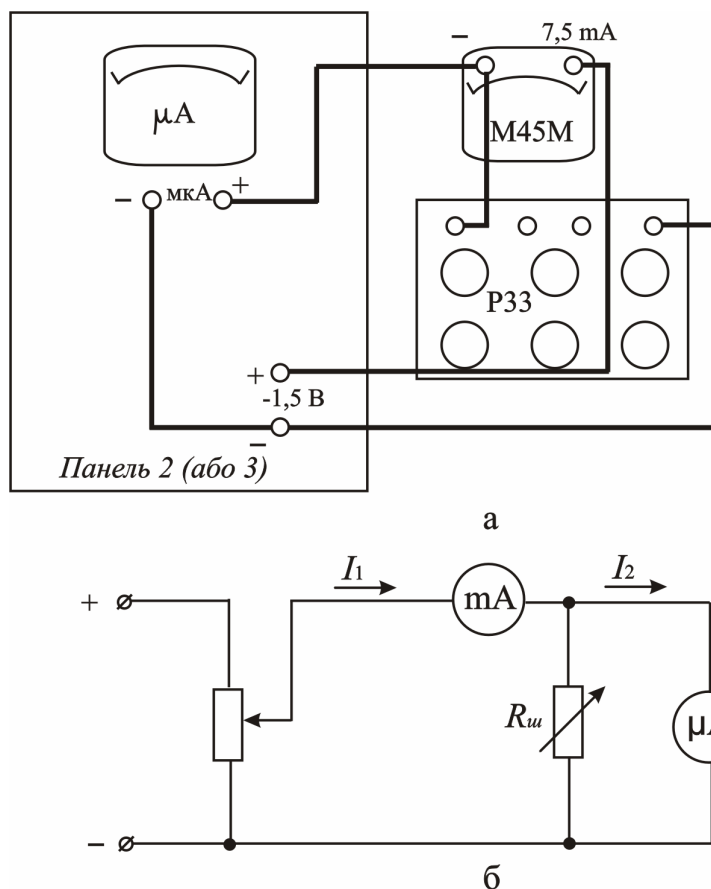


Рис. 3.4 – Розширення межі вимірювання мікроамперметра
а – монтажна схема; б – електрична принципова схема

3.4.6. Для п'яти числових значень шкали міліамперметра вимірити відповідний струм мікроамперметра. Результати вимірювань занести до табл. 3.3. Струм регулювати ручками потенціометрів (**панель 2 або 3**).

Таблиця 3.3 – До вимірювань з використанням шунта

Найменування	I_1	I_2	$p = \frac{I_{2н}}{I_{1н}}$	$R_{ш}$	I_1'	ΔI	γ_I	C_{I2} (з $R_{ш}$)
	мА	μА	-	Ом	мА	мА	%	мА/под.
1	1,5							
2	3							
3	4,5							
4	6							
5	7,5							

3.4.7. Зібрати схему для розширення межі вимірювань вольтметра V2 (рис. 3.5). В якості джерела живлення використовувати ЛАТР, в якості додаткового резистора – магазин опорів P33. Вольтметр V1 – це цифровий вольтметр В7-27, вольтметр V2 – електромагнітний вольтметр Э544 або Э59 (дивитись на робочому місці).

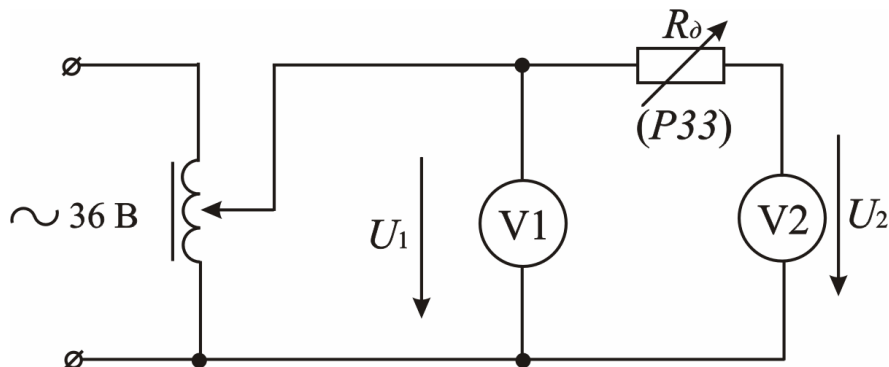


Рис. 3.5 – Розширення межі вимірювань вольтметра

3.4.8. Для п'яти різних значень U_1 , відповідно до табл. 3.4, виміряти напругу U_2 . Результати вимірювань занести до табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – До вимірювань з використанням додаткового опору

На- ймену- вання	U_1	U_2	$p = \frac{U_{1н}}{U_{2н}}$	R_d	U_1'	ΔU	γ_U	C_{V_2}
	В	В	-	Ом	В	В	%	В/под.
1	15							
2	20							
3	25							
4	30							
5	35							

3.4.9. Зібрати схему включення амперметра, вольтметра і ватметра з вимірювальним трансформатором струму УТТ-5М або УТТ-5 (рис. 3.6, а). В якості джерела живлення використовувати ЛАТР, а у якості навантаження Z_H – опір R_A панелі 5 лабораторного стенду (для цього слід підключитися до клем А та О). А1 – це електромагнітний амперметр Э59 з верхньою межею вимірювань $I_{1H} = 1$ А; А2 – електромагнітний амперметр Э59 з верхньою межею вимірювань $I_{2H} = 0,25$ А; W – електродинамічний ватметр Д5065 з верхньою межею за струмом $I_H = 2,5$ А й за напругою $U_H = 30$ В; V – цифровий вольтметр В7-27.

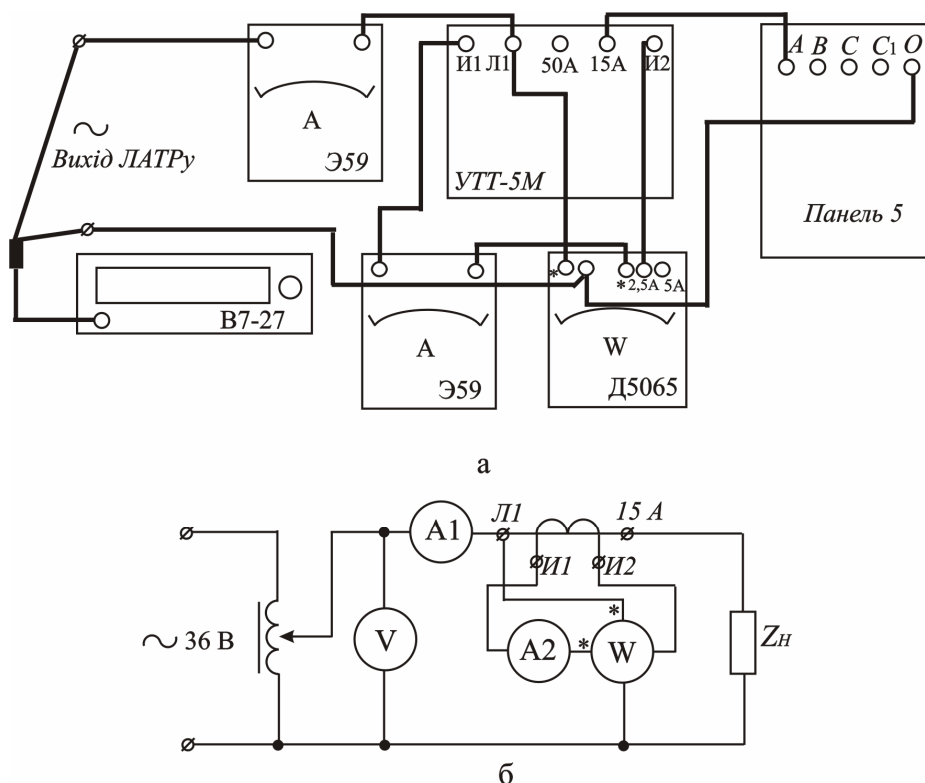


Рис. 3.6 – Схеми підключення вимірювального трансформатора струму
а – монтажна схема; б – електрична принципова схема

3.4.10. Розрахувати ціну поділки амперметрів і ватметра.

3.4.11. Розрахувати та занести в табл. 3.5 значення $K_{In} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$ (значення

номінальних струмів взяти з трансформатора).

3.4.12. Після перевірки схеми викладачем увімкнути тумблери ~ 36 В та ~ 220 В.

3.4.13. Для п'яти різних значень струму I_1 , відповідно до табл. 3.5, виміряти напругу U_1 , струм I_2 , потужність P_2 . Результати вимірювань занести до табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – До вимірювань з використанням трансформатора струму

Найменування	I_1	U_1	I_2	P_2	k_{In}	I_1'	ΔI	γ_I	P_1
	А	В	А	Вт	-	А	А	%	Вт
1	0,3								
2	0,4								
3	0,5								
4	0,6								
5	0,7								

3.5. Обробка результатів експериментів

3.5.1. Для заповнення табл. 3.3 зробити обчислення і визначити:

- вимірюване значення струму $I_1' = I_2 \cdot p \cdot 10^{-3}$;
- абсолютну похибку вимірювання струму $\Delta I_1 = I_1' - I_1$;
- приведену похибку вимірювання струму $\gamma_I = \frac{\Delta I_1}{I_{1H}} \cdot 100$;
- нову ціну поділки мікроамперметра $C_{I2} = \frac{I_{1H}}{N}$, де N – кількість поділок

шкали мікроамперметра (дивитись на робочому місці).

3.5.2. Для заповнення табл. 3.4 виконати обчислення і визначити:

- вимірюване значення напруги $U_1' = p \cdot U_2$;
- абсолютну похибку вимірювань напруги $\Delta U = U_1' - U_1$;
- відносну приведену похибку вимірювань напруги $\gamma_U = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_{1H}}$;
- нову ціну поділки вольтметра V2 з додатковим опором $C_{V2} = \frac{U_{1H}}{N}$,

де $N = 150$ – кількість поділок шкали вольтметра.

3.5.3. Для заповнення табл. 3.5. обчислити і визначити:

- вимірювані значення струму і потужності: $I_1' = I_2 \cdot K_{IH}$; $P_1 = P_2 \cdot K_{IH}$;
- абсолютну похибку вимірювань струму $\Delta I = I_1' - I_1$;
- відносні приведені похибки вимірювань струму $\gamma_I = \frac{\Delta I \cdot 100\%}{I_{1H}}$.

Контрольні запитання

1. Навести класифікацію перетворювачів і накреслити їх структурну схему.
2. Пояснити, для чого призначені шунти і додаткові опори, наведіть схеми їх включення.
3. Пояснити, в якому порядку проводять розрахунок шунтів і додаткових опорів.
4. Охарактеризувати призначення, будову і принцип дії вимірювальних трансформаторів.
5. Охарактеризувати режими роботи і похибки вимірювальних трансформаторів.
6. Пояснити призначення та області застосування в електричних вимірюваннях однопівперіодних та двопівперіодних випрямних перетворювачів.

Лабораторна робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ

ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКАЗУВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

4.1. Лабораторне обладнання і електровимірювальні прилади

Панелі лабораторного стенду 1 і 2, генератор сигналів низької частоти ГЗ-118, вольтметри: Ф584, Э59 або Э544, Д567, Ц20, В7-27.

4.2. Ціль роботи

- ознайомитися з показувальними приладами різних систем;
- вивчити основні статичні характеристики приладів та методи їх визначення;
- дослідити вплив частоти вимірюваної напруги на покази вольтметрів;
- визначити споживану потужність вольтметрів.

4.3. Загальні відомості

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

4.3.1. Електромеханічні прилади

Такі прилади складаються з вимірювального кола і вимірювального механізму. Вимірювальне коло служить для перетворення вимірювальної величини в іншу, що безпосередньо впливає на вимірювальний механізм.

У вимірювальному механізмі електрична енергія перетворюється в механічну енергію переміщення рухомої системи. Зазвичай, в таких 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:

$$M_{об} = F(x, \alpha). \quad (4.1)$$

Для електромеханічних приладів вираз обертального моменту має вигляд:

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

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

За способом створення обертального моменту прилади розділяють на такі системи: магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, електростати-

чні, індукційні.

Для того щоб кут повороту рухомої частини механізму залежав від вимірюваної величини, у приладі створюється протидіючий момент, спрямований назустріч обертальному:

$$M_{np} = f(\alpha). \quad (4.3)$$

У механізмах з рухомою частиною на кернових опорах протидіючий момент створюється за допомогою спіральних пружин, а з рухомою частиною на розтяжках – за рахунок пружних властивостей розтяжок. У всіх цих випадках:

$$M_{np} = W \cdot \alpha, \quad (4.4)$$

де W – питомий протидіючий момент.

При встановленій рівновазі в рухомій частині механізму обертальний і протидіючий моменти рівні:

$$M_{np} = M_{об}. \quad (4.5)$$

Знаючи аналітичний вираз для моментів, із виразу (4.5) можна знайти залежність кута обертання рухомої частини від вимірюваної величини і конструктивних параметрів приладу:

$$\alpha = F(x, A), \quad (4.6)$$

де A – параметри приладу.

Вираз (4.6) – рівняння перетворення, що характеризує основні властивості того або іншого приладу.

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

4.3.2. Випрямні прилади

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

$$\alpha = \frac{B \cdot S \cdot \omega}{W} \cdot I_{сер}, \quad (4.7)$$

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

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

Шкала цих приладів градується в діючих значеннях при синусоїдній формі струму, тобто з урахуванням коефіцієнта форми K_ϕ . При несинусоїдній формі кривої в показах приладу виникає похибка при вимірюваннях струмів і напруг.

Загальні особливості випрямних приладів: висока чутливість за струмом і

напругою; великий частотний діапазон ($10 \dots 20 \cdot 10^3$ Гц); мале власне споживання потужності; невисока точність; залежність показів від форми кривої.

Таблиця 4.1 – Характеристики електромеханічних приладів

Тип вимірювального механізму						
Вхідна величина	I	I	I_1, I_2	I_1, I_2	I_1, I_2	U
Частотний діапазон, Гц	-	40-500	10-1500	10-1500	50	$20 \cdot 3 \cdot 10^7$
Величини, що впливають	t	t, f, M	t, f, M	t, f	t, f	t, E
В яких приладах використовуються	A , V , Ω	A , V	A , V , W , φ , Hz	A , V , W	kWh	V
Максимальна чутливість	$1,5 \cdot 10^7$	150	150	300	-	10
Вищий клас точності	0,1	0,2	0,1	0,5	0,5	0,05
Споживана потужність, Вт	0,001	1,1	0,1	0,025	0,8	-

Примітки:

- 1) для змінного струму I і U – діючі значення;
- 2) величини, що впливають: t – температура, f – частота, M – магнітне поле, E – електричне поле.

4.3.3. Електронні прилади

Електронні вольтметри, що являють собою сполучення електронного вимірювального кола і вихідного, зазвичай магнітоелектричного, приладу, виготовляють для вимірювань постійної і змінної напруги (універсальні вольтметри); постійної напруги й змінної напруги.

До складу електронних вольтметрів входять:

- дільник напруги для розширення діапазонів вимірювань;
- детектор, що перетворює змінний струм у постійний;
- підсилювач постійної напруги;
- вихідний магнітоелектричний прилад;
- джерело живлення детектора і підсилювача.

Залежно від типу детектора вольтметри можуть бути амплітудного, середнього і діючого значення напруги.

Шкали вольтметрів градууються в діючих значеннях синусоїдної напруги з використанням відомих співвідношень:

$$U = \frac{U}{K_a} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad U = U_{сер} \cdot K_{\phi} = U_{сер} \cdot 1,11, \quad (4.8)$$

де K_a – коефіцієнт амплітуди; K_{ϕ} – коефіцієнт форми.

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

4.3.4. Цифрові прилади

У цифрових вольтметрах результат вимірювань безперервної (аналогової) величини подається в дискретній формі у вигляді чисел. Більшість цифрових вольтметрів відносяться до групи приладів порівняння, в яких результат вимірювань 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. Крім АЦП, до складу приладу входять вхідний перетворювач, цифровий відліковий пристрій, джерело живлення всіх вузлів приладу.

За точністю вимірювань цифрові вольтметри можуть бути порівняні з потенціометрами постійного струму. Крім високої точності, цифрові вольтметри мають високу швидкодію і можливість передавати покази на будь-які відстані.

Недоліки цифрових вольтметрів полягають у складності конструкції, відносно високої вартості та невисокої чутливості.

4.4. Порядок виконання роботи

4.4.1. Ознайомитися з вимірювальними приладами лабораторної установки та занести їх технічні й метрологічні характеристики до таблиці 1.1.

4.4.2. Зібрати схему (рис. 4.1). В якості вольтметрів використовувати наступні приладі: електронний V_e (Ф584), електромагнітний $V_{ем}$ (Э59 або Э544), електродинамічний $V_{ед}$ (Д567), випрямний V_e (Ц20), цифровий $V_{ц}$ (В7-27). Для паралельного з'єднання вольтметрів використовувати вертикальний ряд затисків з правої сторони **панелі стенду 2**. Як джерело живлення використовувати генератор сигналів низької частоти ГЗ-118. Після перевірки схеми викладачем подати напругу на затискі вольтметрів від генератора сигналів (ГС).

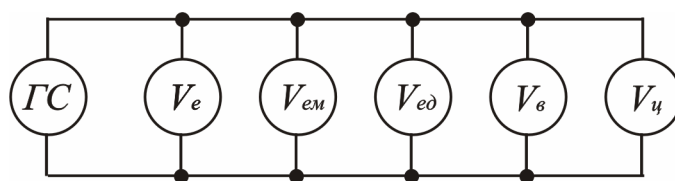


Рис. 4.1 – Схема паралельного з'єднання п'яти вольтметрів

4.4.3. На генераторі сигналів за електронним вольтметром встановити величину напруги 6-10 В (за вказівкою викладача) і, підтримуючи цю напругу незмінною, зняти частотні характеристики всіх вольтметрів. Контроль за величиною вихідної напруги здійснювати за електронним вольтметром. Частоту на генераторі змінювати у діапазоні від 50 до 20000 Гц.

4.4.4. Результати вимірювань занести до табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати вимірювань напруги вольтметрами п'яти систем

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

4.4.5. Почергово підключаючи вольтметри до цифрового вольтметра, виміряти їх вхідний опір. Результати вимірювань вхідного опору вольтметрів занести до табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунків споживаної потужності вольтметрів

Тип приладу	Електронний	Електро-магнітний	Електро-динамічний	Випрямний	Цифровий
$R_{\text{вх}}, \text{Ом}$					
$U_{\text{н}}, \text{В}$					
$P, \text{Вт}$					

4.5. Обробка результатів експериментів

4.5.1. За одержаними даними табл. 4.2 в загальній системі координат побудувати графіки залежності вимірюваної напруги від логарифму частоти $U = F(\ln f)$.

4.5.2. Розрахувати споживану вольтметрами потужність за формулою:

$$P = \frac{U_{\text{н}}^2}{R_{\text{вх}}}, \quad (4.9)$$

де $U_{\text{н}}$ – верхня межа вимірювання приладу.

Результати розрахунків занести до табл. 4.3.

4.5.3. Зробити висновки про власне споживання потужності досліджуваних вольтметрів.

Контрольні запитання

1. Вказати основні характеристики показувальних приладів.
2. Охарактеризувати нормальні умови роботи приладів.
3. Пояснити, як проводять нормування похибки аналогових і цифрових приладів.
4. Написати рівняння перетворення показувальних приладів різних систем, дати їх характеристику.
5. Вказати умовні позначення приладів електромеханічної групи.
6. Вказати основні величини, що впливають на роботу вимірювальних приладів різних систем.
7. Написати формулу для визначення потужності, споживаної приладом.
8. Пояснити вплив частоти вимірюваної напруги на покази вольтметрів електромагнітної і електродинамічної систем.
9. Пояснити вплив форми кривої напруги на покази приладів різних систем.

Лабораторна робота № 5

ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

ЕЛЕКТРОННИМ ОСЦИЛОГРАФОМ

5.1. Лабораторне обладнання і електровимірювальні прилади

Панелі лабораторного стенду 1, 4 і 6, ЛАТР, генератор сигналів низької частоти ГЗ-118, магазин опорів РЗЗ, електронний осцилограф С1-83 або С1-93, міліамперметр Э536.

5.2. Ціль роботи

Вивчити будову і принцип дії електронного осцилографа (ЕО); засвоїти методику підготовки ЕО до використання і проведення вимірювань; набути навички вимірювання за допомогою ЕО миттєвих значень напруг, струмів, часових інтервалів, частоти, зсуву фаз.

5.3. Загальні відомості

Електронно-променеві осцилографи широко застосовують для спостереження форм кривих періодичних і неперіодичних напруг, для вимірювань миттєвих значень напруг, кута зсуву фаз, частоти, часових інтервалів і т.д. Осцилографи мають високу чутливість, широкий частотний діапазон і низьку власну споживану потужність.

Деякі типи ЕО дозволяють спостерігати два і більше досліджуваних сигналів, запам'ятовувати зображення на екрані ЕО на визначений час, а також фотографувати зображення.

Залежно від точності відтворення прямокутної напруги, точності вимірювань, часових інтервалів ЕО поділяють на класи точності: $\pm 3\%$; $\pm 5\%$; $\pm 10\%$.

5.3.1. Будова електронного осцилографа

В основу роботи більшості ЕО закладений метод вимірювання за каліброваною шкалою. Відповідно до цього методу побудована функціональна схема ЕО. Конструкція 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 (ЕПТ), блок живлення.

Досліджуваний сигнал подається на вхідне гніздо "Вхід У". За допомогою вхідного атенюатора, що являє собою частотно-компенсований дільник напру-

ги, 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.

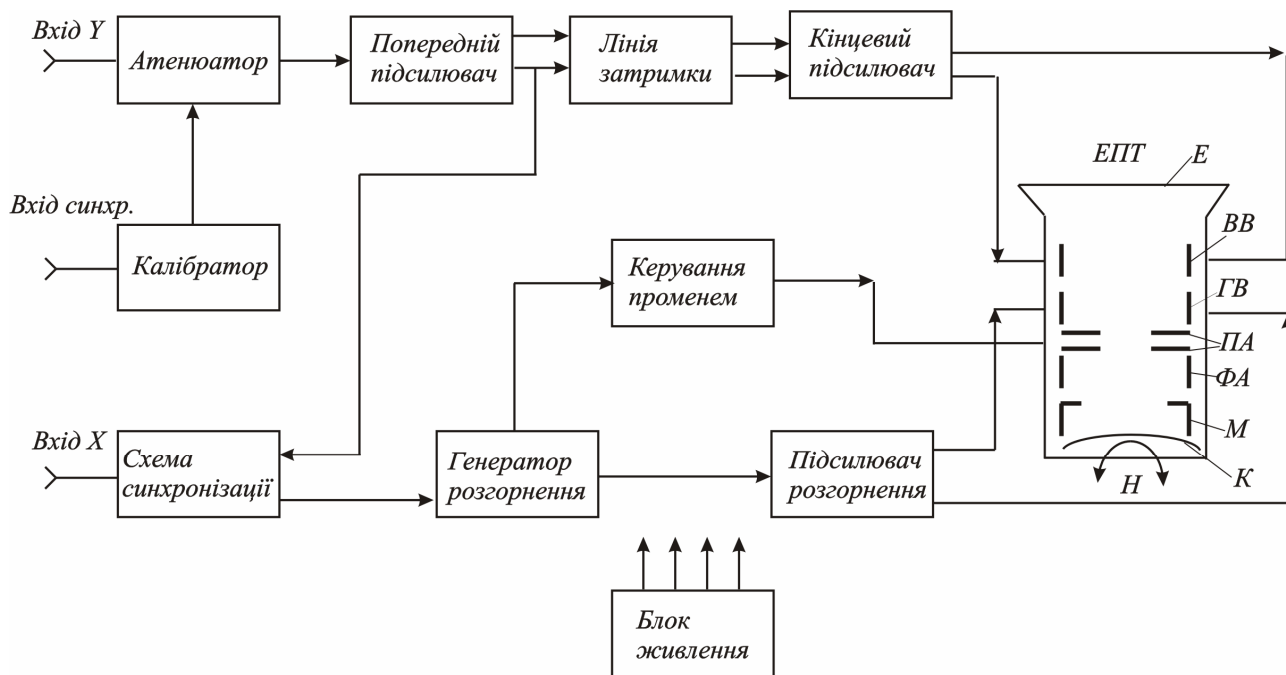


Рис. 5.1 – Блок-схема електронного осцилографа

Кінцевий підсилювач підсилює досліджуваний сигнал до величини, достатньої для нормального його спостереження 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. синхр." 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 відхиляючі пластини ЕПТ.

В 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 використовують для калібрування коефіцієнтів розгорнення і відхилення.

Блок живлення забезпечує напругою всю схему ЕО.

Головною частиною ЕО є електронно-променева трубка з електростатичним керуванням променем, що являє собою сфокусований пучок швидкоплинних електронів. Джерелом електронів служить розігріваний катод K (рис. 5.1), розташований усередині циліндричного керуючого електрода з отвором – модулятора M . Зміною негативного (відносно катода) потенціалу модулятора регулюється інтенсивність пучка електронів і тим самим змінюється яскравість світіння люмінофора, яким вкритий екран E . Крім керування яскравості, модулятор концентрує електронний вузький пучок. Для чіткого фокусування променя на екрані використовується фокусуючий анод ΦA . Енергію, необхідну електронам для руху в пучку та 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 (BB) і горизонтально (GB) 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.

5.3.2. Підготовка ЕО до вимірювань

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

- ручки "яскравість", "фокус", "рівень" – у середнє положення;
- "стабільність" – у крайнє праве положення;
- перемикач "Вольт/Под." – в положення "10" або "5V";
- перемикач полярності синхронізації – у положення "+";
- перемикач синхронізації – у положення "Внутр";
- перемикач "Вхід X" – 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 хв. прогріву ЕО необхідно зробити балансування підсилюва-

ча вертикального відхилення (ПВВ). Сутність балансування полягає в тому, щоб промінь на екрані не переміщався при переключенні перемикача "Вольт/Под." 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.

5.3.3. Проведення вимірювань за допомогою ЕО

5.3.3.1. Вимірювання напруги, струму і опору

Перед вимірюваннями 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 вимірювання здійснюють або за нижніми, або за верхніми краями лінії зображення.

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

$$2 \cdot U_m = C_y \cdot l_y, \quad (5.1)$$

де C_y – коефіцієнт відхилення за вертикаллю у "Вольт/Под." або "Вольт/См.".

Звідси амплітуда напруги:

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

Діюче значення напруги:

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

Цей метод застосуємо і для визначення миттєвого значення напруги в будь-який момент часу t .

Струм і опір вимірюють за допомогою ЕО непрямым методом: визначають амплітуду напруги на зразковому опорі R і на невідомому Z_x , потім обчис-

люють струм і опір за формулами:

$$I_x = \frac{U_{mR_0}}{\sqrt{2} \cdot R_0}, \quad (5.4)$$

$$Z_x = \frac{U_{mz_x}}{U_{mR_0}} \cdot R_0, \quad (5.5)$$

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

U_{mR_0} – амплітуда напруги на зразковому опорі R ;

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

5.3.3.2. Вимірювання часових інтервалів

Перед вимірюваннями часових інтервалів необхідно перевірити калібрування тривалості розгорнення за внутрішнім калібратором, вимірюваний часовий інтервал рекомендується встановити в центрі екрана за допомогою відповідної рукоятки. Для зменшення похибки за рахунок товщини променя вимірювання здійснюють або за нижніми, або за верхніми краями лінії зображення. Точність вимірювань часових інтервалів на екрані ЕПТ збільшується при збільшенні довжини вимірюваного інтервалу. Тому при вимірюваннях треба правильно вибрати робочу тривалість розгорнення.

Вимірюваний часовий інтервал:

$$T_x = C_x \cdot l_x, \quad (5.6)$$

де C_x – коефіцієнт відхилення за горизонталлю в "с/под." або "с/см" при заданому положенні перемикача "Час/Под." або "Час/см."; l_x – довжина інтервалу часу на екрані за горизонталлю у поділках або сантиметрах.

5.3.3.3. Вимірювання частоти

Частоту досліджуваного сигналу можна визначити, вимірявши його період T_x :

$$f = \frac{1}{T_x}. \quad (5.7)$$

Для визначення частоти необхідно за зображенням сигналу на екрані вимірити відстань l , що відповідає цілому числу n періодів сигналу T . Тоді шукана частота сигналу:

$$f_x = \frac{n}{l \cdot T}. \quad (5.8)$$

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

Сутність *методу Лісажу* полягає в тому, 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 відношенню цілих чисел, то фігура на екрані буде стабільною. При цьому буде справедливе таке співвідношення:

$$\frac{n_e}{n_z} = \frac{f_x}{f_0}, \quad (5.9)$$

де n_e та n_z – кількість точок торкання фігури з вертикальною і горизонтальною лініями.

З рівняння (5.9):

$$f_x = \frac{n_e}{n_z} \cdot f_0. \quad (5.10)$$

За *методом кругового розгорнення* напруга зразкової частоти за допомогою фазозміщуючого RC кола формує дві зсунутих на 90° 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 $f_x > f_0$, то розгорнення пунктирне і нерухоме у випадку кратності частот f_0 і f_x .

Вимірювана частота визначається за формулою:

$$f_x = n \cdot f_0, \quad (5.11)$$

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

5.3.3.4. Вимірювання кута зсуву фаз

До осцилографічних методів вимірювання кута зсуву фаз відносять *методи лінійного розгорнення і еліпса*.

Метод лінійного розгорнення дозволяє спостерігати на екрані двохпроменевого або однопроменевого осцилографа одночасно дві досліджувані напруги: u_1 та u_2 . При вимірюванні за допомогою однопроменевого осцилографу напруги u_1 та u_2 подають через електронний комутатор на вхід каналу вертикального відхилення, а розгортаючи напругу, синхронізовану з частотою досліджуваних напруг, – на вхід каналу горизонтального відхилення.

На екрані (рис. 5.2) виходять зображення напруг u_1 та u_2 . По вимірюваним

у масштабі відрізкам ab і ac можна обчислити кут зсуву фаз:

$$\varphi = \frac{ab}{ac} \cdot 360^\circ \quad (5.12)$$

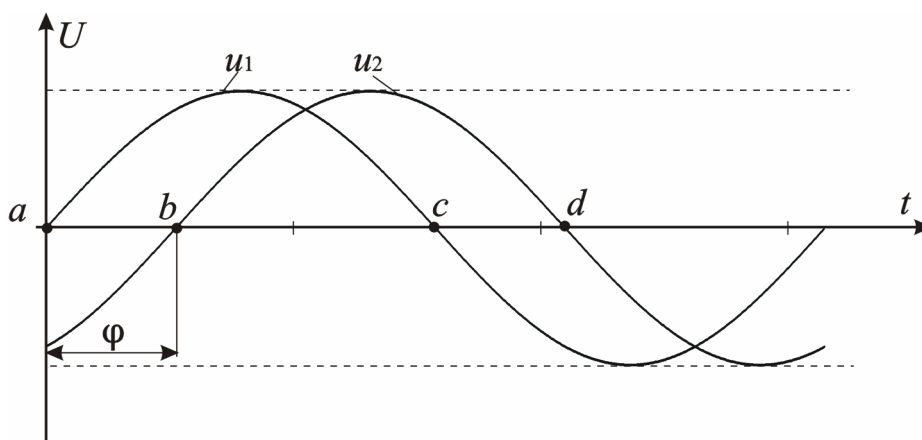


Рис. 5.2 – Визначення кута зсуву фаз методом лінійного розгорнення

Для визначення кута зсуву фаз досліджуваних напруг:

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

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 за вертикаллю, дорівнює нулю, а за горизонталлю $u_2 = U_{m2} \cdot \sin \varphi$ 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:

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

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

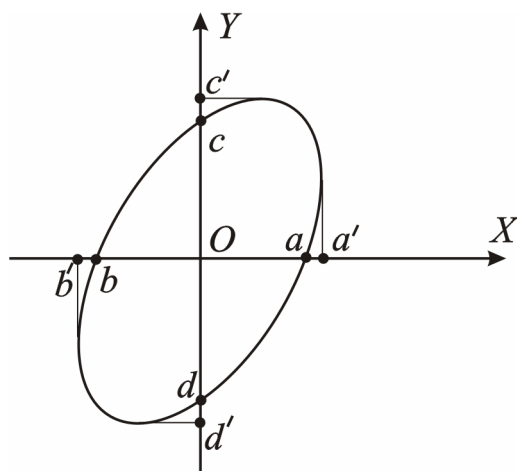


Рис. 5.3 – Визначення кута зсуву фаз методом еліпса

5.4. Порядок виконання роботи

5.4.1. Ознайомитися з методичними вказівками з підготовки й проведення вимірювань за допомогою ЕО. Підготувати ЕО до проведення вимірювань.

5.4.2. Зібрати схему електричного кола (рис. 5.4, а). В якості джерела живлення використовувати лабораторний автотрансформатор. Для вимірювання струму I_0 використати міліамперметр Э536 з верхньою межею $I_H = 100$ мА, а для вимірювання напруги на зразковому опорі R_0 – цифровий вольтметр В7-27 з верхньою межею 100 В змінної напруги. В якості Z_x підключити конденсатор (за вказівкою викладача) з **панелі стенду 4 (або 6)**, а як зразковий опір використовувати магазин опорів Р33. Зразковий опір встановить на одному з наступних значень: 50, 100, 200 Ом (за вказівкою викладача).

5.4.3. Після перевірки схеми викладачем підключити її до джерела змінної напруги 36 В.

5.4.4. Для трьох різних значень Z_x (конденсатор C_1 , конденсатор C_2 і послідовне з'єднання конденсаторів C_1 і C_2), наведених в табл. 5.1, виміряти амплітуду напруги на R_0 і Z_x , діюче значення струму I_0 при відповідних значеннях напругу U_{R_0} (див. табл. 5.1). Результати вимірювань занести до табл. 5.1.

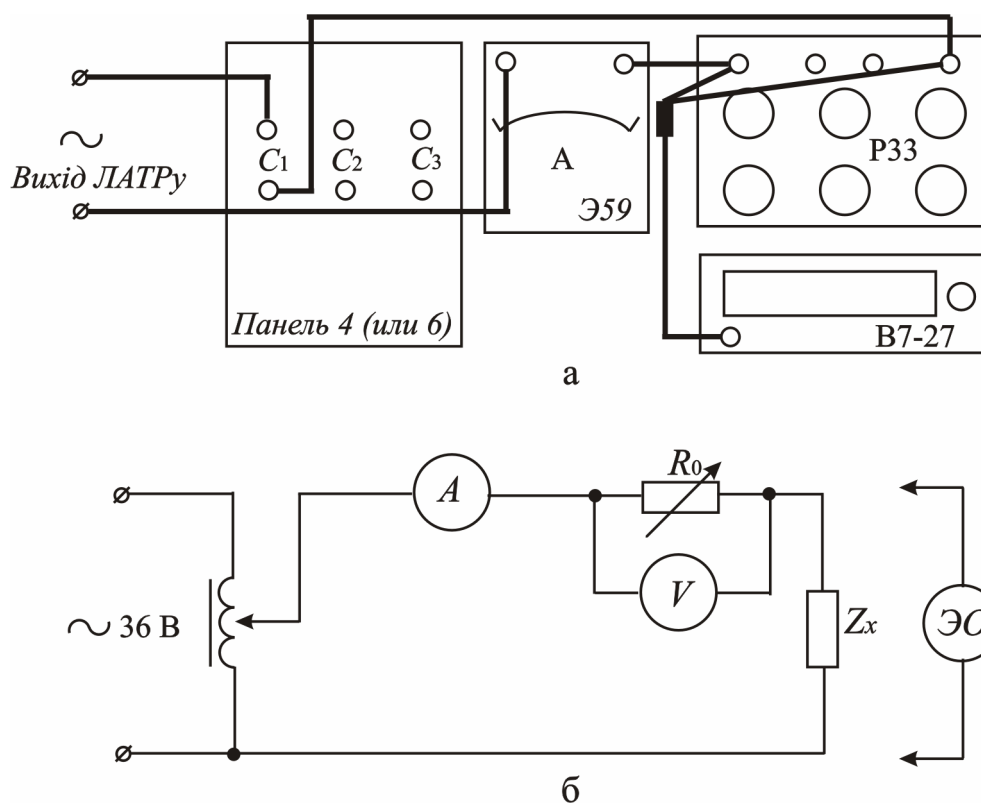


Рис. 5.4 – Вимірювання електричних величин за допомогою осцилографа
а – монтажна схема; б – електрична принципова схема

Таблиця 5.1 – Вимірювання електричних величин осцилографом

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

5.4.5. Використовуючи лабораторну схему (див. рис. 5.4), подати на вхід каналу вертикального відхилення (II каналу осцилографа) напругу з виходу ЛАТРа, а на вхід каналу горизонтального відхилення (I каналу осцилографа) – напругу з ємності $C_{1(7)}$ (для цього достатньо підключити до вузла 2 схеми за рис. 5.4, б сигнальний дрiт першого каналу). Відключити генератор розгорнення (натиснути кнопки з позначкою «X-Y» з лівої та правої сторін від екрану). Подати напругу від ЛАТРа і на екрані ЕО з'явиться зображення у вигляді еліпса. Якщо при збільшенні опору R_0 еліпс стискується за горизонталлю, слід помі-

няти місцями дроти підключення другого каналу до ЛАТРа.

5.4.6. При різних значеннях опору R_0 , відповідно до табл. 5.2, за осцилограмою виміряти довжину відрізків l_{cd} та $l_{c'd'}$.

5.4.7. Результати вимірювань занести до табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Визначення кута зсуву фаз методом еліпсу

R_0	$Z_{C1(7)}$	$\sin \varphi_p$	φ_p	l_{cd}	$l_{c'd'}$	$\sin \varphi_e$	φ_e	$\delta \varphi$
Ом	Ом	-	Град	Под.	Под.	-	град	%
100								
200								
300								
400								
500								
600								
800								
1000								

5.4.8. Подати на вхід II каналу ЕО напругу з лабораторного автотрансформатора, а на вхід I каналу – напругу з генератора ГЗ-118 і, змінюючи частоту генератора від 0 до 200 Гц (див. табл. 5.3), одержати на екрані ЕО стійкі зображення фігур Лісажу (для цього генератор розгорнення повинен бути відключеним (див. п.5.4.5)).

5.4.9. Для кожної фігури визначити число точок торкання з вертикальною n_1 і горизонтальною n_2 лініями.

5.4.10. Результати спостережень занести до табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Визначення частоти напруги за фігурами Лісажу

f_0 , Гц	$f_{ген}$, Гц	n_1	n_2	f_{EO} , Гц	δf
50	25				
50	50				
50	75				
50	100				
50	125				
50	150				
50	200				

5.4.11. Подати напругу від генератора ГЗ-118 на вхід І каналу осцилографа. Встановити перемикач "Вольт/Под." на величину, зручну для спостережень зображення синусоїди. Змінюючи частоту генератора від 500 Гц до 20 кГц і "Тривалість розгорнення" ЕО, одержати стійке зображення синусоїди.

5.4.12. Користуючись масштабною сіткою і шкалою "Тривалість розгорнення", визначити: довжину періоду l_x , час періоду T_x , частоту f_x (див. (5.6), (5.7)).

5.4.13. Результати спостережень занести до табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Визначення частоти напруги методом лінійного розгорнення

C_x	l_x	T_x	f_x	$f_{ген}$	δ_f
Мс/под.	под.	мс	Гц	Гц	%
				500	
				800	
				1000	
				2000	
				5000	
				10000	
				20000	

5.5. Обробка результатів експериментів

5.5.1. Для заповнення табл. 5.1 за результатами вимірювань обчислити:

- діюче значення напруг на зразковому опорі й конденсаторі $U_{R_0}' = \frac{U_{mR_0}}{\sqrt{2}}$,

$$U_{Z_x} = \frac{U_{mZ_x}}{\sqrt{2}};$$

- струм у колі $I_x = \frac{U_{R_0}'}{R_0}$;

- опір і ємність конденсатора $Z_x = \frac{U_{Z_x}}{I_x}$, $C_x = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Z_x}$, де $f = 50$ Гц –

частота мережі;

- відносні похибки вимірювань струму і напруги електронним осцилогра-

$$\text{фом } \delta_I = \frac{I_x - I_0}{I_0} \cdot 100\%, \quad \delta_U = \frac{U_{R_0}' - U_{R_0}}{U_{R_0}} \cdot 100\%.$$

Результати обчислень занести до табл. 5.1.

5.5.2. Для заповнення табл. 5.2 за заданим значенням R_0 і Z_{C1} обчислити:

- кут зсуву фаз $\varphi_p = \arctg\left(\frac{Z_{C1}}{R_0}\right)$;

- за формулою (5.13) розрахувати експериментальне значення кута зсуву фаз φ_e ;

- визначити відносну похибку вимірювань кута зсуву фаз за формулою:

$$\delta_\varphi = \frac{\varphi_e - \varphi_p}{\varphi_p} \cdot 100\%.$$

Результати обчислень занести до табл. 5.2.

5.5.3. За даними табл. 5.3, прийнявши частоту мережі $f = 50$ Гц за зразкову, обчислити вимірювану частоту за формулою (5.10), визначити похибку градування шкали генератора ГЗ-118

$$\delta_f = \frac{f_{ген} - f_{EO}}{f_{EO}} \cdot 100\%.$$

Результати обчислень занести до табл. 5.3.

5.5.4. Для заповнення табл. 5.4, прийнявши частоту, отриману при вимірюванні за допомогою ЕО, за дійсне значення, обчислити відносну похибку градування шкали генератора:

$$\delta_f = \frac{f_{ген} - f_x}{f_x} \cdot 100\%.$$

Результати обчислень занести до табл. 5.4.

Контрольні запитання

1. Охарактеризувати призначення електронних осцилографів.
2. Вказати елементи структурної схеми осцилографа та пояснити їх призначення.
3. Пояснити будову електронно-променевої трубки.
4. Дати визначення чутливості електронно-променевої трубки й вказати параметри, що її визначають.
5. Охарактеризувати блок розгорнення осцилографа та його призначення.
6. Пояснити, в чому полягає синхронізація осцилографу та як її здійснюють.
7. Поясніть, як проводять калібрування підсилювачів вертикального та горизонтального відхилень.
8. Пояснити, як вимірюють напругу, струм, опір, частоту та кут зсуву фаз електронним осцилографом.

Лабораторна робота № 6

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ: R, L, M І С

6.1. Лабораторне обладнання і електровимірювальні прилади

Панелі лабораторного стенду 1, 2, 4 і 6, ЛАТР, магазин опорів Р33, котушка індуктивності, вольтметр В7-27, міліамперметр М45М, мегомметр М1101М, омметр М371, міст змінного струму Р577, амперметр Э59, ватметр Д5065.

6.2. Ціль роботи

Освоєння методів вимірювання параметрів електричних кіл: R, L, M і С; набуття практичних навичок роботи з омметрами, мегометрами, мостами постійного і змінного струму.

6.3. Загальні відомості

Опір – один з найважливіших параметрів електричних кіл. За величиною опору дуже різноманітні та 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 вимірюваннях малих опорів на результат вимірювань впливає опір з'єднуючих проводів, контактів і контактні термо-ЕРС. При вимірюваннях великих опорів необхідно враховувати й 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 та індуктивності.

6.3.1. Непрямий метод вимірювання 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:

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

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

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

Цей метод застосовують для вимірювань середніх і великих опорів.

Для вимірювання 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 на паралельному з'єднанні:

$$U_x = I_0 \cdot R_0. \quad (6.3)$$

Вимірюваний опір:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{I_0}{I_x} \cdot R_0. \quad (6.4)$$

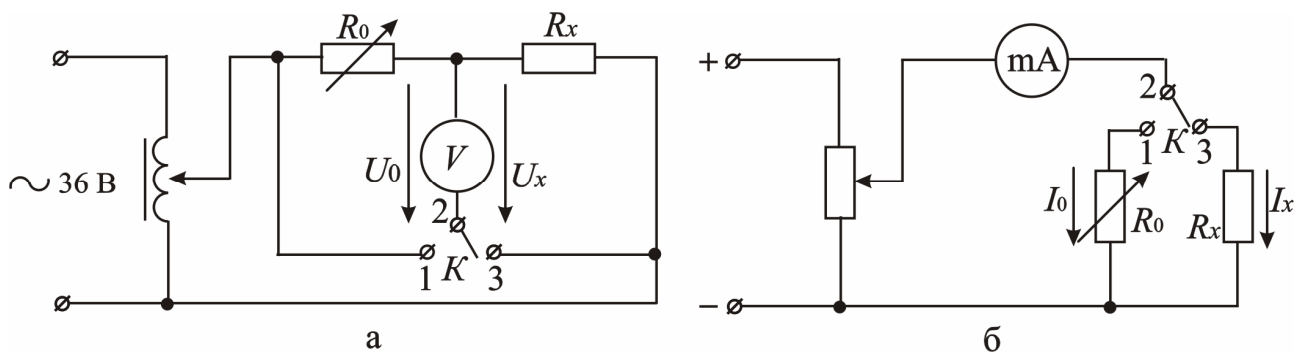


Рис. 6.1 – Схеми для непрямих вимірювань опорів методом порівняння
а – при послідовному з'єднанні; б – при паралельному з'єднанні

6.3.2. Прилади безпосередньої оцінки для вимірювання опорів

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

Омметри поділяють 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 їх покази правильні тільки при певному значенні напруги джерела струму.

Покази омметрів-логометрів не залежать від напруги джерела струму. Промисловість випускає омметри з межами вимірювань від 0 до 100 кОм і 0,2-200 МОм, основна приведена похибка яких дорівнює $\pm 1\%$.

6.2.3. Метод амперметра, вольтметра, ватметра для вимірювань індуктивності, ємності й взаємної індуктивності в колах змінного струму.

Підключаючи по чергово до затисків 1-1' (рис. 6.2) котушку з індуктивністю L і конденсатор з ємністю C , вимірюють активну потужність P , струм I , напругу U .

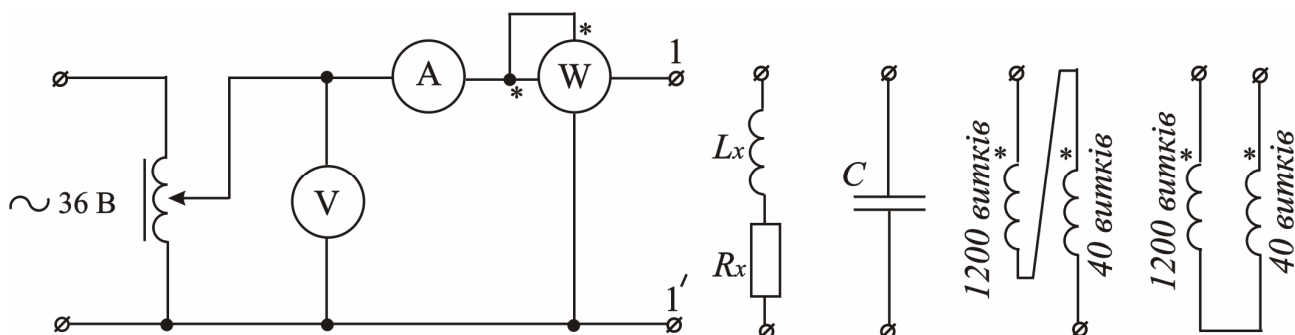


Рис. 6.2 – Вимірювання параметрів кола методом
амперметра-вольтметра-ватметра

Індуктивність котушки:

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

Ємність конденсатора:

$$C = \frac{1}{\omega \cdot \sqrt{Z_C^2 - R_C^2}} = \frac{1}{\omega \cdot \sqrt{\left(\frac{U_C}{I_C}\right)^2 - \left(\frac{P_C}{I_C^2}\right)^2}} = \frac{I_C^2}{\omega \cdot \sqrt{U_C^2 \cdot I_C^2 - P_C^2}}. \quad (6.6)$$

При узгодженому послідовному з'єднанні двох котушок їхня загальна індуктивність:

$$L_y = L_1 + L_2 + 2 \cdot M, \quad (6.7)$$

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

Загальну індуктивність котушок при узгодженому включенні L_y і зустрічному включенні L_z можна визначити за формулою (6.7), знаючи покази амперметра і вольтметра:

$$L_y = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_y}{I_y}\right)^2 - \left(\frac{P_y}{I_y^2}\right)^2}}{\omega}, \quad (6.8)$$

$$L_z = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_z}{I_z}\right)^2 - \left(\frac{P_z}{I_z^2}\right)^2}}{\omega}. \quad (6.9)$$

При зустрічному послідовному з'єднанні двох котушок їх загальна індуктивність:

$$L_6 = L_1 + L_2 - 2 \cdot M . \quad (6.10)$$

Віднімаючи з рівняння (6.7) рівняння (6.9), одержимо:

$$L_y - L_6 = 4 \cdot M ; \quad M = \frac{L_y - L_6}{4} . \quad (6.11)$$

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

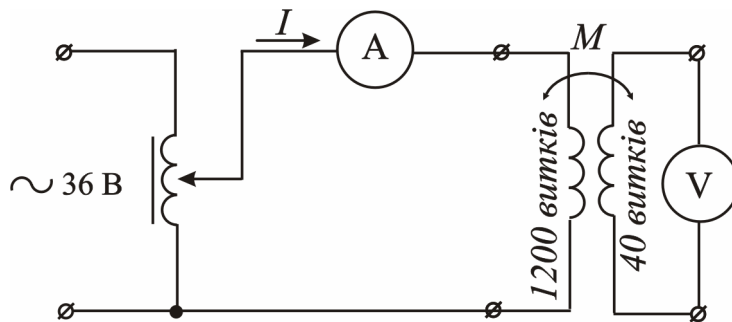


Рис. 6.3 – Визначення взаємної індуктивності за допомогою амперметра і вольтметра

Якщо виміряти струм I у першій котушці й індуктовану в другій котушці ЕРС, то маємо співвідношення:

$$E_2 = U = M \cdot I \cdot \omega ; \quad M = \frac{U}{I \cdot \omega} , \quad (6.12)$$

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

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

6.3.5. Вимірювання ємності за сталою часу (рис. 6.4)

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:

$$U_2 = U_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} , \quad (6.13)$$

де t – час розряду конденсатора, вимірюваний секундоміром;

τ – постійна часу ($\tau = R_0 \cdot C_x$).

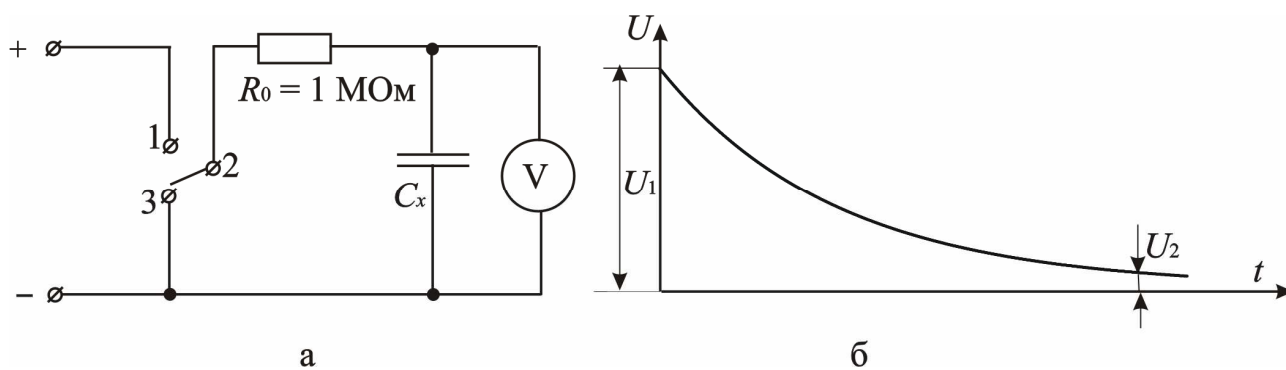


Рис. 6.4 – Вимірювання ємності за сталою часу
а – схема вимірювання; б – часова діаграма

З рівняння (6.13) знайдемо:

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

6.3.6. Вимірювальні прилади врівноважуючого перетворення

6.3.6.1. Вимірювальні мости постійного струму

Мостовий метод є основним, найбільш довершеним методом вимірювання параметрів електричних кіл. *Міст постійного струму* призначений для вимірювання опору.

Найбільше поширення одержали два варіанти мостів: *одинарні* і *подвійні* (рис. 6.5).

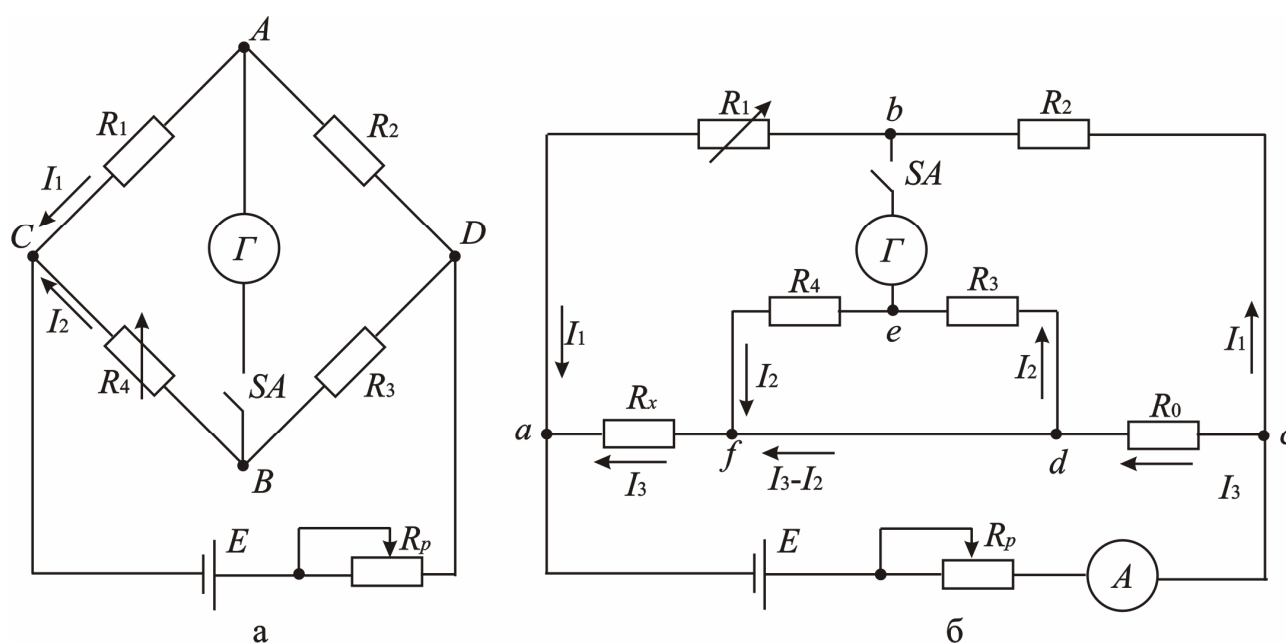


Рис. 6.5 – Схема вимірювальних мостів постійного струму
а – одинарного; б – подвійного

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

Різниця напруг між точками A і B вимірювального моста дорівнює нулю за умови, якщо

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4. \quad (6.15)$$

Ця рівність визначає *умову рівноваги моста*. Якщо один з опорів невідомий, то його значення встановлюють

$$R_x = R_1 = R_4 \cdot \frac{R_2}{R_3}. \quad (6.16)$$

6.3.6.2. Мости змінного струму

Ці мости служать в основному для вимірювань комплексних опорів. Основні рівняння для мостів змінного струму:

$$C_x = C_4 \cdot \frac{R_3}{R_2}; \quad R_x = R_4 \cdot \frac{R_2}{R_3}; \quad \operatorname{tg} \delta_x = \omega \cdot R_4 \cdot C_4. \quad (6.17)$$

$$L_x = C_3 \cdot R_2 \cdot R_4; \quad R_x = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_3}; \quad Q_x = \omega \cdot C_3 \cdot R_3. \quad (6.18)$$

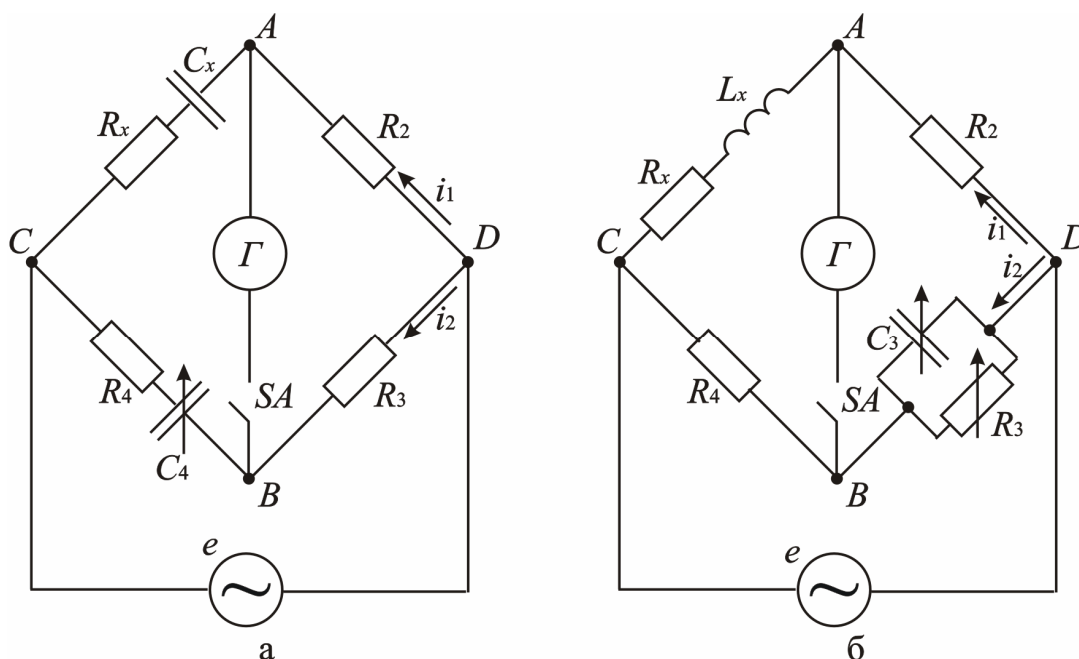


Рис. 6.6 – Схеми вимірювальних мостів змінного струму

Промислові мости змінного струму зазвичай виготовляють універсальними, об'єднуючими декілька зазначених вимірювальних схем; вони призначені для вимірювань комплексних опорів, ємності, індуктивності, тангенса кута діелектричних втрат і тангенса кута зсуву фаз між векторами струму і напруги (рис. 6.6).

6.4. Порядок виконання роботи

6.4.1. Ознайомитися з вимірювальними приладами лабораторної установки та занести їх технічні й метрологічні характеристики до таблиці 1.1.

6.4.2. Виміряти значення шести опорів R_1-R_6 з **панелі стенду 4 або 6** мостом постійного струму, або універсальним цифровим вольтметром В7-27. Результати занести до табл. 6.1.

6.4.3. Виміряти значення шести опорів R_1-R_6 з **панелі стенду 4 або 6** мегомметром. Результати занести до табл. 6.1.

6.4.4. Зібрати схему (рис. 6.7, а), що відповідає електричній принциповій схемі за рис. 6.1, а. В якості джерела живлення використовувати лабораторний автотрансформатор. Як зразковий опір використовувати магазин опорів РЗЗ (рекомендується встановити опір 1000 Ом на магазині), а як вимірювані взяти за вказівкою викладача три опори з **панелі стенду 4 або 6**. Опори обираються таким чином, щоб їх значення, вже виміряні мостом постійного струму або цифровим вольтметром, не перевищували 10 кОм. В якості вимірювального приладу взяти цифровий вольтметр В7-27. Ключ з затискачами 1, 2, 3 взяти з **панелі стенду 2 або 6**.

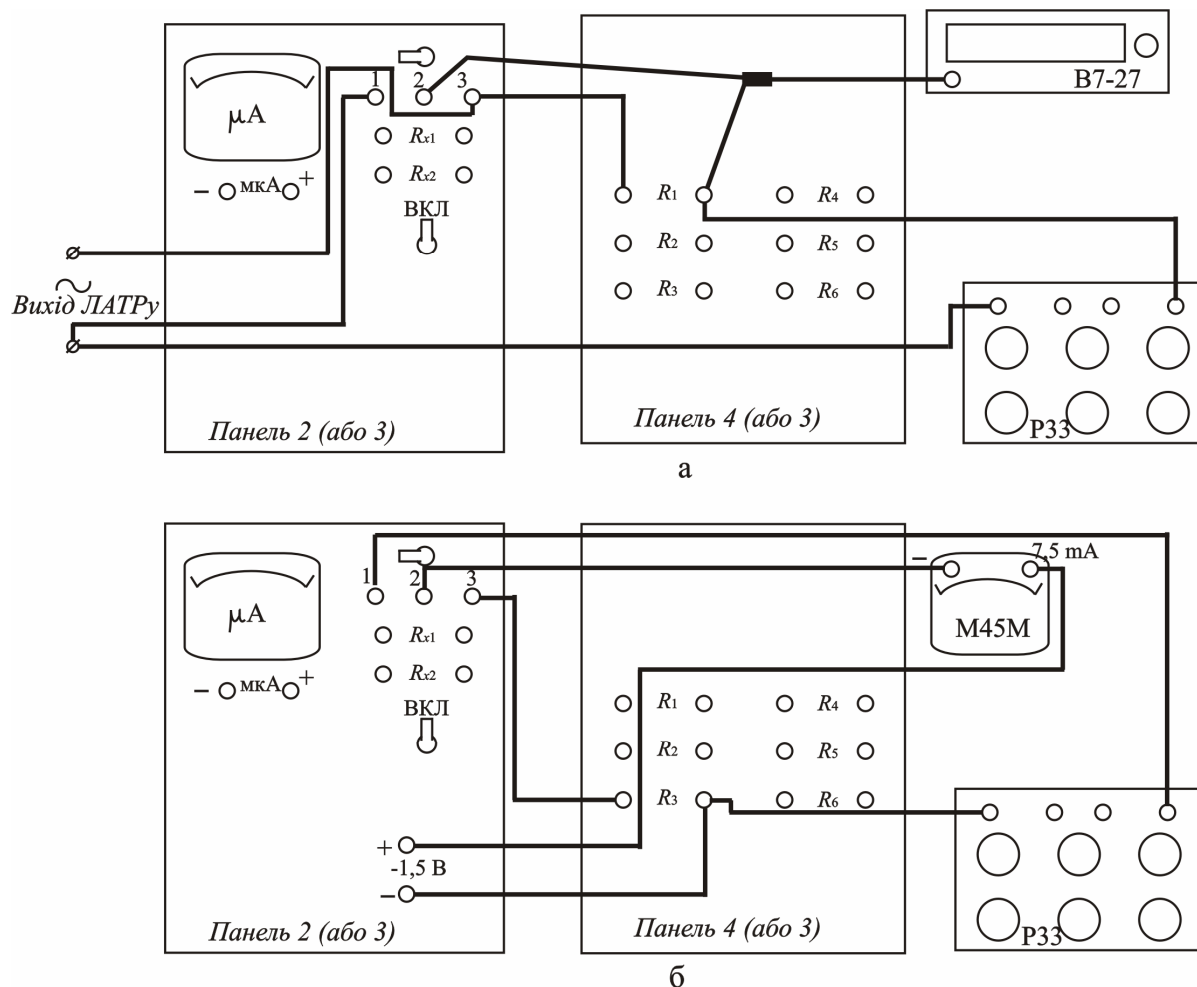


Рис. 6.7 – Монтажні лабораторні схеми для вимірювання опорів резисторів
а – при послідовному з'єднанні; б – при паралельному з'єднанні

6.4.5. Після перевірки схеми викладачем включити тумблери 36 В і 220 В й виміряти U_x і U_0 для двох різних значень напруги. Обчислити значення R за формулою (6.2) і середнє з обчислених значень занести до табл. 6.1.

6.4.6. Зібрати схему (рис. 6.7, б), що відповідає електричній принциповій схемі за рис. 6.1, б. В якості джерела живлення взяти регульоване джерело постійної напруги з **панелі стенду 2 або 3** (клеми «+» та «-»). В якості зразкового опору використовувати магазин опорів Р33, а в якості вимірюваних – три найменші за величиною опори з **панелі стенду 4 або 3** (величина вимірюваного опору не повинна перевищувати 1000 Ом). Вимірювання здійснювати магніто-електричним приладом М45М з верхньою межею 7,5 мА (або 75 мВ). Ключ з затискачами 1, 2, 3 взяти з **панелі стенду 2 або 3**.

6.4.7. Після перевірки схеми викладачем ввімкнути живлення 36 В і тумблер джерела живлення постійної напруги «ВКЛ» на **панелі 2 або 3**. Встановити на магазині опорів величину опору близьку до вимірюваного. Виміряти струми I_0 і I_x при максимальній напрузі джерела живлення, обчислити опір за формулою (6.4) і результати обчислень занести до табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Вимірювання опорів резисторів

Метод вимірювання	Вимірюваний опір					
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
Мостом постійного струму або цифровим вольтметром						
Мегомметром						
Порівняння при послідовному з'єднанні						
Порівняння при паралельному з'єднанні						

6.4.8. Вимірити активний опір обмоток котушок індуктивності омметром. При вимірюванні опору обмоток з кількістю витків 3600, 2400, 1200 використовувати затискачі омметра «-» та «x10», а при вимірюванні опору обмоток з кількістю витків 40, 25, 15 – затискачі «-» та «x1». Результати занести до табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Вимірювання активного опору обмоток котушки індуктивності

Кількість витків котушки індуктивності	3600	2400	1200	40	25	15
R_x						

6.4.9. Зібрати схему (рис. 6.2). В якості джерела живлення використовувати ЛАТР. Для вимірювань використовувати прилади: електромагнітний ампер-

метр Є59, електродинамічний ватметр Д5065, цифровий вольтметр В7-27. До виходу схеми (точки 1 та 1') по чергово підключати: котушку індуктивності на 1200 витків (табл. 6.3), конденсатори C_1 , C_2 , C_3 з панелі стенду 4 або 6 (табл. 6.4), котушку індуктивності, поєднуючи спочатку послідовно, а потім зустрічно котушки на 1200 и 40 витків (табл. 6.5).

6.4.10. Після перевірки схеми викладачем включити тумблери «36 В» і «220 В» та встановити максимальну напругу на ЛАТРі. Виміряти струм, напругу і потужність та занести результати вимірювань до табл. 6.3, 6.4, 6.5

Таблиця 6.3 – Вимірювання індуктивності котушки

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

Таблиця 6.4 – Вимірювання ємності конденсаторів

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

Таблиця 6.5 – Вимірювання взаємної індуктивності

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

6.4.11. Зібрати схему (рис. 6.3), в якості джерела живлення використовувати лабораторний автотрансформатор. Для вимірювань використовувати електромагнітний амперметр Э59 з верхньою межею 1 А і цифровий вольтметр В7-27.

6.4.12. Після перевірки схеми викладачем включити тумблери «36 В», «220 В» і встановити максимальну напругу на ЛАТРі. Виміряти струм і напругу, а результати занести до табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Вимірювання взаємної індуктивності методом амперметра й вольтметра

I_1	E_2	f	ω	M
А	В	Гц	с ⁻¹	Гн

6.4.13. Мостом змінного струму для конденсаторів C_1 , C_2 , C_3 виміряти ємність і тангенс кута діелектричних втрат, а для котушки з кількістю витків 3600, 2400, 1200 виміряти індуктивність і добротність. Результати занести до табл. 6.7 і 6.8.

Таблиця 6.7 – Вимірювання ємності мостом змінного струму

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

Таблиця 6.8 – Вимірювання індуктивності мостом змінного струму

Виводи котушок	3600	2400	1200
L (Гн)			
Q			

6.5. Обробка результатів експериментів

6.5.1. За формулами (6.5), (6.6), (6.8), (6.9), (6.11) обчислити L , C , і M . Результати обчислень занести до табл. 6.3, 6.4, 6.5.

6.5.2. Обчислити за формулою (6.12) взаємну індуктивність. Занести результат обчислення до табл. 6.6.

6.6 Контрольні запитання

1. Назвати основні методи вимірювання опорів.
2. Пояснити, як вимірюють опір методом порівняння?
3. Охарактеризувати прилади безпосередньої оцінки величини опорів.
4. Пояснити, в чому полягають непрямі методи вимірювання індуктивності, ємності і взаємної індуктивності.
5. Пояснити, як здійснюють вимірювання індуктивності і ємності прямими методами вимірювання.
6. Вказати, які недоліки мають методи вимірювання L і C приладами безпосередньої оцінки?
7. Пояснити, як здійснюють вимірювання індуктивності мостом змінного струму.
8. Пояснити, як здійснюють вимірювання ємності мостом змінного струму.
9. Пояснити призначення, принцип дії та області застосування мостів постійного струму.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Фремке А. В. Электрические измерения [Текст]: учебник // А. В. Фремке, А. Е. Душина; Л. : Энергия, 1980. – 382 с.
2. Поліщук Є. С. Метрологія та вимірювальна техніка [Текст]: підручник // Є. С. Поліщук; Львів : Новий світ, 2003. – 460 с.
3. Котур В. І. Електричні виміри і електровимірювальні прилади [Текст]: підручник // В. І. Котур, М. Н. Скомська, Н. Н. Храмова; К. : Енергоіздат, 1996. – 324 с.
4. Молиновский В. Н. Электрические измерения [Текст]: ученик // В.Н. Молиновский; М. : Энергоиздат, 1982. – 392 с.
5. Полищук Е. С. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин [Текст]: ученик // Е. С. Полищук; К. : Вища школа, 1984. – 386 с.
6. Панев Б. И. Электрические измерения. Справочник в вопросах и ответах [Текст]: ученик // Б. И. Панев; М. : Агропромиздат, 1987. – 224 с.
7. Дворяшин Б. В. Основы метрологии и радиоизмерения [Текст]: учебник // Б. В. Дворяшин; М. : Радио и связь, 1993. – 320 с.
8. Карев В. Н. Задачи для лабораторных работ по курсу «Основы метрологии» для контроля знаний [Текст]: пособие // В. Н.Карев, Е. П.Волкова; Х. : ХИИГХ, 1990. – 78 с.

Додаток А

Технічні і метрологічні характеристики вимірювальних приладів

№	Найменування приладу	Тип приладу та заводський номер	Верхні межі вимірювань	Род струму	Частотний діапазон	Система приладу	Дослідна напруга	Вхідний опір	Межа допуску основної похибки
1	Мікроамперметр	M266M	100 мкА	—	-		2 кВ	На робочому місці	1,0
2	Мікроамперметр	M265M	50 мкА або 100 мкА	—	-		2 кВ	На робочому місці	1,5
3	Мікроамперметр	M903/1	100 мкА	—	-		2 кВ	На робочому місці	1,5
4	Міліамперметр	M45M	1,5-30 мА	—	-		2 кВ	10 Ом	1,0
5	Міліамперметр	Э536	50-200 мА	~	45-100 Гц		2 кВ	19-1,2 Ом	0,5
6	Амперметр	K540	0,1-600 А	~	45-65 Гц		2 кВ	-	0,5
7	Амперметр	Э59	0,25-1 А або 1 та 2 А	~	45-55 Гц		2 кВ	0,7-0,05 Ом	0,5
8	Амперметр	Э537	0,5-1 А	~	45-100 Гц		2 кВ	0,24-0,06 Ом	0,5
9	Ампервольт-омметр	Ц20	3-600 В 0,3-750 мА 500 кОм	~	45-5000 Гц		2 кВ	62·10 ³ Ом	4,0
10	Мілівольтметр	M45M	7,5 мВ	—	-		2 кВ	10 Ом	1,0
11	Вольтметр	K540	15-600 В	~	45-65 Гц		2 кВ	133,3 Ом/В	1,0
12	Вольтметр	Э544	7,5-60 В	~	45-65 Гц		3 кВ	100-2400 Ом	0,5
13	Вольтметр	B7-27	1-1000 В 0,001-100 мА 1-10 ⁷ Ом	~	20-10 ⁸ Гц	Цифровий	2 кВ	10 ⁶ Ом	1,0
14	Вольтметр	Э59	7,5-60 В	~	45-55 Гц		2 кВ	83,3-2000 Ом	0,5
15	Вольтметр	Д567	15-600 В	~	45-2500 Гц		2 кВ	3-120 кОм	1,0
16	Вольтметр	Ф584	0,001-300 В	~	50-10 ⁸ Гц	Електрон.	2 кВ	10 ⁷ Ом	0,5; 1,0
17	Вольтметр	Ф5053	0,001-300 В	~	10-4·10 ⁶ Гц	Електрон.	2 кВ	10 ⁷ Ом	0,5-1,5
18	Мілівольтамперметр	Ф5263	0,001-300 В 0,01-1 А	~	50-10 ⁸ Гц	Електрон.	2 кВ	10 ⁷ Ом	0,5; 1,0
19	Ватметр	Д5065	30-600 В 2,5 та 5 А	~	45-65 Гц		2 кВ	10-200 Ом 0,008-0,004	0,5
20	Омметр	M371	10 та 100 Ом	—	-		0,5 кВ	-	1,5
21	Мегомметр	M1101M	200 кОм-100 МОм	—	-		1,5 кВ	-	1,0
22	Осцилограф універсальний	C1-83	0,001-20 В/дел 5·10 ⁻⁷ -5 с/дел.	~	0-5·10 ⁶ Гц	Електрон.	2 кВ	10 ⁶ Ом 5·10 ⁴ Ом	8,0
23	Осцилограф універсальний	C1-93	0,05-10 В/дел 1·10 ⁻⁷ -1 с/дел.	~	0-15·10 ⁶ Гц	Електрон.	2 кВ	10 ⁶ Ом 5·10 ⁴ Ом	4,0
24	Трансформатор струму	УТТ-5	15 та 50 А	~	50 Гц	-	2 кВ	14·10 ³ Ом	0,2
25	Міст змінного струму	P577	0,1-1,1·10 ⁷ Ом 10 ⁻³ -1,1·10 ⁵ мГн 10 ⁻⁶ -1,1·10 ³ мкФ	~	40-200 Гц	Прилад порівняння	2 кВ	-	1,0

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
з дисциплін

«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАНЬ» I «ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ»

*(для студентів денної та заочної форм навчання напрямів підготовки
6.050701 – «Електротехніка та електротехнології»
і 6.050702 – "Електромеханіка")*

Відповідальний за випуск *Д. В. Тугай*

Укладачі: **ТУГАЙ** Дмитро Васильович,
ФОРКУН Яна Борисівна,
ДОРОХОВ Олександр Володимирович

Редактор *З. І. Зайцева*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2011, поз.265 М

Підп. до друку 05.12.2011
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60 x 84 /16
Ум. друк. арк. 5,2
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.