

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**



**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до виконання лабораторних робіт  
із навчальної дисципліни

**«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
всіх форм навчання зі спеціальності*

*141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2024**

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Д. В. Тугай, О. Б. Єгоров, С. І. Корнелюк, Я. Б. Форкун. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 81 с.

Укладачі: д-р техн. наук, проф. Д. В. Тугай,  
канд. техн. наук, доц. О. Б. Єгоров,  
асист. С. І. Корнелюк,  
канд. техн. наук, доц. Я. Б. Форкун

#### Рецензент

**М. Л. Глєбова**, кандидат технічних наук, доцент кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою альтернативної електроенергетики та електротехніки, протокол № 13 від 20 червня 2024 р.*

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Подано вимоги щодо оформлення, засоби та послідовність виконання завдань, список рекомендованих джерел, наведено приклади оформлення робіт.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ .....	5
ПРАВИЛА З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ .....	6
Лабораторна робота № 1 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ .....	7
Лабораторна робота № 2 ПОВІРКА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ.....	14
Лабораторна робота № 3 ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ СТРУМУ І НАПРУГИ.....	25
Лабораторна робота № 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКАЗУВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ.....	36
Лабораторна робота № 5 ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН ЕЛЕКТРОННИМ ОСЦИЛОГРАФОМ .....	44
Лабораторна робота № 6 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ: R, L, M І C .....	59
СПИСОК ДЖЕРЕЛ .....	72
ДОДАТОК А.....	73
ДОДАТОК Б .....	79
ДОДАТОК В.....	80

## ВСТУП

Розвиток науки і техніки завжди був пов'язаний з прогресом у сфері 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 їхньої 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 їхнього проведення.

Лабораторні роботи з дисципліни «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 повірки вимірювальних приладів, використання вимірювальних перетворювачів та ін.

Методичні рекомендації підготовлені на основі робочої програми дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань» й призначені для здобувачів 2–3 курсів, що навчаються за напрямом підготовки 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

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

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, у 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 дослідів 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 засвоїли основні правила безпечної роботи з електричними установками напругою до 1 000 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, необхідно 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 використовуваного обладнання, а також у разі виникнення будь-яких відхилень у роботі кола негайно вимкнути схему від джерела живлення і сповістити про це викладачеві.

3. У разі наявності у схемі конденсаторів потрібно після вимкнення схеми від джерела живлення розряджати їх шляхом короткого замикання ізольованим проводом затискачів конденсатора.

4. Після закінчення роботи вимкнути живлення стенда і вимірювальних приладів.

5. Якщо в лабораторії стався нещасний випадок, негайно вимкнути живлення лабораторії, надати потерпілому першу допомогу і повідомити про те, що трапилося, викладачеві.

# Лабораторна робота № 1

## ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

### 1.1 Лабораторне обладнання і електровимірювальні прилади

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

### 1.2 Мета 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 становить похибку вимірювання. Залежно від числового виразу розрізняють: абсолютні, відносні і приведені похибки.

Абсолютна похибка:

$$\Delta = x - x_0 (\%), \quad (1.1)$$

де  $x$  – показання приладу або результат вимірювання;

$x_0$  – дійсне значення вимірюваної величини.

Відносна похибка:

$$\delta = \frac{100 \cdot \Delta}{x_0} (\%). \quad (1.2)$$

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:

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

де  $\gamma$  – гранично допустиме значення основної похибки або клас точності приладу.

Відносна похибка вимірювань струму, напруги і потужності оцінюється за формулами:

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

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

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

де  $\gamma_I, \gamma_U, \gamma_P$  – клас точності відповідного приладу;

$I_n, U_n, P_n$  – кінцевий діапазон вимірювання величини;

$I, U, P$  – вимірюване значення величини.

При непрямих вимірюваннях відносні похибки оцінюють в інший спосіб. Визначаючи, наприклад, опір за показами амперметра, вольтметра і ватметра, обчислення виконують за однією з наведених нижче 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 застосуванням методів теорії імовірності й математичної статистики під час оброблення результатів вимірювань.

У цій роботі під час 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 таблиці 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	2	3	4	5	6	7	8	9

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).

Як джерело живлення використовувати лабораторний автотрансформатор, а як опір  $R_x$  – два резистора з панелі стенда (рис. А.5, дод. А), з'єднаних паралельно. Для цього клеми  $A$  і  $B$  з'єднують перемичкою і підключаються проводами з виходу вимірювального комплекту до клем  $A$  і  $O$  на панелі стенда (рис. А.5, дод. А) та (рис. 1.1, а). Після перевірки зібраного кола викладачем зняти 15 показів вольтметра на вході й виході вимірювального комплекту, регулюючи величину струму за амперметром від 0,2 А до 0,9 А, як зазначено у таблиці 1.2. Струм змінювати лабораторним автотрансформатором. Перемикання між входом і виходом вимірювального комплекту здійснювати кнопками  $U_{\phi\downarrow}$  (вхід) і  $U_{\phi\uparrow}$  (вихід).

1.4.4 Результати спостережень занести до таблиці 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  $R_x$ .

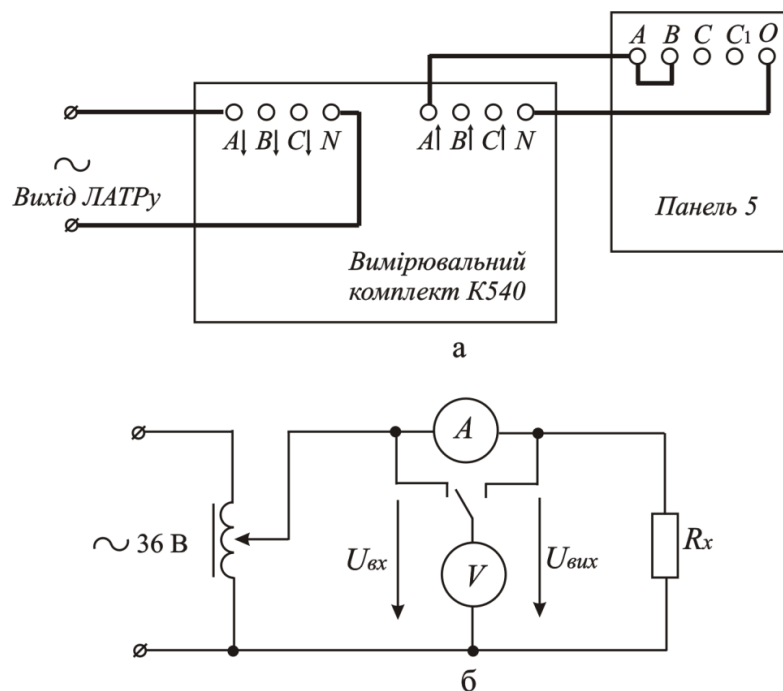


Рисунок 1.1 – Схеми вимірювальної установки: а – монтажна; б – електрична принципова

Таблиця 1.2 – Обробка результатів вимірювань

Номер спостереження	Результати вимірювань			Результати розрахунків						
	$I_i$	$U_{i\text{вх}}$	$U_{i\text{вих}}$	$R_{i\text{вх}}$	$R_{i\text{вих}}$	$\delta_I$	$\delta_{U_{\text{вх}}}$	$\delta_{U_{\text{вих}}}$	$\delta_{R_{\text{вх}}}$	$\delta_{R_{\text{вих}}}$
	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	$R_i$ , Ом		$(R_i - \bar{R})$ , Ом		$(R_i - \bar{R})^2$ , Ом <sup>2</sup>	
	$R_{i\text{вх}}$	$R_{i\text{вих}}$	вхід	вихід	вхід	вихід
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
	$\sum R_i = \bar{R}$				$\Sigma =$	

## 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 й опору, а також значення вимірюваного опору. Результати розрахунків занести до таблиць 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, у який із заданою ймовірністю  $P$  потрапляє 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 таблицею 1.4 залежно від довірчої ймовірності  $P$  і числа ступенів свободи  $(n-1)$ . За формулою (1.17) визначити довірчий інтервал  $\Delta R$  при заданій ймовірності  $p = 0,95$ .

1.5.6 Записати результат обчислень у вигляді:

$$R = \bar{R} \pm \Delta R. \quad (1.18)$$

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 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

### 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 їхню класифікацію.
5. Дайте визначення абсолютної, відносної і приведеної похибок.
6. Поясніть, як визначають відносні похибки вимірювань струму, напруги і потужності.
7. Поясніть, у 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 (рис. А.1, рис. А.2 та рис. А.3, дод. А), ЛАТР, вольтметр Э540 (або Э59), ампервольтметр Ц20, вольтметр В7-27 (або Ф548), міліамперметр М45М.

#### 2.2 Мета 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 під час повірки 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 їхніх похибок.

Під час вибору 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;
- під час повірки приладів на постійному струмі як зразкові рекомендовано застосовувати магнітоелектричні прилади.

При виборі класу точності зразкового приладу потрібно користуватися таблицею 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 їхніх 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 повіряється, а другий – *потенціометром постійного струму*.

Принципова схема потенціометра наведена на рисунку 2.1.

Потенціометри відносяться до приладів порівняння і слугують для вимірювань напруги або ЕРС. Вони забезпечують найбільшу точність вимірювань, їхня 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  $E$ .

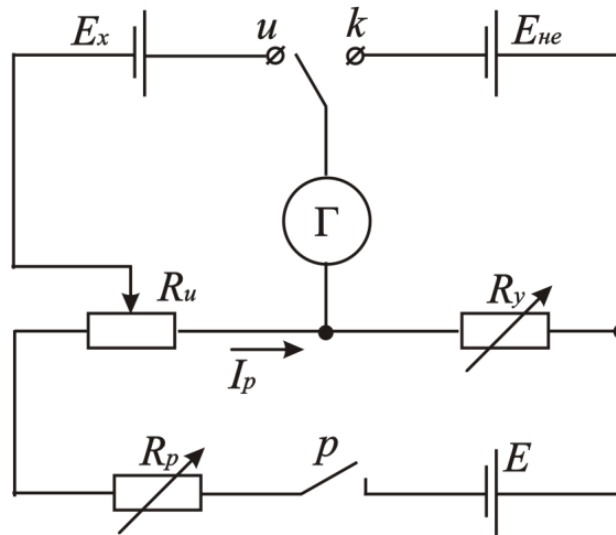


Рисунок 2.1 – Принципова схема потенціометра

Під час вимірювання невідомої ЕРС  $E_x$  її необхідно підключити через високочутливий гальванометр  $\Gamma$  паралельно змінному опору  $R_u$  (перемикач встановити в положення « $u$ »). Змінюючи опір  $R_u$ , домагаються відсутності струму в ділянці вимірюваної ЕРС. За 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  $\Gamma$  підключається паралельно установочному опору  $R_y$  (перемикач встановити в положення « $k$ »).

Змінюючи опір  $R_p$  та  $R_y$ , домагаються відсутності струму в ділянці з  $E_{не}$ . За відсутності струму отримуємо:

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



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 рисунку 2.2.

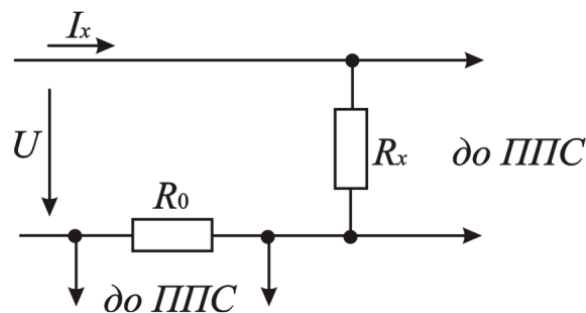


Рисунок 2.2 – Непрямі вимірювання струму або опору

У досліджуване коло необхідно включити послідовно зразковий  $R_0$  і невідомий  $R_x$  опори і виміряти потенціометром напруги на їхніх 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:

$$\Delta = x - x_0. \quad (2.8)$$

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

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

Клас точності приладу визначається за найбільшою основною приведеною похибкою.

Поправка  $\beta$  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 самій 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:

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

Варіація показів приладу не повинна перевищувати значення основної припустимої похибки.

## 2.4 Порядок виконання роботи

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

2.4.2 Зібрати схему для перевірки вольтметра (рис. 2.3). Як джерело живлення використовувати лабораторний автотрансформатор. Як прилад, що перевіряється  $V_x$ , використовувати тестер Ц20 з верхньою межею  $UH = 30$  В (або інший вольтметр з низьким класом точності), як зразковий прилад  $V_0$  використовувати електромагнітний вольтметр Э540 (або Э59) з верхньою межею вимірювання 30 В.

2.4.3 Після перевірки схеми викладачем увімкнути тумблер живлення «36 В» і, користуючись лабораторним трансформатором, змінювати напругу так, щоб стрілка приладу, що перевіряється, установлювалася по чергово на кожній числовій відмітці (згідно з 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 таблиці 2.2.

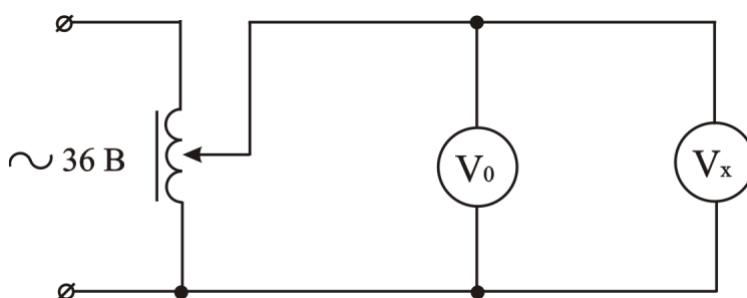
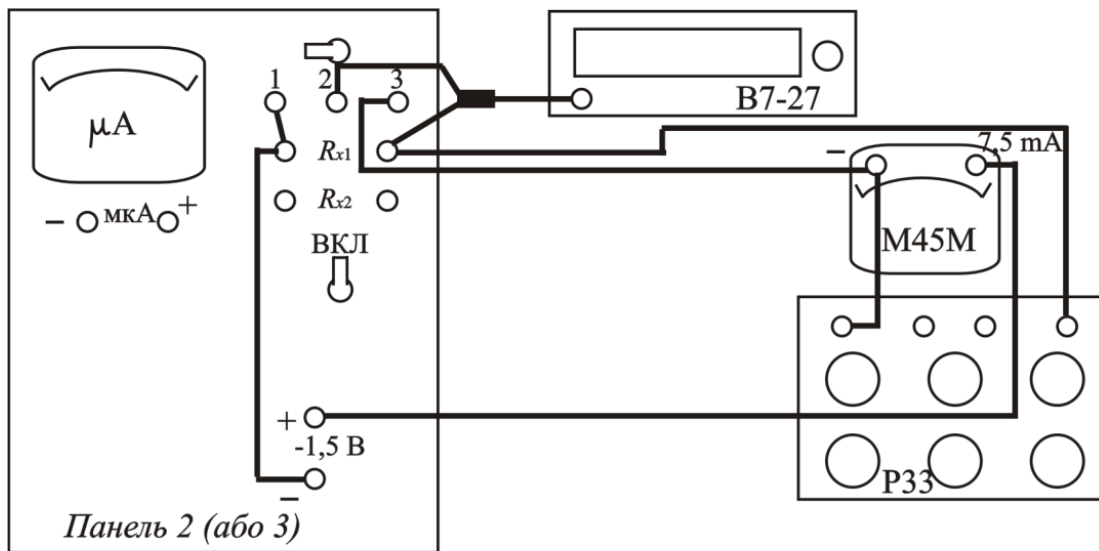


Рисунок 2.3 – Електрична схема перевірки вольтметра

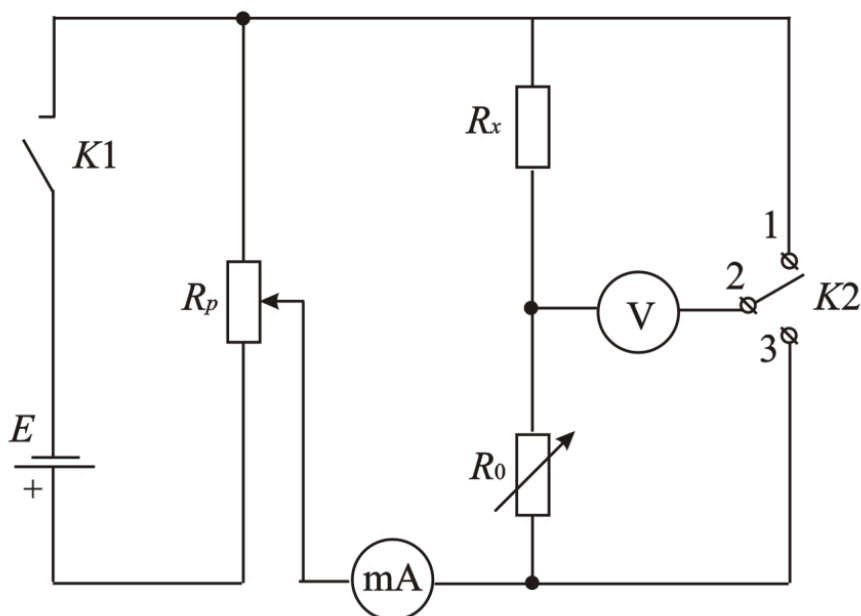
Таблиця 2.2 – До повірки вольтметра

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

2.4.4 Зібрати схему для повірки міліамперметра (рис. 2.4, а). Як джерело живлення використовувати джерело постійної напруги «-1,5 В» з панелі стенда (рис. А.2 або рис. А.3, дод. А). 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) на панелі стенда (рис. А.2 або рис. А.3, дод. А), зразковий опір  $R_0$  – магазин опорів Р33 (рис. 2.4, а). На магазині опорів встановити опір 10 Ом. Як двопозиційний перемикач використовувати ключ із затискачами 1, 2, 3 з панелі стенда (рис. А.2 або рис. А.3, дод. А).



а



б

Рисунок 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 стенда (рис. А.2 або рис. А.3, дод. А). Двопозиційний перемикач повинен знаходитись в положенні «3».

2.4.6 Змінюючи опір  $R_p$  ручками регулювання на панелі стенда (рис. А.2 або рис. А.3, дод. А) встановлювати стрілку міліамперметра почергово на всі

числові поділки при збільшенні, а потім зменшенні струму згідно з таблицею 2.3 і виміряти відповідні значення напруги на зразковому опорі.

2.4.7 Результати вимірювань занести до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – До повірки міліамперметра

Результати вимірювань			Результати обчислень							
Покази міліамперметра	Покази потенціометра		Зразковий опір	Дійсне значення струму		Абсолютна похибка		Поправка	Основна приведена похибка	Варіація показу приладу
	$I_x$	$\uparrow U_0$		$\downarrow U_0$	$R_0$	$\uparrow I_0$	$\downarrow I_0$			
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 рисунку 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 таблиці 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 таблиці 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  $\gamma = \frac{|\beta_{cp}|}{U} \cdot 100\%$ ;

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

Результати розрахунків занести до таблиці 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 таблиці 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 таблиці 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 таблиці 2.4.

### *Контрольні запитання*

1. Назвати основні характеристики приладів, що показують, і дати їхнє 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 стенда 1, 2, 3, 4, 5, 6 (рисунки: А.1, А.2, А.3, А.4, А.5, А.6, дод. А), ЛАТР, магазин опорів Р33, трансформатор струму УТТ-5 або УТТ-5М, мікроамперметр панель стенда (рис. А.2 або рис. А.6, дод. А), міліамперметр М45М, вольтметр Э540 або Э59, вольтметр В7-27, амперметр Э59 або Э537, ватметр Д5065.

#### 3.2 Мета 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, становлять 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).

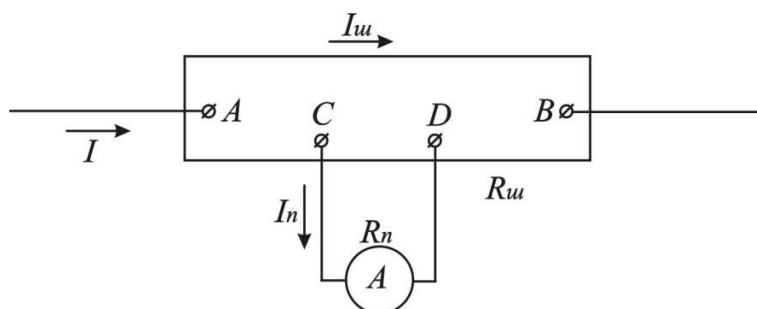


Рисунок 3.1 – Схема включення шунта

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

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

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

де  $p$  – коефіцієнт шунтування, що показує, у скільки разів вимірюваний струм більше струму приладу або в скільки разів розширюються межі вимірювань за струмом.

Коефіцієнт шунтування є незмінним за постійних значень  $R_n$  і  $R_u$  :

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

За рівнянням (3.3) визначають величину опору шунта. Шунти бувають внутрішніми і зовнішніми, їх застосовують 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).

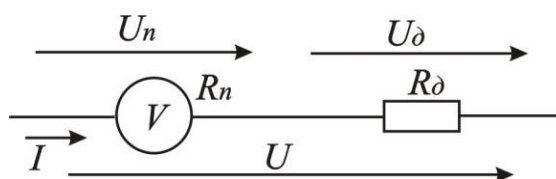


Рисунок 3.2 – Схема включення додаткового опору

Якщо межу вимірювань напруги вольтметром потрібно 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 таблиці 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 становлять осердя з листового магнітом'якого матеріалу з двома обмотками. Їхній принцип дії заснований на використанні явища електромагнітної індукції. Основне призначення вимірювальних трансформаторів – це перетворення (зазвичай 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 поділяють на трансформатори струму і напруги (рис. 3.3).

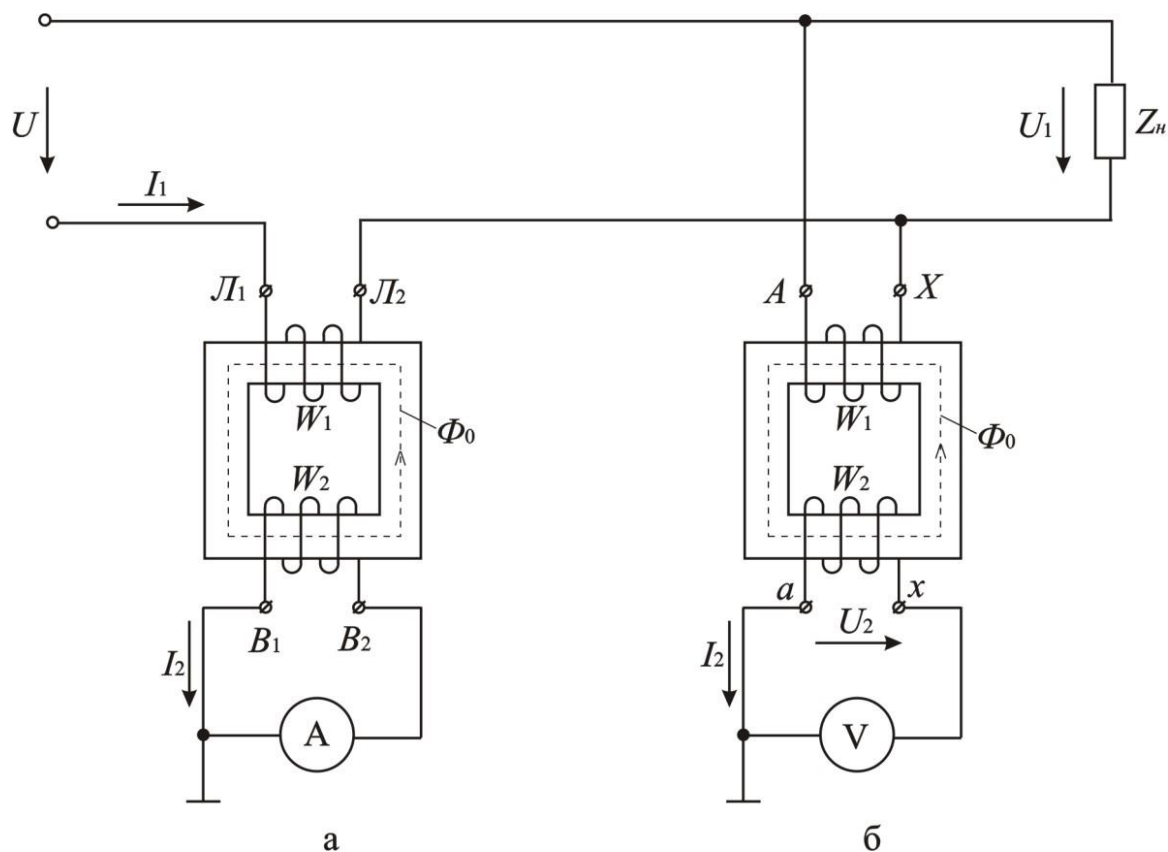


Рисунок 3.3 – Схеми ввімкнення вимірювальних трансформаторів:  
а – трансформатора струму; б – трансформатора напруги

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 у 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,

трансформатори характеризуються кутовою похибкою, що визначається як кут зсуву між вектором первинної величини і оберненим на  $180^\circ$  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 й обладнанням. Занести до таблиці 1.1 технічні й метрологічні характеристики приладів. З таблиці 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, взятими з таблиці 3.2. Результати попередніх обчислень занести до таблиці 3.3.

Таблиця 3.2 – Дані для розрахунку опору шунта і додаткового опору

Номер робочого місця	Для розрахунку $R_{ш}$			Для розрахунку $R_0$		
	$I_{1н}, A$	$I_{2н}, A$	$R_n, Ом$	$U_{1н}, B$	$U_{2н}, B$	$R_n, Ом$
1	2	3	4	5	6	7
1	$7,5 \times 10^{-3}$	$100 \times 10^{-6}$	696	50	7,5	
2	$7,5 \times 10^{-3}$	$100 \times 10^{-6}$	1 020	60	7,5	
3	$7,5 \times 10^{-3}$	$100 \times 10^{-6}$	663	70	7,5	
4	$7,5 \times 10^{-3}$	$100 \times 10^{-6}$	742	30	7,5	

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7
5	$7,5 \times 10^{-3}$	$100 \times 10^{-6}$	436	40	7,5	
6	$7,5 \times 10^{-3}$	$100 \times 10^{-6}$	343	55	7,5	
7	$7,5 \times 10^{-3}$	$50 \times 10^{-6}$	1 490	75	7,5	
8	$7,5 \times 10^{-3}$	$100 \times 10^{-6}$	366	65	7,5	

3.4.3 Зібрати схему для розширення межі вимірювань мікроамперметра (рис. 3.4, а). Як мікроамперметр використовувати відповідний прилад із панелі стенда (рис. А.2 або рис. А.6, дод. А) робочого місця. Як джерело живлення – джерело постійної регульованої напруги -1,5 В з панелі стенда (рис. А.2 або рис. А.3, дод. А) робочого місця, а як шунт – 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 стенда (рис. А.2 або рис. А.3, дод. А).

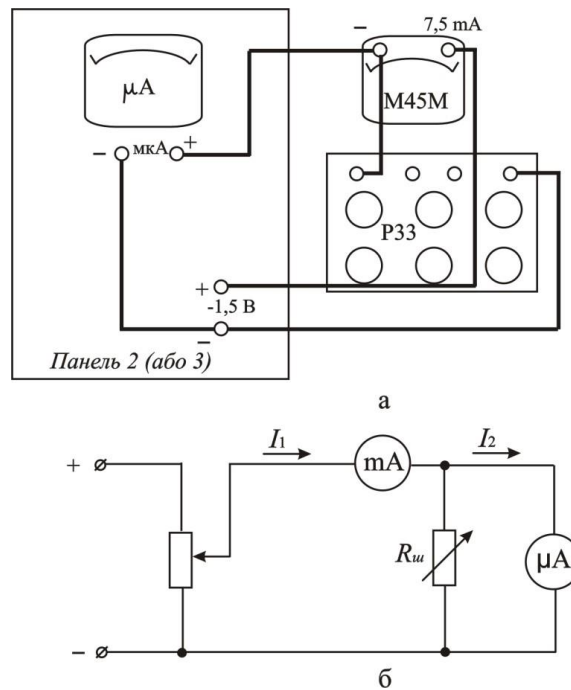


Рисунок 3.4 – Розширення межі вимірювання мікроамперметра:

а – монтажна схема; б – електрична принципова схема

3.4.6 Для п'яти числових значень шкали міліамперметра виміряти відповідний струм мікроамперметра. Результати вимірювань занести до таблиці 3.3. Струм регулювати ручками потенціометрів панель стенда (рис. А.2 або рис. А.3, дод. А).

Таблиця 3.3 – До вимірювань з використанням шунта

Найменування	$I_1$	$I_2$	$p = \frac{I_{2н}}{I_{1н}}$	$R_{ш}$	$I'_1$	$\Delta I$	$\gamma_I$	$C_{I2}$ (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). Як джерело живлення використовувати ЛАТР, як додатковий резистор – магазин опорів P33. Вольтметр V1 – це цифровий вольтметр В7-27, вольтметр V2 – електромагнітний вольтметр Э544 або Э59 (дивитись на робочому місці).

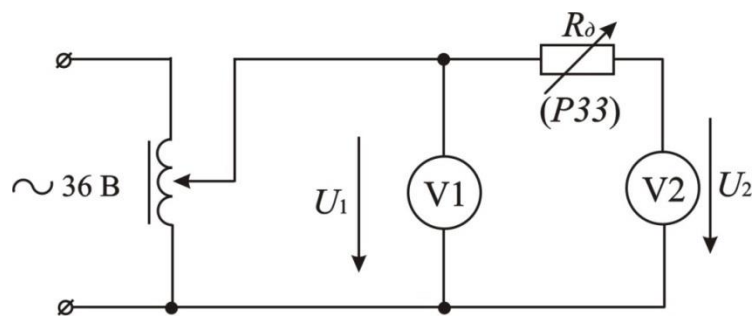


Рисунок 3.5 – Розширення межі вимірювань вольтметра

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

Таблиця 3.4 – До вимірювань з використанням додаткового опору

Найменування	$U_1$	$U_2$	$P = \frac{U_{1H}}{U_{2H}}$	$R_\delta$	$U'_1$	$\Delta U$	$\gamma_U$	$C_{V_2}$
	В	В	–		В	В	%	V/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). Як джерело живлення використовувати ЛАТР, а як навантаження  $Z_H$  – опір  $R_A$  панель (рис. А.5, дод. А) лабораторного стенда (для цього потрібно 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.



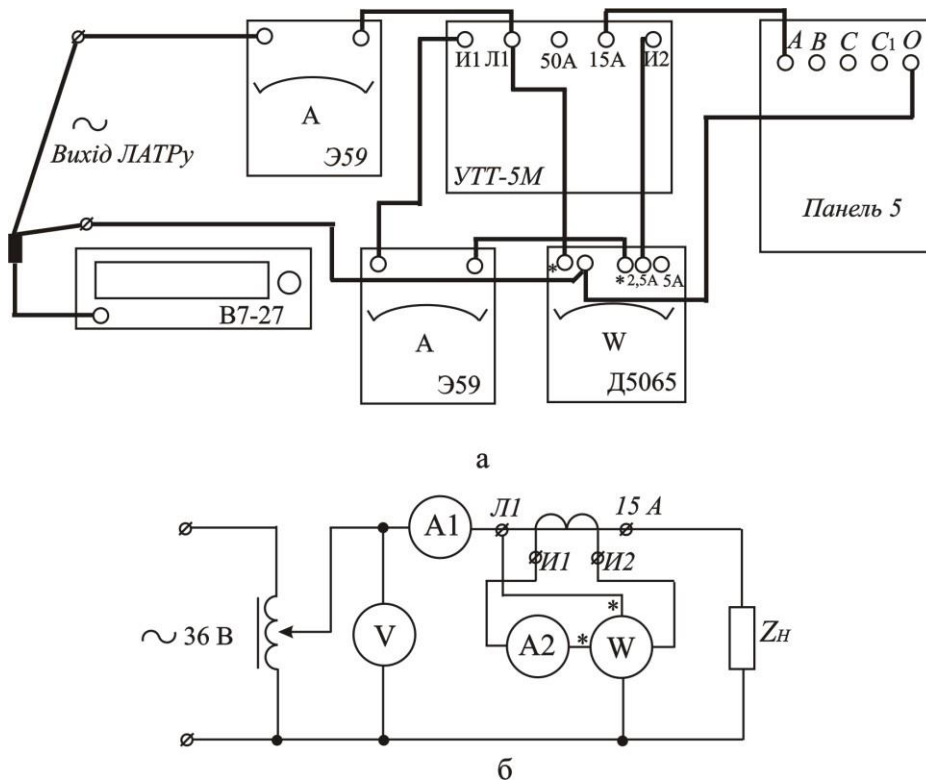


Рисунок 3.6 – Схеми підключення вимірювального трансформатора струму:  
 а – монтажна схема; б – електрична принципова схема

3.4.10 Розрахувати ціну поділки амперметрів і ватметра.

3.4.11 Розрахувати та занести в таблицю 3.5 значення  $K_{In} = \frac{I_{1н}}{I_{2н}}$  (значення

номінальних струмів взяти з трансформатора).

3.4.12 Після перевірки схеми викладачем увімкнути тумблери  $\sim 36$  В та  $\sim 220$  В.

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

Таблиця 3.5 – До вимірювань з використанням трансформатора струму

Найменування	$I_1$	$U_1$	$I_2$	$P_2$	$k_{In}$	$I_1'$	$\Delta I$	$\gamma I$	$P_1$
	А	В	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 таблиці 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  $\gamma_I = \frac{\Delta I_1}{I_{1н}} \cdot 100$ ;

– нову ціну поділки мікроамперметра  $C_{I2} = \frac{I_{1н}}{N}$ , де  $N$  – кількість поділок

шкали мікроамперметра (дивитись на робочому місці).

3.5.2 Для заповнення таблиці 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  $\gamma_U = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_{1н}}$ ;

– нову ціну поділки вольтметра V2 з додатковим опором  $C_{V2} = \frac{U_{1н}}{N}$ ,

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

3.5.3 Для заповнення таблиці 3.5. обчислити і визначити:

– вимірювані значення струму і потужності:  $I'_1 = I_2 \cdot K_{In}$ ;  $P_1 = P_2 \cdot K_{In}$ ;

– абсолютну похибку вимірювань струму  $\Delta I = I'_1 - I_1$ ;

– відносні приведені похибки вимірювань струму  $\gamma_I = \frac{\Delta I \cdot 100\%}{I_{1н}}$ .

#### *Контрольні запитання*

1. Навести класифікацію перетворювачів і накреслити їхню структурну схему.

2. Пояснити, для чого призначені шунти і додаткові опори, навести схеми їхнього включення.

3. Пояснити, у 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 сфери 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 стенда 1 і 2 (рис. А.1 і рис. А.2, дод. А), генератор сигналів низької частоти ГЗ-118, вольтметри: Ф584, Э59 або Э544, Д567, Ц20, В7-27.

#### 4.2 Мета роботи

Метою роботи є:

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

#### 4.3 Загальні відомості

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

##### 4.3.1 Електромеханічні прилади

Такі прилади складаються з вимірювального кола і вимірювального механізму. Вимірювальне коло слугує 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 рухома 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  $\alpha$ , тобто:

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

Для електромеханічних приладів вираз обертального моменту має вигляд:

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

де  $W_{el}$  – 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 рухомої частини механізму залежав від вимірюваної величини, у приладі створюється протидіючий момент, спрямований назустріч обертальному:

$$M_{пр} = f(\alpha). \quad (4.3)$$

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

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

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 таблиці 4.1 наведені основні характеристики вимірювальних механізмів електромеханічної групи.

#### 4.3.2 Випрямні прилади

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

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







де  $B$ ,  $S$ ,  $\omega$ ,  $W$  – конструктивні параметри магнітоелектричного вимірювального механізму;

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

Шкала цих приладів градується в діючих значеннях при синусоїдній формі струму, тобто з урахуванням коефіцієнта форми  $K_\phi$ . 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	$t$	$t, f, M$	$t, f, M$	$t, f$	$t, f$	$t, E$
У яких приладах використовуються	$A$ , $V$ , $\Omega$	$A$ , $V$	$A$ , $V$ , $W$ , $\varphi$ , $Hz$	$A$ , $V$ , $W$	$kWh$	$V$
Максимальна чутливість	$1,5 \times 10^7$	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 становлять 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;

$K_\phi$  – коефіцієнт форми.

Загальні властивості електронних приладів: висока чутливість, мале власне споживання потужності, широкий частотний діапазон (1 000 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, у яких результат вимірювань одержують у 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 їхні технічні й метрологічні характеристики до таблиці 1.1.

4.4.2 Зібрати схему (рис. 4.1). Як вольтметри використовувати такі приладі: електронний  $V_e$  (Ф584), електромагнітний  $V_{em}$  (Э59 або Э544), електродинамічний  $V_{ed}$  (Д567), випрямний  $V_s$  (Ц20), цифровий  $V_{ц}$  (В7-27).

Для паралельного з'єднання вольтметрів використовувати вертикальний ряд затискачів з правого боку панелі стенда (рис. А.2, дод. А). Як джерело живлення використовувати генератор сигналів низької частоти ГЗ-118. Після перевірки схеми викладачем подати напругу на затискачі вольтметрів від генератора сигналів (ГС).

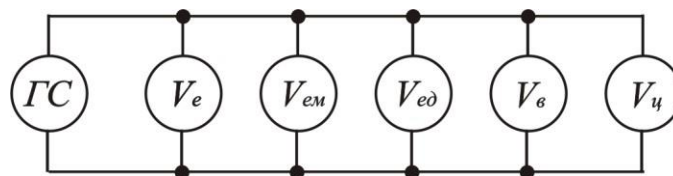


Рисунок 4.1 – Схема паралельного з'єднання п'яти вольтметрів

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 Гц до 20 000 Гц.

#### 4.4.4 Результати вимірювань занести до таблиці 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					
1 000					
1 400					
1 600					
2 000					
4 000					
8 000					
10 000					
14 000					
16 000					
20 000					

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

Таблиця 4.3 – Результати розрахунків споживаної потужності вольтметрів

Тип приладу	Електронний	Електро- магнітний	Електро- динамічний	Випрямний	Цифровий
$R_{вх}$ , Ом					
$U_H$ , В					
$P$ , Вт					

#### 4.5 Обробка результатів експериментів

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

4.5.2 Розрахувати споживану вольтметрами потужність за формулою:

$$P = \frac{U_n^2}{R_{ex}}, \quad (4.9)$$

де  $U_n$  – верхня межа вимірювання приладу.

Результати розрахунків занести до таблиці 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, надати їхню 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 стенда 1, 4 і 6 (рис. А.1, рис. А.4 і рис. А.6, дод. А), ЛАТР, генератор сигналів низької частоти ГЗ-118, магазин опорів РЗЗ, електронний осцилограф С1-83 або С1-93, міліамперметр Э536.

#### 5.2 Мета роботи

Вивчити будову і принцип дії електронного осцилографа (далі – 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 тощо. 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 Будо́ва електронного осцило́графа

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-промене́ва тру́бка (далі – ЕПТ), блок живлення.

Досліджуваний сигнал подається на вхідне гніздо «Вхід У». За допомогою вхідного атенюатора, що становить 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.

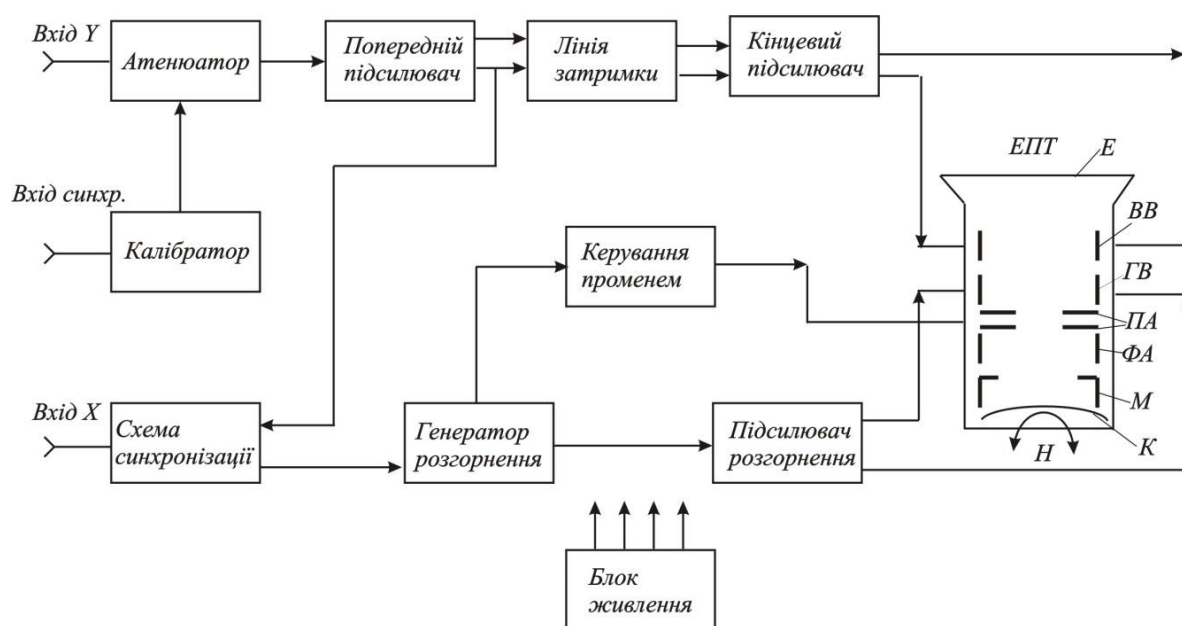


Рисунок 5.1 – Блок-схема електронного осцилографа

Кінцевий підсилювач підсилює досліджуваний сигнал до величини, достатньої для нормального його спостереження на екрані ЕПТ. З попереднього підсилювача вертикального відхилення (далі – 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 Х», 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 становить сфокусований пучок швидкоплинних електронів. Джерелом електронів слугує 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  $\Phi A$ . Енергію, необхідну електронам для руху в пучку та засвічування люмінофора, дає прискорювальний анод  $ПА$ , який має позитивний (щодо катода) потенціал

у декілька кіловольтів.

На шляху до екрана пучок проходить між двома парами вертикально (*BB*) 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*.

### 5.3.2 Підготовка *ЕО* до вимірювань

Перед увімкненням приладу в мережу потрібно попередньо встановити органи керування в такі положення:

- ручки «яскравість», «фокус», «рівень» – у середнє положення;
- «стабільність» – у крайнє праве положення;
- перемикач «Вольт/Под.» – у 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 ввімкнути 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 підсилювача вертикального відхилення (далі – 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 завдяки товщині променя вимірювання здійснюють або за нижніми, або за верхніми краями лінії зображення.

Під час вимірювання 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 непрямим методом: визначають амплітуду напруги на зразковому опорі  $R$  і на невідомому  $Z_x$ , потім обчислюють струм і опір за формулами:

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

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

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 під час вимірювань потрібно 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:

$$\frac{n_g}{n_2} = \frac{f_x}{f_0}, \quad (5.9)$$

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

З рівняння (5.9):

$$f_x = \frac{n_g}{n_2} \cdot f_0. \quad (5.10)$$

За методом кругового розгорнення напруга зразкової частоти за допомогою фазозміщуючого  $RC$  кола формує дві зсунутих на  $90^\circ$  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 променю. 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 двопроменевого або однопроменевого осцилографа одночасно дві досліджувані напруги:  $u_1$  та  $u_2$ . Під час вимірювання за допомогою однопроменевого осцилографу напруги  $u_1$  та  $u_2$  подають через електронний комутатор на вхід каналу вертикального відхилення, а розгортальну напругу, синхронізовану з частотою досліджуваних напруг, – на вхід каналу горизонтального відхилення.

На екрані (рис. 5.2) виходять зображення напруг  $u_1$  та  $u_2$ . За вимірюваними у масштабі відрізками  $ab$  і  $ac$  можна обчислити кут зсуву фаз:

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

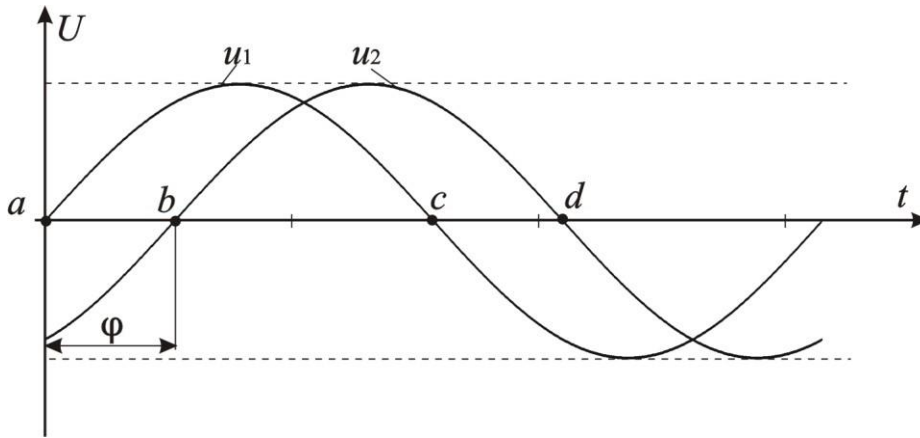


Рисунок 5.2 – Визначення кута зсуву фаз методом лінійного розгорнення  
Для визначення кута зсуву фаз досліджуваних напруг:

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

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

Центр еліпса потрібно 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 (рис. 5.3) відповідає  $0 < \varphi < 90$ .

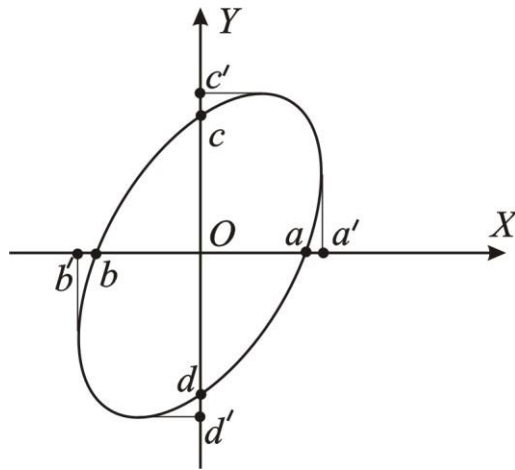


Рисунок 5.3 – Визначення кута зсуву фаз методом еліпса

## 5.4 Порядок виконання роботи

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

5.4.2 Зібрати схему електричного кола (рис. 5.4, а). Як джерело 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. Як  $Z_x$  підключити конденсатор (за вказівкою викладача) на панелі стенда (рис. А.4 або рис. А.6, дод. А), а як зразковий опір використовувати магазин опорів Р33. Зразковий опір встановить на одному з таких значень: 50 Ом, 100 Ом, 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 С1, конденсатор С2 і послідовне з'єднання конденсаторів С1 і С2), наведених в таблиці 5.1, виміряти амплітуду напруги на  $R_0$  і  $Z_x$ , діюче значення струму  $I_0$  за відповідних значень напруги  $U_{R_0}$  (табл. 5.1). Результати вимірювань занести до таблиці 5.1.

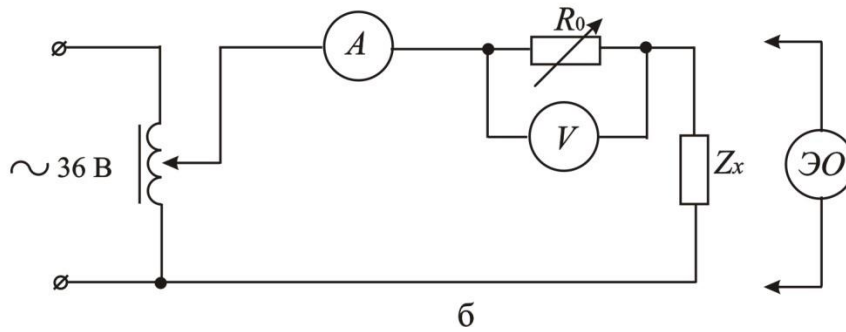
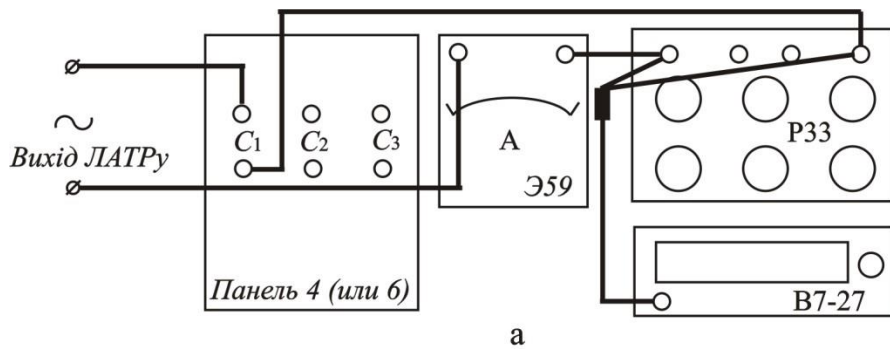


Рисунок 5.4 – Вимірювання електричних величин за допомогою осцилографа:  
а – монтажна схема; б – електрична принципова схема

Таблиця 5.1 – Вимірювання електричних величин осцилографом

Номер досліду	Результати вимірювань					Результати розрахунків							Номер конденсатора
	$U_{R0}$	$U_{mR0}$	$U_{mZx}$	$I_0$	$R_0$	$U'_{R0}$	$U_{Zx}$	$I_x$	$Z_x$	$C_x$	$\delta_I$	$\delta_U$	
	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 (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 рисунком 5.4, б сигнальний дріт першого каналу). Вимкнути генератор розгорнення (натиснути кнопки з позначкою «X-Y» з лівої та правої сторін від екрана).

Подати напругу від ЛАТРа і на екрані ЕО з'явиться зображення у вигляді еліпса. Якщо при збільшені опору  $R_0$  еліпс стискується за горизонталлю, потрібно поміняти місцями дроти підключення другого каналу до ЛАТРа.

5.4.6 За різних значень опору  $R_0$ , відповідно до таблиці 5.2, за осцилограмою виміряти довжину відрізків  $l_{cd}$  та  $l_{c'd'}$ .

5.4.7 Результати вимірювань занести до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Визначення кута зсуву фаз методом еліпса

$R_0$	$Z_{C1(7)}$	$\text{Sin } \varphi_p$	$\varphi_p$	$l_{cd}$	$l_{c'd'}$	$\text{Sin } \varphi_e$	$\varphi_e$	$\delta_\varphi$
Ом	Ом	–	Град	Под.	Под.	–	Град	%
100								
200								
300								
400								
500								
600								
800								
1 000								

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 Гц до 200 Гц (табл. 5.3), одержати на екрані ЕО стійкі зображення фігур Лісажу (для цього генератор розгорнення повинен бути вимкненим (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 таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Визначення частоти напруги за фігурами Лісажу

$f_0$ , Гц	$f_{ген}$ , Гц	$n_1$	$n_2$	$f_{EO}$ , Гц	$\delta_f$
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 таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Визначення частоти напруги методом лінійного розгорнення

$C_x$	$l_x$	$T_x$	$f_x$	$f_{ген}$	$\delta_f$
Мс/под.	под.	мс	Гц	Гц	%
				500	
				800	
				1 000	
				2 000	
				5 000	
				10 000	
				20 000	

## 5.5 Обробка результатів експериментів

5.5.1 Для заповнення таблиці 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

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

Результати обчислень занести до таблиці 5.1.

5.5.2 Для заповнення таблиці 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  $\varphi_e$ ;

– визначити відносну похибку вимірювань кута зсуву фаз за формулою:

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

Результати обчислень занести до таблиці 5.2.

5.5.3 За даними таблиці 5.3, прийнявши частоту мережі  $f = 50$  Гц за зразкову, обчислити вимірювану частоту за формулою (5.10), визначити похибку градуювання шкали генератора ГЗ-118  $\delta_f = \frac{f_{ген} - f_{EO}}{f_{EO}} \cdot 100\%$ .

Результати обчислень занести до таблиці 5.3.

5.5.4 Для заповнення таблиці 5.4, прийнявши частоту, отриману під час вимірювання за допомогою ЕО, за дійсне значення, обчислити відносну похибку градуювання шкали генератора:  $\delta_f = \frac{f_{ген} - f_x}{f_x} \cdot 100\%$ .

Результати обчислень занести до таблиці 5.4.

### *Контрольні запитання*

1. Охарактеризувати призначення електронних осцилографів.
2. Вказати елементи структурної схеми осцилографа та пояснити їхнє 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, у чому полягає синхронізація осцилографу та як її здійснюють.
7. Пояснити, 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 C

#### 6.1 Лабораторне обладнання і електровимірювальні прилади

Панелі лабораторного стенда 1, 2, 4 і 6 (рис. А.1, рис. А.2, рис. А.4 і рис. А.6, дод. А), 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 Мета роботи

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

#### 6.3 Загальні відомості

Опір – один із найважливіших параметрів електричних кіл. За величиною опори 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. Під час вимірювань малих опорів на результат вимірювань впливає опір з'єднувальних проводів, контактів і контактні термо-ЕРС. Під час вимірювань 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. Після встановлення перемикача*

«К» у положення «1» (рис. 6.1, а) вимірюють напругу  $U_0$ . Струм у колі:

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

Після встановлення «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 рисунка 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:

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

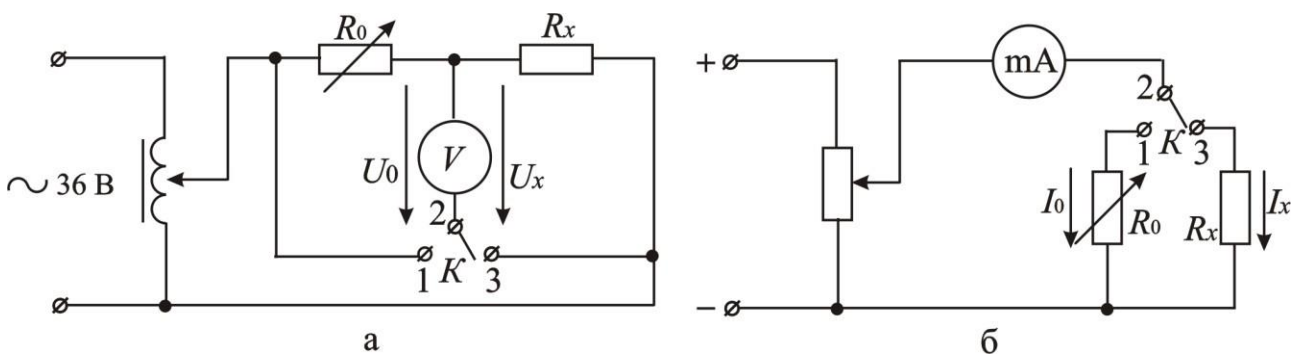


Рисунок 6.1 – Схеми для непрямих вимірювань опорів методом порівняння:

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, у 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 їхні покази правильні тільки за певного значення напруги джерела струму.

Покази омметрів-логометрів не залежать від напруги джерела струму. Промисловість випускає омметри з межами вимірювань від 0 Ом до 100 кОм і від 0,2 Ом до 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 затискачів 1-1' (рис. 6.2) котушку з індуктивністю  $L$  і конденсатор з ємністю  $C$ , вимірюють активну потужність  $P$ , струм  $I$ , напругу  $U$ .

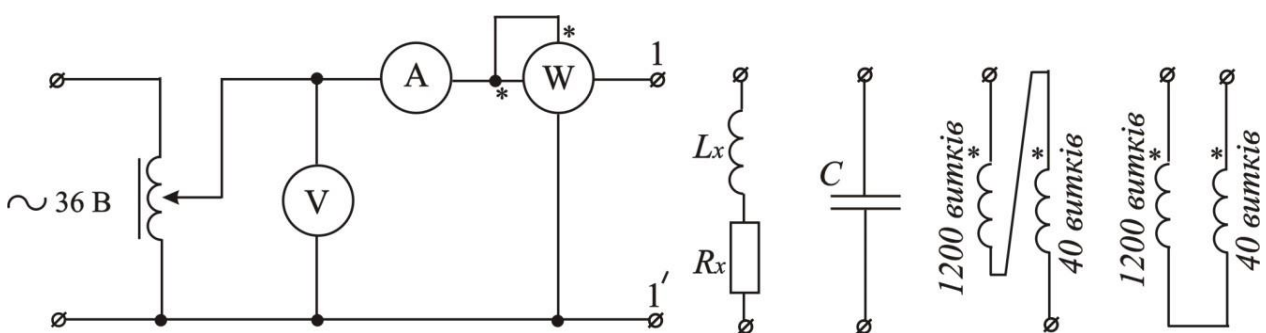


Рисунок 6.2 – Вимірювання параметрів кола методом амперметра-вольтметра-ватметра

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:

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

$$L_3 = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_3}{I_3}\right)^2 - \left(\frac{P_3}{I_3^2}\right)^2}}{\omega}. \quad (6.9)$$

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

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

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

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

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

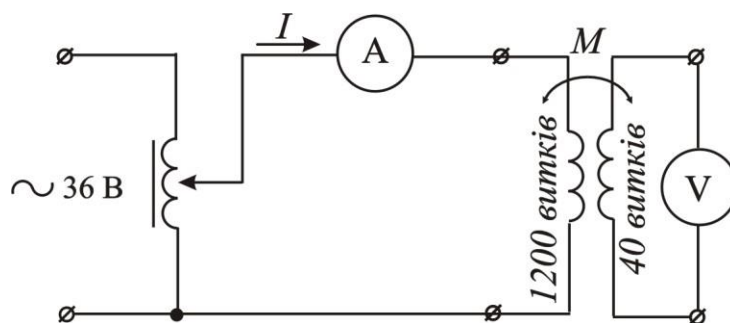


Рисунок 6.3 – Визначення взаємної індуктивності за допомогою амперметра і вольтметра

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 під час вимірювання, тоді  $E_2 = U$ .

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

Після встановлення 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;

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

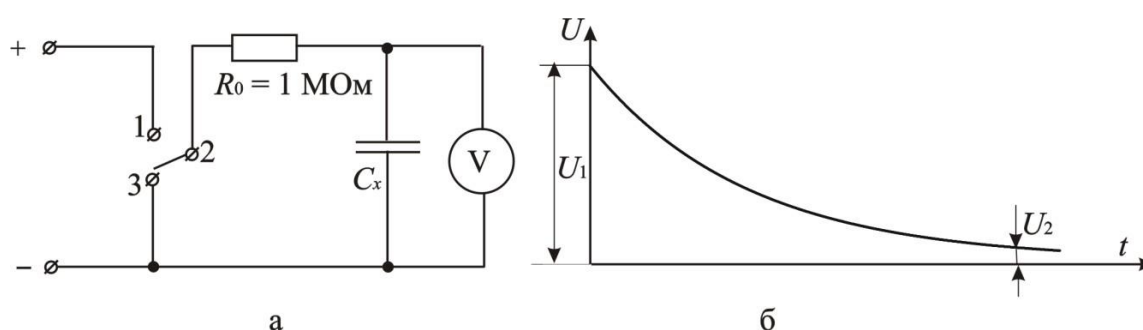


Рисунок 6.4 – Вимірювання ємності за сталою часу: а – схема вимірювання;

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 врівноважувального 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 поширені два варіанти мостів: *одинарні* і *подвійні* (рис. 6.5).



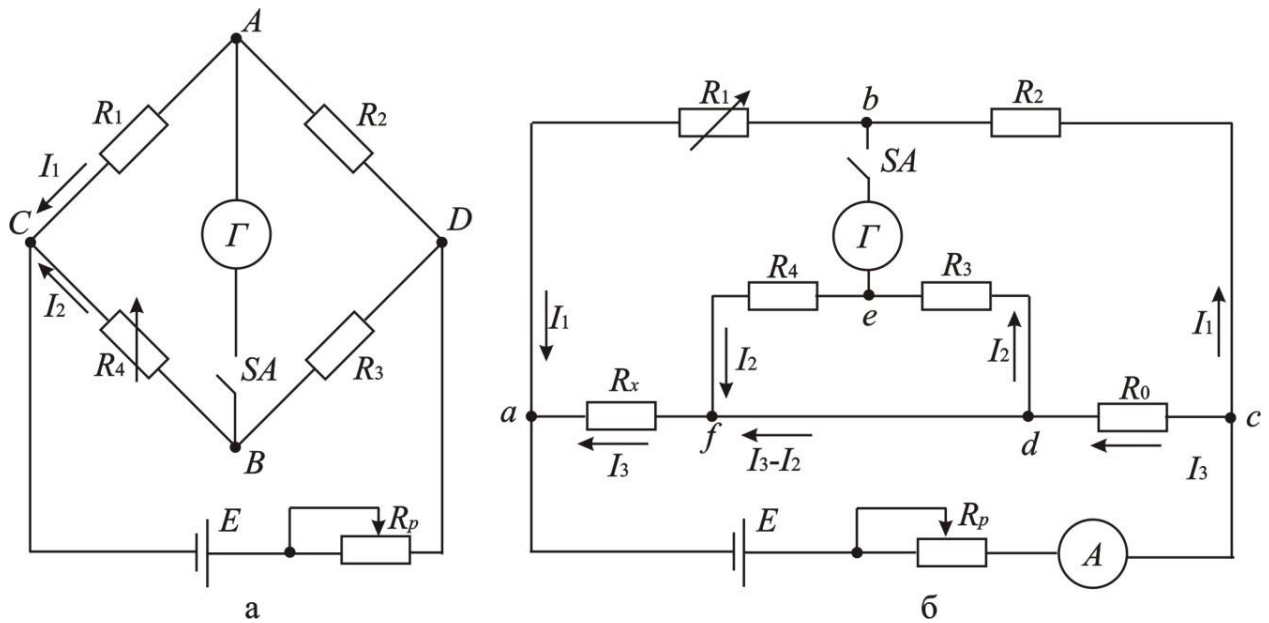


Рисунок 6.5 – Схема вимірювальних мостів постійного струму:

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  $R_2 / R_3$ , називають *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 слугують переважно для вимірювань комплексних опорів. Основні рівняння для мостів змінного струму:

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

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

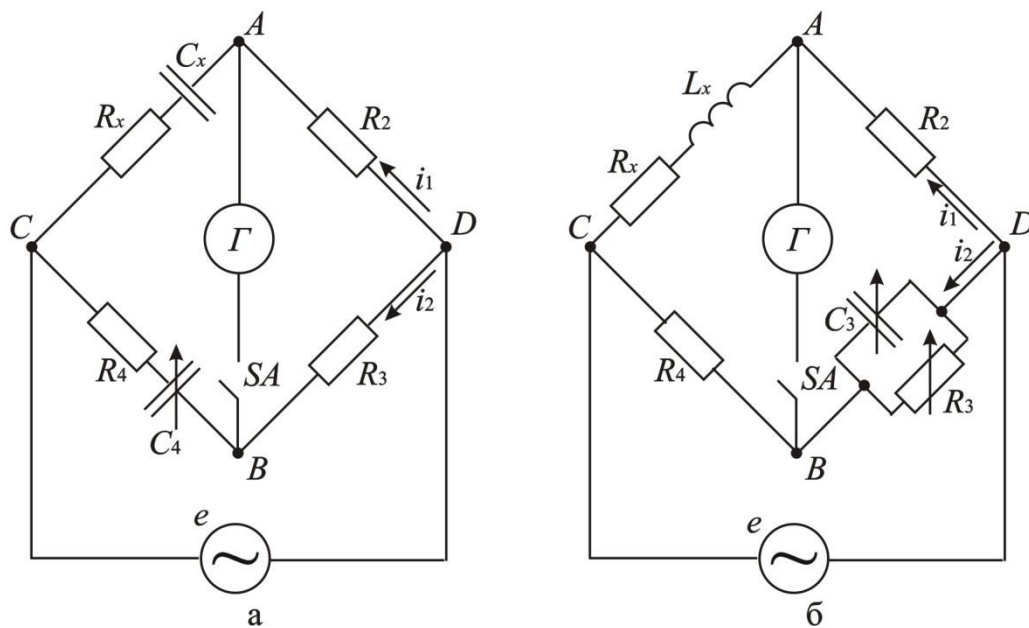


Рисунок 6.6 – Схеми вимірювальних мостів змінного струму

Промислові мости змінного струму зазвичай виготовляють універсальними, що об'єднують 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  $R_1 - R_6$  на панелі стенда (рис. А.4 або рис. А.6, дод. А) мостом постійного струму, або універсальним цифровим вольтметром В7-27. Результати занести до таблиці 6.1.

6.4.3 Виміряти значення шести опорів  $R_1 - R_6$  на панелі стенда (рис. А.4 або рис. А.6, дод. А) мегомметром. Результати занести до таблиці 6.1.

6.4.4 Зібрати схему (рис. 6.7, а), що відповідає електричній принциповій схемі (рис. 6.1, а). Як джерело живлення використовувати лабораторний автотрансформатор. Як зразковий опір використовувати магазин опорів Р33 (рекомендується встановити опір 1 000 Ом на магазині), а як вимірювані взяти за вказівкою викладача три опори з панелі стенда (рис. А.4 або рис. А.6, дод. А). Опори обираються так, щоб їхні значення, вже виміряні мостом постійного струму або цифровим вольтметром, не перевищували 10 кОм. Як вимірювальний прилад взяти цифровий вольтметр В7-27. Ключ з затискачами 1, 2, 3 взяти з панелі стенда (рис. А.2 або рис. А.6, дод. А).

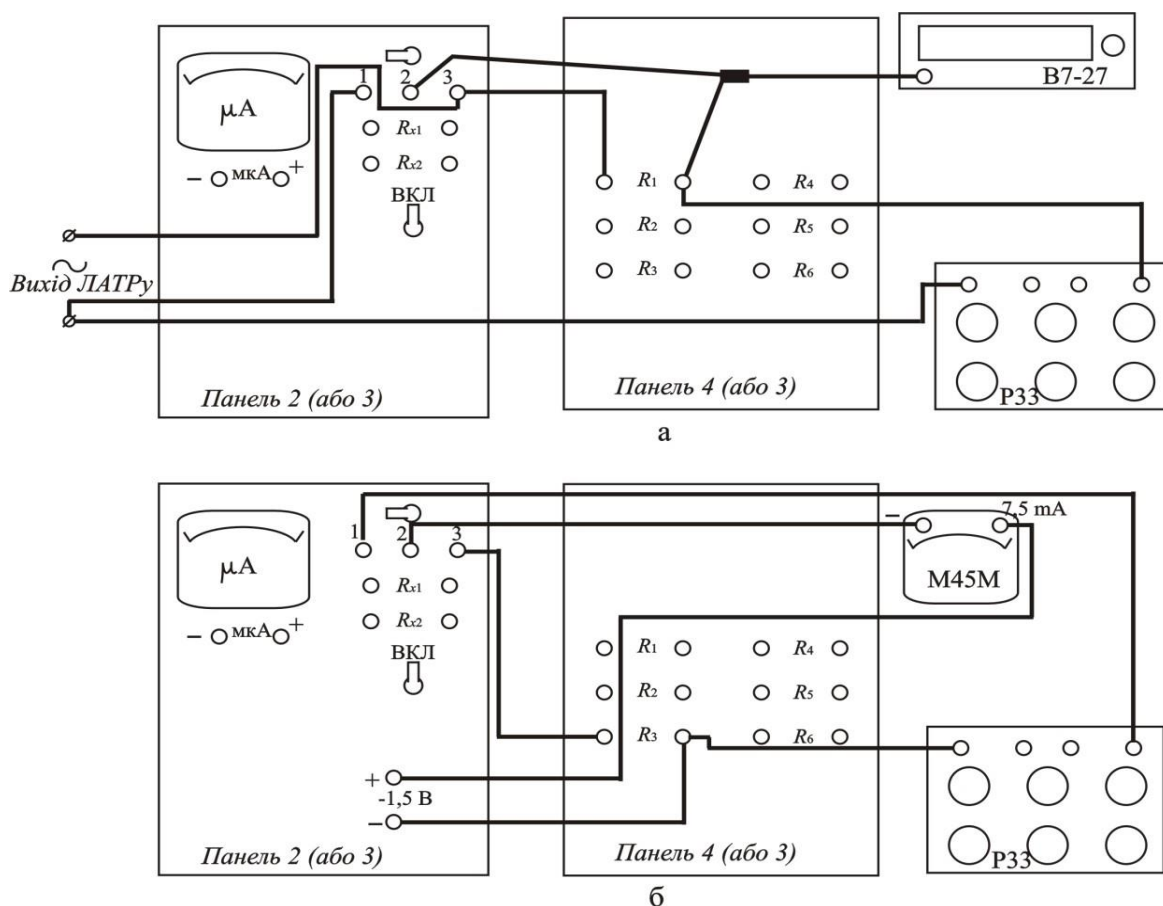


Рисунок 6.7 – Монтажні лабораторні схеми для вимірювання опорів резисторів:  
а – за послідовного з'єднання; б – за паралельного з'єднання

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 таблиці 6.1.

6.4.6 Зібрати схему (рис. 6.7, б), що відповідає електричній принциповій схемі (рис. 6.1, б). Як джерело живлення взяти регульоване джерело постійної напруги з панелі стенда (рис. А.2 або рис. А.3, дод. А) (клеми «+» та «-»). Як зразковий опір використовувати магазин опорів РЗЗ, а як вимірювані – три найменші за величиною опори з панелі стенда (рис. А.4 або рис. А.3 дод. А) (величина вимірюваного опору не повинна перевищувати 1 000 Ом). Вимірювання здійснювати магнітоелектричним приладом М45М з верхньою межею 7,5 мА (або 75 мВ). Ключ із затискачами 1, 2, 3 взяти з панелі стенда (рис. А.2 або рис. А.3, дод. А).

6.4.7 Після перевірки схеми викладачем ввімкнути живлення 36 В і тумблер джерела живлення постійної напруги «ВКЛ» на панелі (рис. А.2 або рис. А.3, дод. А). Встановити на магазині опорів величину опору близьку до вимірюваного. Виміряти струми  $I_0$  і  $I_x$  за максимальної напруги джерела живлення, обчислити опір за формулою (6.4) і результати обчислень занести до таблиці 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 за послідовного з'єднання						
Порівняння за паралельного з'єднання						

6.4.8 Вимірити активний опір обмоток котушок індуктивності омметром Під час вимірювання опору обмоток з кількістю витків 3 600, 2 400, 1 200 використовувати затискачі омметра «-» та «x10», а при вимірюванні опору

обмоток з кількістю витків 40, 25, 15 – затискачі «-» та «х1». Результати занести до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Вимірювання активного опору обмоток котушки індуктивності

Кількість витків котушки індуктивності	3 600	2 400	1 200	40	25	15
$R_x$						

6.4.9 Зібрати схему (рис. 6.2). Як джерело живлення використовувати ЛАТР. Для вимірювань використовувати прилади: електромагнітний амперметр Є59, електродинамічний ватметр Д5065, цифровий вольтметр В7-27. До виходу схеми (точки 1 та 1') по чергово підключати: котушку індуктивності на 1 200 витків (табл. 6.3), конденсатори С1, С2, С3 з панелі стенда (рис. А.4 або рис. А.6, дод. А), (табл. 6.4), котушку індуктивності, поєднуючи спочатку послідовно, а потім зустрічно котушки на 1 200 и 40 витків (табл. 6.5).

6.4.10 Після перевірки схеми викладачем вимкнути тумблери «36 В» і «220 В» та встановити максимальну напругу на ЛАТРі. Виміряти струм, напругу і потужність та занести результати вимірювань до таблиці 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	–
1 200								

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

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

6.4.11 Зібрати схему (рис. 6.3), як джерело 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 увімкнути тумблери «36 В», «220 В» і встановити максимальну напругу на ЛАТРі. Виміряти струм і напругу, а результати занести до таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Вимірювання взаємної індуктивності методом амперметра й вольтметра

$I_1$	$E_2$	$f$	$\omega$	$M$
А	В	Гц	$c^{-1}$	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 3 600, 2 400, 1 200 виміряти індуктивність і добротність. Результати занести до таблиці 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	3 600	2 400	1 200
$L$ (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 таблиці 6.3, 6.4, 6.5.

6.5.2 Обчислити за формулою (6.12) взаємну індуктивність. Занести результат обчислення до таблиці 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, у 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 сфери застосування мостів постійного струму.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Шаповаленко О. Г. Основи електричних вимірювань : підручник / О. Г. Шаповаленко, В. М. Бондар. – Київ : Либідь, 2002. – 320 с.
2. Поліщук Є. С. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук. – Львів : Новий світ, 2003. – 460 с.
3. Єрмілова Н. В. Основи метрології і електричних вимірювань : навч. посіб. до самост. вивч. курсу / Н. В. Єрмілова, С. Г. Кислиця. – Полтава : ПолтНТУ, 2017. – 141 с.
4. Блецкан Д. І. Електричні вимірювання : підручник / Д. І. Блецкан, А. А. Горват, В. М. Кабацій. – Ужгород : ВАТ «Видавництво Закарпаття», 2008. – 400 с.
5. Полищук Е. С. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин : учебник / Е. С. Полищук. – Київ : Вища школа, 1984. – 386 с.
6. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Г. Володарський, В. В. Грабко. – Херсон : Олді+, 2020. – 538 с. – ISBN: 978-966-2393-88-0.
7. Гуржій А. М. Електричні і радіотехнічні вимірювання : посібник / А. М. Гуржій, Н. І. Поворознюк. – Київ : Навчальна книга, 2002. – 287 с.
8. Карев В. Н. Задачи для лабораторных работ по курсу «Основы метрологии» для контроля знаний : пособие / В. Н. Карев, Е. П. Волкова. – Харьков : ХИИГХ, 1990. – 78 с.



ДОДАТОК А

Компонування панелей лабораторних стендів

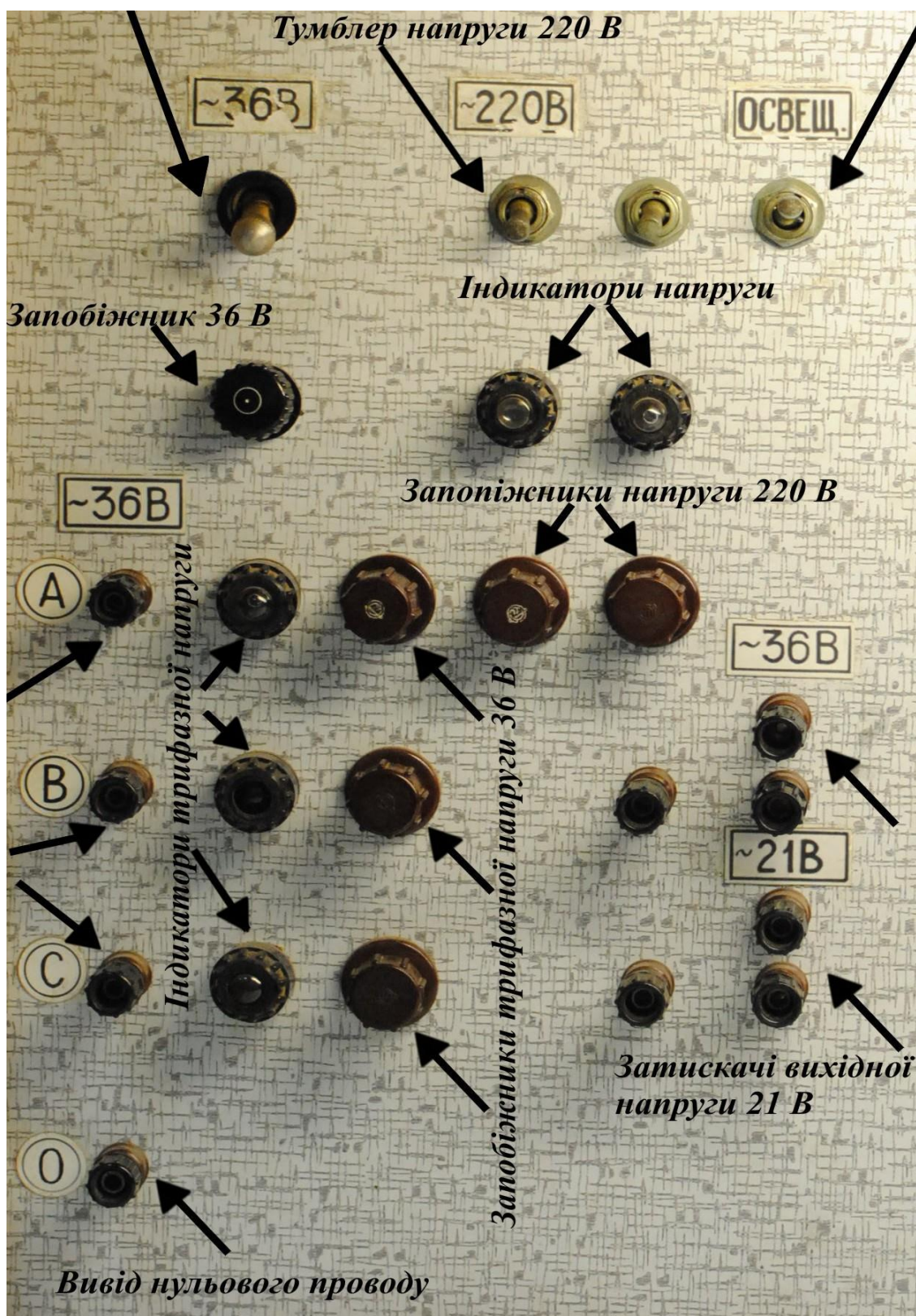


Рисунок А.1 – Панель 1 (панель живлення)

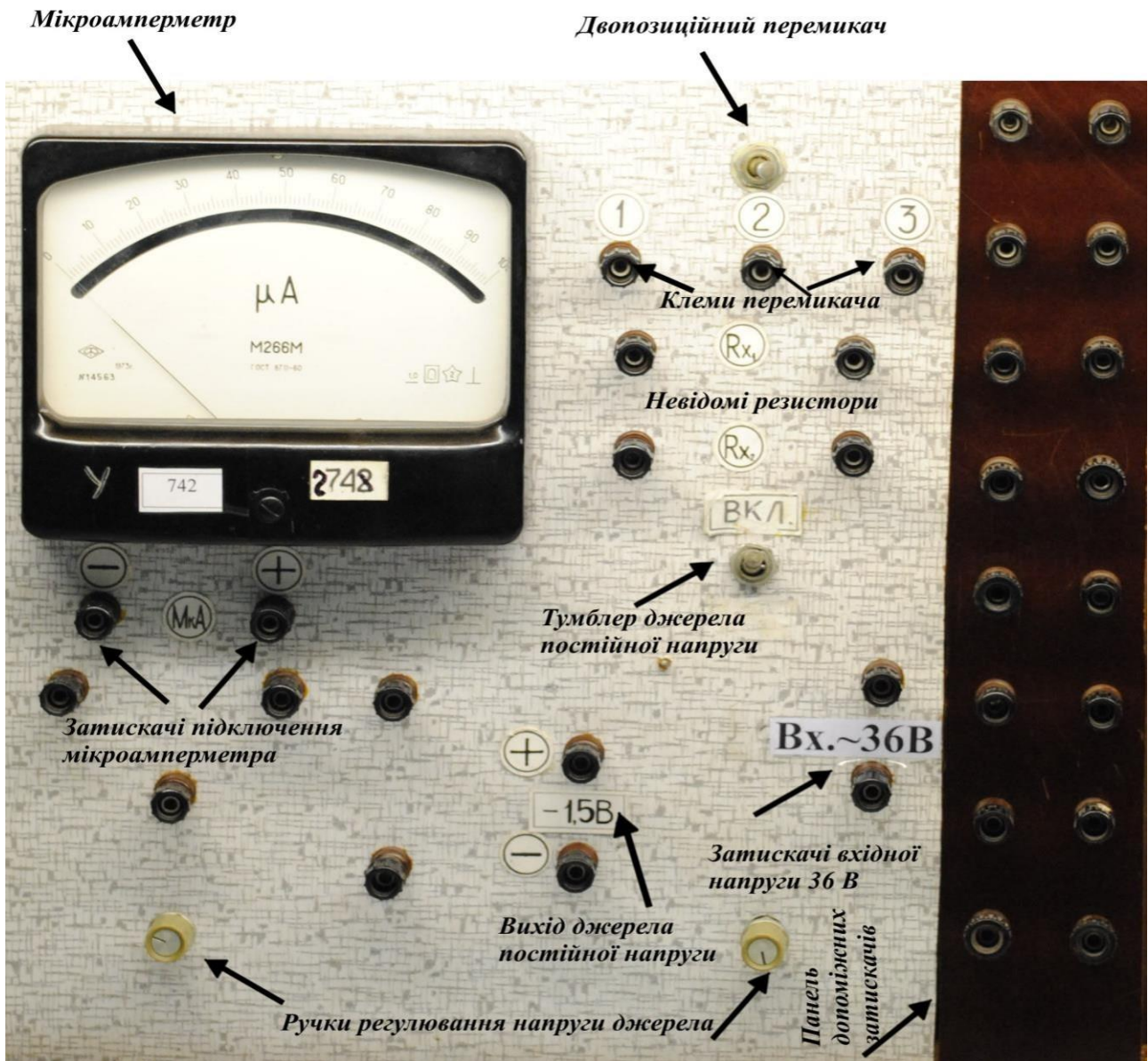


Рисунок А.2 – Панель 2 (панель живлення)

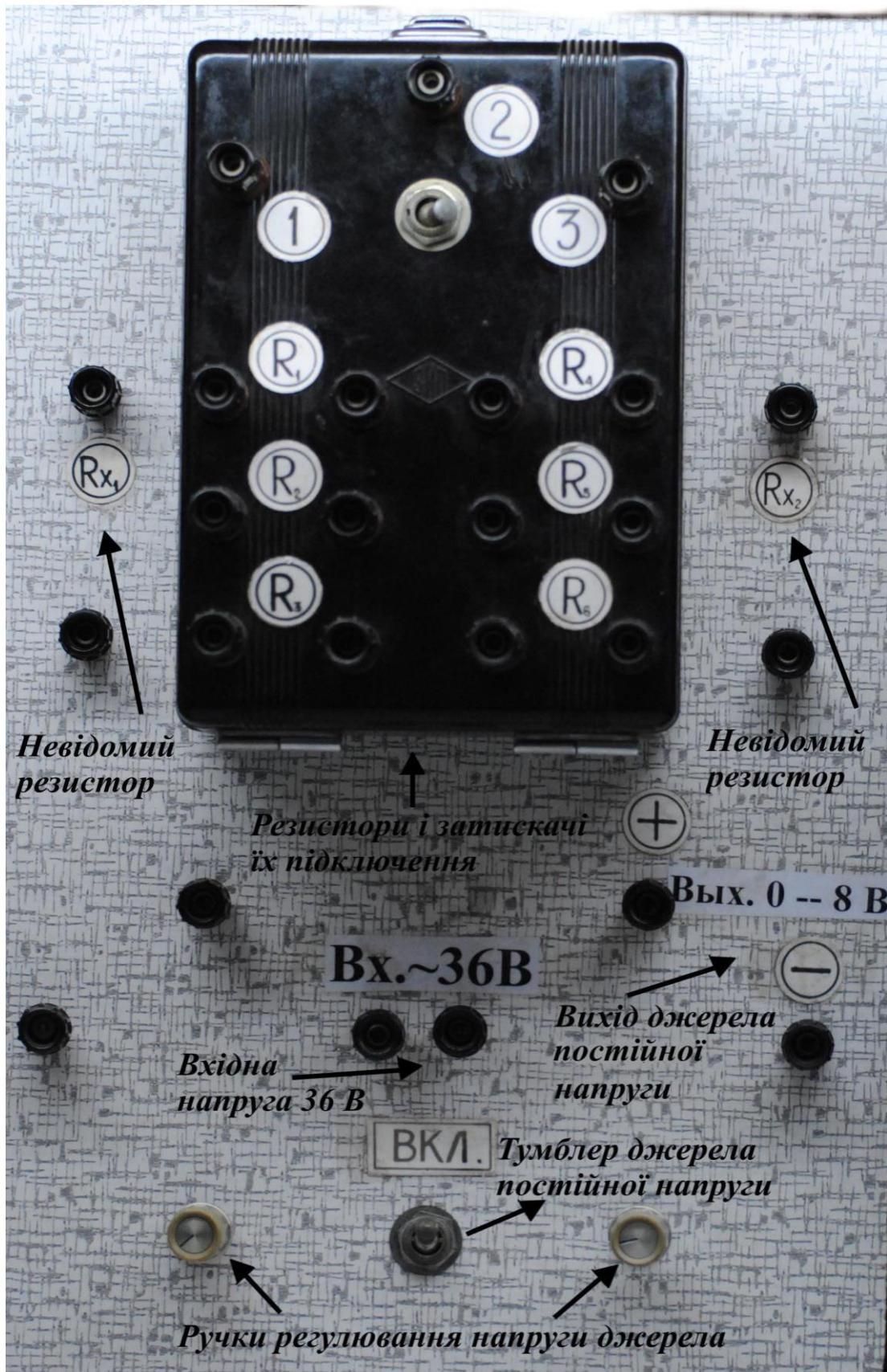


Рисунок А.3 – Панель 3 (комбінована панель живлення і пасивних елементів)

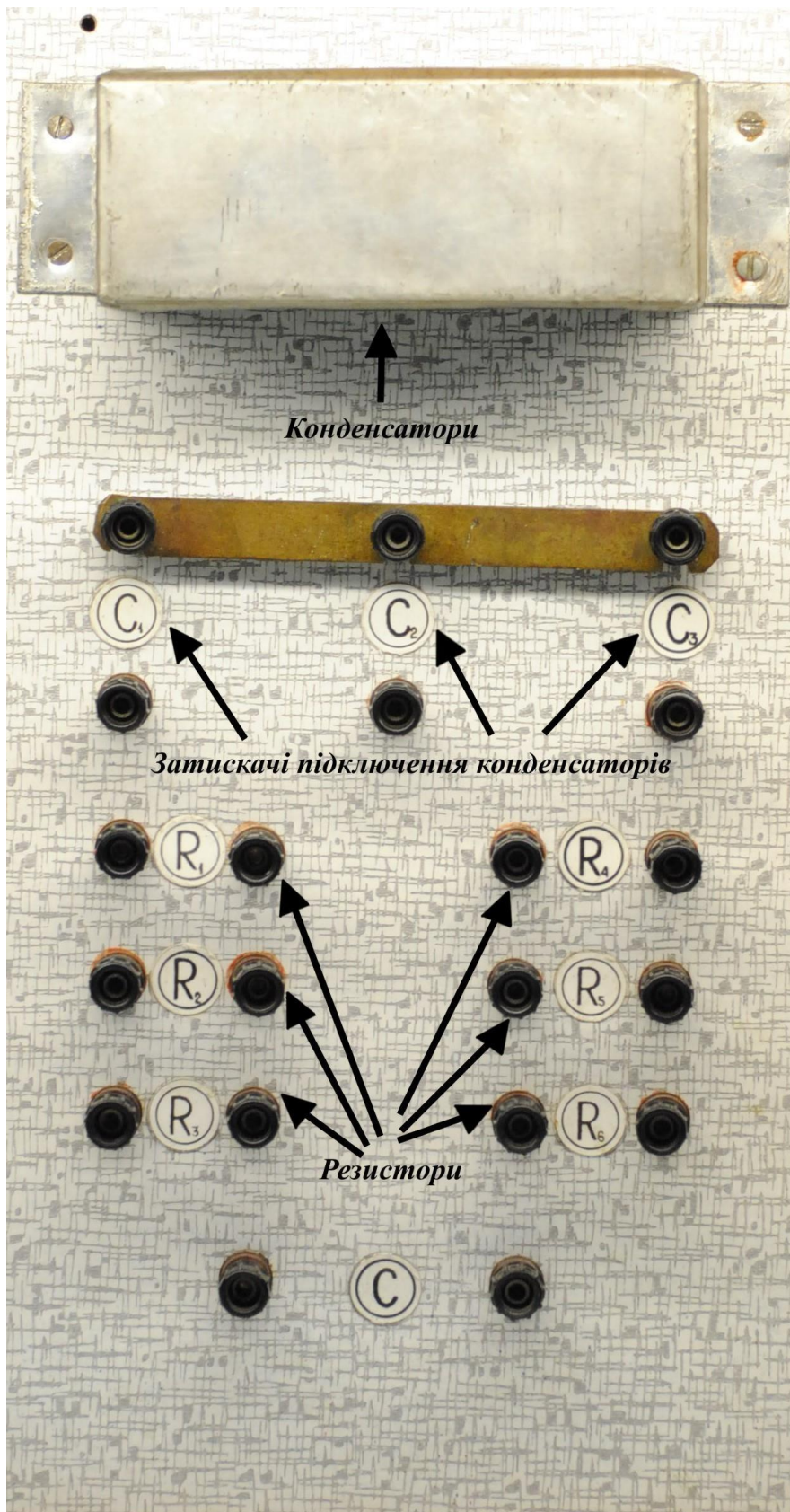


Рисунок А.4 – Панель 4 (панель пасивних елементів)

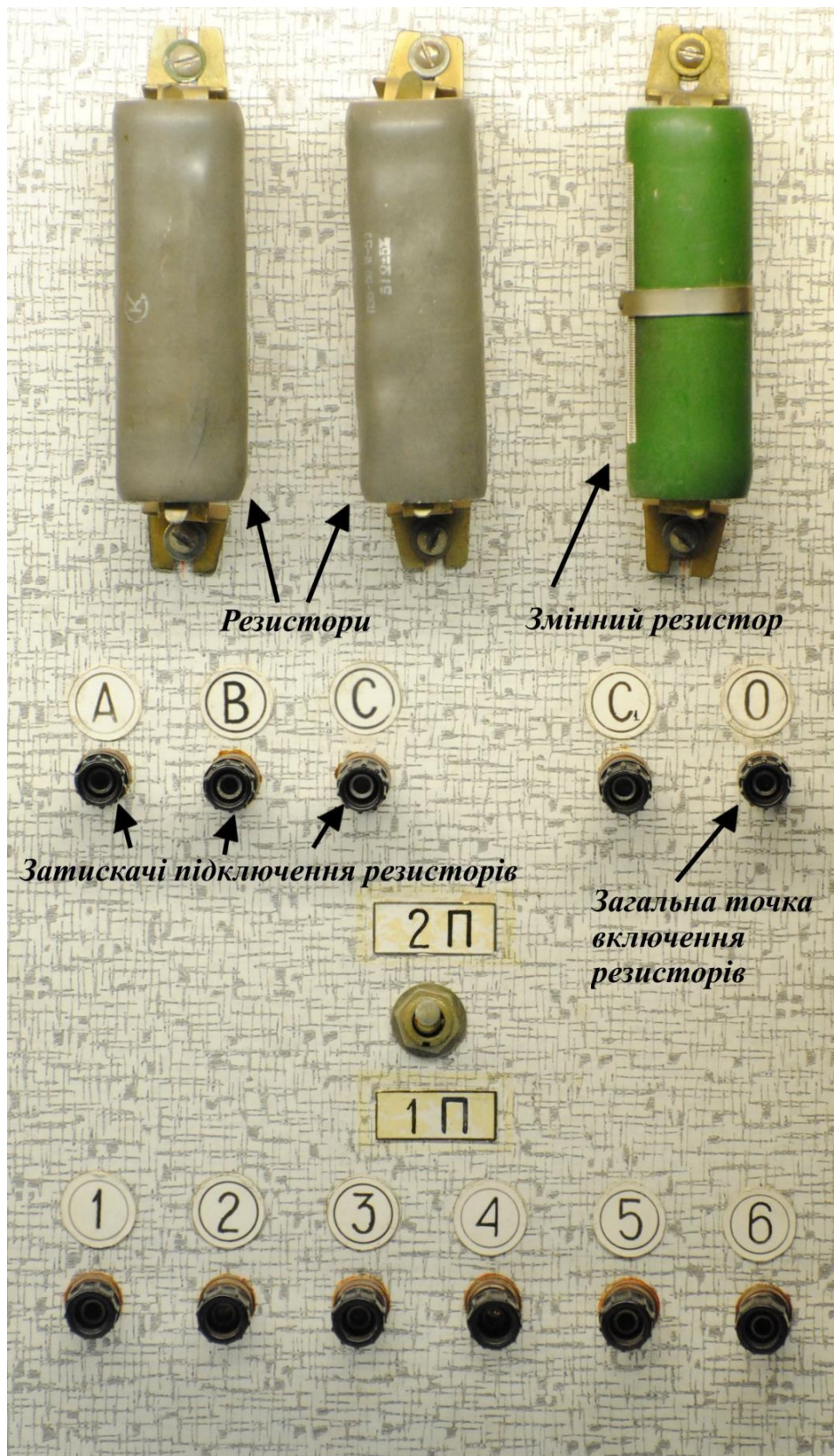


Рисунок А.5 – Панель 5 (панель пасивних елементів)



Рисунок А.6 – Панель 6 (панель пасивних елементів)

## ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – 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
Мікроамперметр	M266M	100 мкА	–	–		2 кВ	На робочому місці	1,0
Мікроамперметр	M265M	50 мкА або 100 мкА	–	–		2 кВ	На робочому місці	1,5
Мікроамперметр	M903/1	100 мкА	–	–		2 кВ	На робочому місці	1,5
Міліамперметр	M45M	1,5–30 мА	–	–		2 кВ	10 Ом	1,0
Міліамперметр	Э536	50–200 мА	~	45–100 Гц		2 кВ	19–1,2 Ом	0,5
Амперметр	K540	0,1–600 А	~	45–65 Гц		2 кВ	–	0,5
Амперметр	Э59	0,25–1 А або 1 та 2 А	~	45–55 Гц		2 кВ	0,7–0,05 Ом	0,5
Амперметр	Э537	0,5–1 А	~	45–100 Гц		2 кВ	0,24–0,06 Ом	0,5
Ампервольт-омметр	Ц20	3–600 В 0,3–750 мА 500 кОм	~	45–5 000 Гц		2 кВ	62·10 <sup>3</sup> Ом	4,0
Мілівольтметр	M45M	7,5 мВ	–	–		2 кВ	10 Ом	1,0
Вольтметр	K540	15–600 В	~	45–65 Гц		2 кВ	133,3 Ом/В	1,0
Вольтметр	Э544	7,5–60 В	~	45–65 Гц		3 кВ	100–2 400 Ом	0,5
Вольтметр	B7-27	1–1 000 В 0,001–100 мА 1–10 <sup>7</sup> Ом	~	20–10 <sup>8</sup> Гц	Цифровий	2 кВ	10 <sup>6</sup> Ом	1,0
Вольтметр	Э59	7,5–60 В	~	45–55 Гц		2 кВ	83,3–2 000 Ом	0,5
Вольтметр	Д567	15–600 В	~	45–2 500 Гц		2 кВ	3–120 кОм	1,0
Вольтметр	Ф584	0,001–300 В	~	50–10 <sup>8</sup> Гц	Електрон.	2 кВ	10 <sup>7</sup> Ом	0,5; 1,0
Вольтметр	Ф5053	0,001–300 В	~	10–4 × 10 <sup>6</sup> Гц	Електрон.	2 кВ	10 <sup>7</sup> Ом	0,5–1,5
Мілівольтамперметр	Ф5263	0,001–300 В 0,01–1 А	~	50–10 <sup>8</sup> Гц	Електрон.	2 кВ	10 <sup>7</sup> Ом	0,5; 1,0
Ватметр	Д5065	30–600 В 2,5 та 5 А	~	45–65 Гц		2 кВ	10–200 Ом 0,008–0,004	0,5
Омметр	M371	10 та 100 Ом	–	–		0,5 кВ	–	1,5
Мегомметр	M1101M	200 кОм – 100 МОм	–	–		1,5 кВ	–	1,0
Осцилограф універсальний	C1-83	0,001–20 В/дел 5 × 10 <sup>7</sup> –5 с/дел.	~	0–5–10 <sup>6</sup> Гц	Електрон.	2 кВ	10 <sup>6</sup> Ом 5 × 10 <sup>4</sup> Ом	8,0
Осцилограф універсальний	C1-93	0,05–10 В/дел 1 × 10 <sup>7</sup> –1 с/дел.	~	0–15–10 <sup>6</sup> Гц	Електрон.	2 кВ	10 <sup>6</sup> Ом 5 × 10 <sup>4</sup> Ом	4,0
Трансформатор струму	УТТ-5	15 та 50 А	~	50 Гц	–	2 кВ	14 × 10 <sup>3</sup> Ом	0,2
Міст змінного струму	P577	0,1–1,1 × 10 <sup>7</sup> Ом 10 <sup>3</sup> –1,1 × 10 <sup>5</sup> мГн 10 <sup>6</sup> –1,1 × 10 <sup>3</sup> мкФ	~	40–200 Гц	Прилад порівняння	2 кВ	–	1,0

**ДОДАТОК В**  
**Зразок оформлення титульної сторінки**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Кафедра альтернативної електроенергетики та електротехніки**

**ЗВІТ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 1**  
з дисципліни «**Основи метрології та електричних вимірювань**»

**«Обробка результатів вимірювань»**

Варіант 1

Виконав:

студент 2 курсу ННІЕІТІ

групи НВДЕ 2024-1

**Кирило Олександрович Ятченко**

Перевірив викладач:

асист. **Сергій Іванович Корнелюк**

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2024**



*Електронне навчальне видання*

Методичні рекомендації  
до виконання лабораторних робіт  
із навчальної дисципліни

**«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі: **ТУГАЙ** Дмитро Васильович,  
**ЄГОРОВ** Олексій Борисович,  
**КОРНЕЛЮК** Сергій Іванович,  
**ФОРКУН** Яна Борисівна

Відповідальний за випуск *О. Б. Єгоров*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2023, поз. 214М

---

Підп. до друку 13.08.2024. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 4,7.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [office@kname.edu.ua](mailto:office@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.