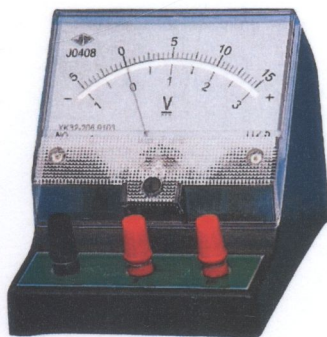


В. Ф. Граняк, В. В. Кухарчук

**ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ
ВИМІРЮВАНЬ**

Частина 1



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. Ф. Граняк, В. В. Кухарчук

**ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ
ВИМІРЮВАНЬ**

Частина 1

Лабораторний практикум

Вінниця
ВНТУ
2017

УДК 621.3.08 (075)

ББК 31.221я73

Г77

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 3 від 29.09.2016 р.)

Рецензенти:

А. Я. Кулик, доктор технічних наук, професор

М. Й. Бурбело, доктор технічних наук, професор

О. Б. Мокін, доктор технічних наук, професор

Граняк, В. Ф.

Г77 Основи метрології та електричних вимірювань. Частина 1 : лабораторний практикум / В. Ф. Граняк, В. В. Кухарчук. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 89 с.

Лабораторний практикум присвячений розгляду лабораторних робіт з дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань» і містить методичні матеріали та теоретичні відомості, необхідні для їхнього виконання.

УДК 621.3.08(075)

ББК 31.221я73

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1. Оцінювання основних статичних метрологічних характеристик.....	4
Лабораторна робота № 2. Вимірювання основних електричних величин.....	21
Лабораторна робота № 3. Вимірювання струмів та напруг з використанням масштабних перетворювачів.....	31
Лабораторна робота № 4. Вимірювання потужності в трифазних колах..	42
Лабораторна робота № 5. Повірка однофазного лічильника активної енергії.....	51
Лабораторна робота № 6. Вимірювання опорів на постійному струмі.....	59
Лабораторна робота № 7. Вимірювання електричних величин компенсатором постійного струму.....	68
Лабораторна робота № 8. Електронний осцилограф.....	72
Рекомендована література.....	82
Додаток А. Приклад оформлення звіту з лабораторної роботи.....	83

Лабораторна робота № 1

Оцінювання основних статичних метрологічних характеристик

Мета роботи

1. Навчитися визначати основні статичні метрологічні характеристики.
2. Навчитися здійснювати оцінювання похибки багаторазових вимірювань.
3. Дослідити вплив систематичної та випадкової складових на вигляд закону розподілу похибки вимірювань.

1 Короткі теоретичні відомості

Функцією перетворення називають залежність між вихідною (y) та вхідною (x) величинами засобу вимірювальної техніки.

Функція перетворення може бути подана у вигляді таблиці, графіка, формули.

Аналітична залежність вимірювального перетворення, що входить до складу засобу вимірювань і описує зв'язок вихідного та вхідного сигналів, називається рівнянням перетворення – $y = f(x)$.

Графічне подання функції перетворення називають *статичною характеристикою*.

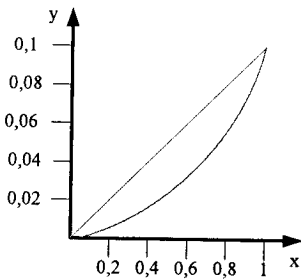


Рисунок 1.1 – Приклад статичних характеристик

Статична характеристика засобу вимірювань може бути як лінійною, так і нелінійною (рис. 1.1). Остання може бути з достатнім ступенем точності лінеаризована.

Градувальна характеристика – залежність між значеннями вимірюваної величини на виході та вході засобу вимірювань, що отримані під час градування (калібрування) та подані у вигляді таблиці, графіка або формули.

Похибки вимірювань систематизуються за тими ознаками (рис. 1.2), що визначають їх основні особливості.

За способом вираження похибки поділяються на абсолютні й відносні; за характером зміни – на систематичні і випадкові.

Систематична похибка. Складова похибки, що залишається сталою або прогнозовано змінюється у ряді вимірювань тієї ж величини.

Випадкова похибка. Складова похибки, що не прогнозовано (випадково) змінюється у ряді вимірювань тієї ж величини.

У загальному випадку похибка результату вимірювання містить систематичну й випадкову складові, навіть якщо було введено поправки на систематичні похибки, викликані відомими факторами впливу. Пояснюється це, по-перше, тим, що значення факторів не залишаються у процесі вимі-

рювання постійними, а, по-друге, тим, що на результат вимірювання впливають фактори, дія яких у даному експерименті не передбачалася, або ж фактори, дію яких неможливо врахувати.

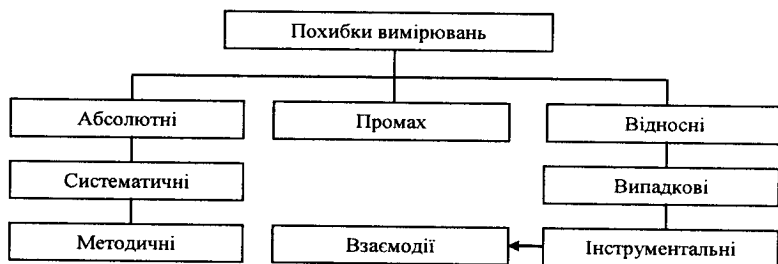


Рисунок 1.2 – Класифікація похибок вимірювання

Оскільки у похибку вимірювання входить випадкова складова, то її потрібно вважати величиною випадковою. Значення повної похибки вимірювання для будь-якого моменту часу визначається.

Використовуючи апарат підсумовування частинних (часткових) похибок випадкового характеру і частинних (часткових) похибок систематичного характеру, можна оцінити повну похибку вимірювання.

Похибки вимірювань зазвичай носять випадковий характер. Випадковість зумовлюється: нестационарністю і випадковим характером вимірюваної фізичної величини; несталістю метрологічних характеристик засобів вимірювань, яка визначається випадковим характером формування коефіцієнтів перетворення вимірювальних пристроїв; випадковим характером впливу зовнішніх факторів на засіб вимірювання у процесі вимірювального експерименту (рис. 1.3).

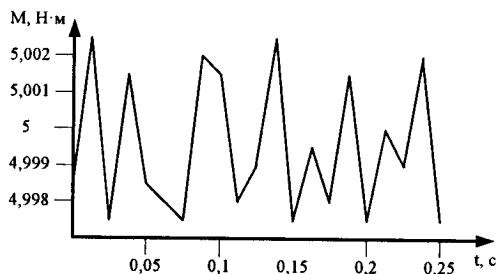


Рисунок 1.3 – Випадковий розподіл вимірюваної величини

Кількісно випадковий процес описують випадковою функцією часу $X(t)$, яка в будь-який момент часу t може набувати різних значень із деяким розподілом ймовірностей. Для будь-якого t_i значення $X_i = X(t_i)$ є випадковою величиною.

Випадковий процес визначається сукупністю проявів процесу в часі і законами цієї сукупності. Функціональна залежність проявів процесу називається *реалізацією випадкової функції*.

Для характеристики частоти появи випадкових похибок теорія ймовірностей пропонує використовувати закони розподілу. При цьому виділяється два види опису законів розподілу: інтегральний і диференціальний.

Інтегральним законом розподілу або функцією розподілу ймовірностей $F(X)$ випадкової величини X називають функцію, значення якої для кожного x є ймовірністю події, яка полягає в тому, що випадкова величина X приймає значення менші x , тобто функцію

$$F(x) = P [X < x].$$

Дана функція є неспадною функцією x і змінюється в межах від $F(-\infty) = 0$ до $F(+\infty) = 1$. Вона існує для всіх випадкових величин як дискретних, так і неперервних.

Для випадкової величини з неперервною і диференційованою функцією розподілу $F(x)$ можна знайти диференціальний закон розподілу ймовірностей як похідну від $F(x)$, тобто як $p(x) = F'(x)$. Ця залежність називається густиною розподілу ймовірностей.

Вона завжди позитивна і відповідає умові нормування

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx = 1,$$

яка безпосередньо витікає із властивостей інтегральної функції розподілу $F(x)$.

Приклади законів розподілу:

Розподіл Коші. Одним із найпростіших законів розподілу є *розподіл Коші* (табл. 1.1), щільність ймовірностей якого визначається

$$f(\Delta) = \frac{1}{a\pi \left[1 + \left(\frac{\Delta}{a} \right)^2 \right]}.$$

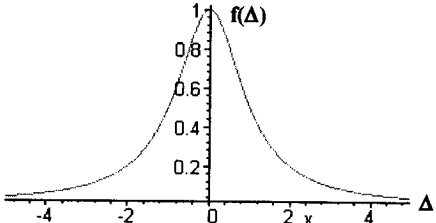
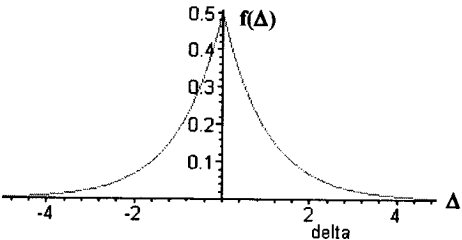
Даний розподіл близький до граничного пологого, тому що при більш пологих, ніж $\frac{1}{\Delta^{(1+a)}}$ (де $a > 0$), спадах площа під кривою нескінченна і не може бути прирівненою до одиниці, тобто не виконується умова нормування, і такі криві не можуть описувати щільність розподілу ймовірностей.

Розподіл Лапласа. Другим законом розподілу, із більш швидким спадом густини при відхиленні x від центра розподілу, є розподіл Лапласа (табл. 1.1) із густиною

$$f(\Delta) = \frac{1}{2} \cdot \exp|\Delta|,$$

тобто двосторонній експоненціальний розподіл.

Таблиця 1.1 – Вигляд основних законів розподілу

Закон розподілу	Графічне подання
Коші	
Лапласа	

Розподіл Гаусса. Серед законів розподілу нормальний закон займає провідне місце, особливо для оцінювання похибок вимірювань (рис. 1.4). Річ у тому, що похибка вимірювання визначається великою кількістю частинних складових, що несуть випадковий характер, а з центральної граничної теореми ймовірностей випливає, що розподіл похибок вимірювання буде близьким до нормального, якщо результати спостережень формуються під впливом великої кількості незалежно діючих частинних похибок випадкового характеру, кожна з яких є незначною за значенням порівняно із загальною випадковою похибкою вимірювання. Щільність ймовірностей нормального закону описується так

$$f(\Delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\overset{\circ}{\Delta}}{\sigma}\right)^2\right],$$

де σ – середнє квадратичне відхилення; $\overset{\circ}{\Delta} = (\Delta - \bar{\Delta})$ – випадкова похибка.

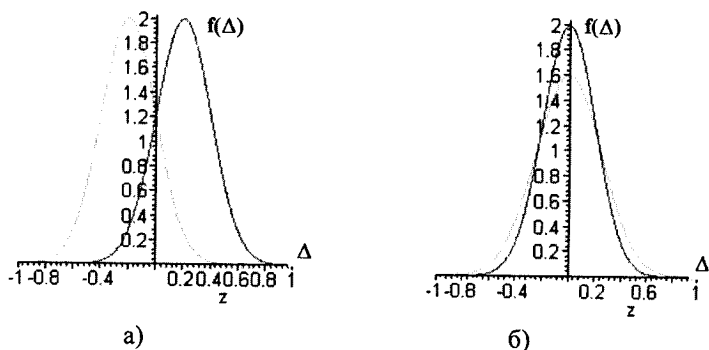


Рисунок 1.4 – Вплив на вигляд нормального закону розподілу:
а) систематичної складової похибки; б) випадкової складової похибки

Щільність розподілу для нормального закону має вигляд дзвона. Якщо $\bar{\Delta} \neq 0$ (рис. 1.4, а), то крива буде зміщена праворуч або ліворуч від початку осі ординат на значення $\bar{\Delta}$ залежно від знака систематичної складової похибки.

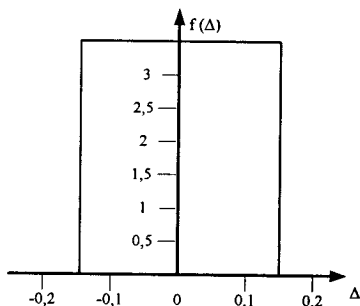


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд рівномірного закону

Крива симетрична відносно осі ординат, коли відсутня систематична складова похибки $\bar{\Delta} = 0$.

Значення σ впливає на гостровершинність кривої. Збільшення значення σ (рис. 1.4, б) призводить до зменшення гостровершинності, і тому ймовірніша поява значних похибок. І, навпаки, при зменшенні σ зростає ймовірність появи малих похибок і знижується ймовірність появи великих похибок.

Рівномірний закон розподілу. Якщо неперервна випадкова похибка приймає значення тільки в межах деякого кінцевого інтервалу від Δ_1 до Δ_2 з по-

стійною щільністю ймовірностей, то закон розподілу називають рівномірним. Його функція розподілу на інтервалі від $-\infty$ до Δ_1 дорівнює нулю, на інтервалі від Δ_1 до Δ_2 – постійна, а на інтервалі від Δ_2 до $+\infty$ знову дорівнює 0.

$$\begin{cases} f(\Delta) = \frac{1}{2a} \text{ при } |\Delta| \leq a; \\ f(\Delta) = 0 \text{ при } |\Delta| > a. \end{cases}$$

Таким законом розподілу описуються похибки від тертя в опорах електромеханічних вимірювальних перетворювачів, невилучені залишки систематичної складової похибки, похибки дискретизації в цифрових вимірювальних приладах.

Загальний вигляд рівномірного закону розподілу наведено на рис. 1.5.

2 Порядок виконання

2.1 Побудова градуовальної характеристики за експериментальними даними

1. Запустіть програму NUMERI (numerі.exe).
2. Відповідно до Вашого варіанта (табл. 1.2) введіть результати вимірювань в оперативну пам'ять персонального комп'ютера.

Таблиця 1.2 – Результати вимірювань

Варіант →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Результати ↓										
0	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
1	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1
2	1.9	3.1	4	5	6	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8
3	3.1	4	5.1	6.1	7.1	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2
4	3.95	4.95	5.95	7.95	7.95	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1
5	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9
6	6.2	7.2	8.2	9.2	9.9	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1
7	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9
8	8.15	9.15	9.9	10.9	11.9	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1
9	9	10	11	12	13	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9

Для цього виконайте таку послідовність дій.

- 2.1. Натисніть клавішу 3.
- 2.2. Натисніть клавішу 1.
- 2.3. Натисніть клавішу 1.
- 2.4. Натисніть клавішу 3.
- 2.5. Задайте кількість пар значень = 10.
- 2.6. Задайте крок по осі $x = 1$.

2.7. Задайте початкове значення 0, 1, 2, ..., яке відповідає Вашому варіанту.

2.8. Натисніть клавішу F10.

2.9. Введіть за допомогою клавіатури 10 значень результатів вимірювань з табл. 1.2

2.10. Після завершення введення даних натисніть клавішу F10.

2.11. Натисніть клавішу 1.

2.12. Подайте у звіті графічну залежність вихідної у і вхідної х величин (градувальну характеристику), яка зображена на екрані монітора.

2.13. Запишіть отримані результати у файл під іменем 1.

3. Отримання емпіричної функції перетворення.

3.1. Почерговим натисканням клавіші Esc увійдіть в меню «Поліном» і натисніть клавішу 2.

3.2. Задайте степінь полінома 1 і натисніть клавішу F10.

3.3. Запишіть коефіцієнти $a[0]$ і $a[1]$ для полінома:

$$y = a[0] + a[1]*x.$$

Наприклад: $a[0] = 0.029$;

$$a[1] = 0.996.$$

Запишіть отриману функцію перетворення у вигляді

$$y = 0.029 + 0.996*x.$$

4. Отримання емпіричної статичної характеристики.

4.1. Почерговим натисканням клавіші Esc увійдіть в меню «Дані» і натисніть клавішу 1.

4.2. Натисніть клавішу 1.

4.3. Натисніть клавішу 1.

Запишіть отриману емпіричну залежність у вигляді:

$$y(x) = 0.029 + 0.996*x.$$

4.4. Задайте діапазон зміни x згідно з Вашим варіантом. Наприклад,

від $x=0$

до $x=9$.

4.5. Задайте кількість значень =10.

4.6. Задайте крок =1.

4.7. Натисніть клавішу F10.

4.8. Натисніть клавішу 1.

4.9. Наведіть у звіті емпіричну статичну характеристику, яка на екрані монітора.

4.10. Запишіть результати у файл під іменем 2.

5. Розрахунок похибки моделі.

5.1. Почерговим натисканням клавіші Esc увійдіть в меню «Порівняння файлів».

5.2. Натисніть клавішу 4.

5.3. Задайте імена раніше створених файлів 1 і 2.

5.4. Натисніть клавішу F10.

5.5. Натисніть клавішу 1.

5.6. Натисніть клавішу 1 і побудуйте у звіті на одному графіку експериментальну і емпіричну статичні характеристики.

5.7. Натисканням клавіші Esc увійдіть в меню «Абсолютна похибка».

5.8. Натисніть клавішу 2, а потім клавішу 1. Наведіть у звіті графічну залежність абсолютної похибки моделі, яка на екрані монітора.

5.9. Натисканням клавіші Esc увійдіть в меню «Відносна похибка».

5.10. Натисніть клавішу 3, а потім клавішу 1. Наведіть у звіті графічну залежність відносної похибки моделі, яка на екрані монітора.

2.2 Дослідження випадкових похибок, розподілених за нормальним законом

1. Запустіть програму NUMERI (numeri.exe).

2. Увійдіть у меню «Статистика» і потім у підменю «Випадкові числа».

3. Згідно з Вашим варіантом (табл. 1.3) задайте значення середнього квадратичного відхилення σ для нормального закону розподілу з нульовим математичним сподіванням $\bar{\Delta} = 0$ і отримайте реалізацію випадкового процесу.

Таблиця 1.3 – Варіанти значень середніх квадратичних відхилень

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
σ	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5

4. Побудуйте зміну випадкової похибки в часі $\hat{\Delta} = f(t)$:

- на екрані монітора;

- у звіті.

5. Запишіть дані у файл з іменем Вашого варіанта. Наприклад, 3.

6. Увійдіть в підменю «Статистичні характеристики». Прочитайте дані з файлу, ім'я якого задано у п. 5. Знайдіть статистичні характеристики випадкової похибки і отримані результати занесіть до табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Статистичні оцінки випадкової похибки

Умовне позначення	Δ_{\min}	Δ_{\max}	$\bar{\Delta}$	D	σ	n
Числове значення						

7. Увійдіть в підменю «Довірчий інтервал середнього значення» і задайте довірчу ймовірність

$$P=95\%.$$

8. Результати розрахунків занесіть до табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Результати розрахунку довірчого інтервалу

Умовне позначення	$\bar{\Delta}$	P	$+\Delta_d$	$-\Delta_d$	σ
Числове значення					

9. Увійдіть в підменю χ^2 -тест і задайте такі параметри:
 $k=50$; $P=95$.

10. Перевірте гіпотезу для нормального і рівномірного законів розподілу випадкових похибок. Результати розрахунків занесіть до табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Результати перевірки за критерієм χ^2 -тест

Рівномірний закон розподілу		Нормальний закон розподілу	
Параметр	Числове значення	Параметр	Числове значення
S		S	
χ^2		χ^2	

11. Зробіть висновки для кожної із перевірених гіпотез.

12. Увійдіть в підменю «Функції розподілу» і за результатами розрахунків, що наведені в табл. 1.3, побудуйте закон розподілу випадкових похибок:

- на екрані монітора;
- у звіті.

2.3 Дослідження впливу систематичної складової похибки на форму закону розподілу

1. Згідно з Вашим варіантом (табл. 1.3) задайте значення середнього квадратичного відхилення σ для нормального закону розподілу, а математичне сподівання $\bar{\Delta}$ (систематична похибка) задайте з табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Варіанти значень систематичної складової похибки

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$-\bar{\Delta}$	-0.05	-0.1	-0.15	-0.2	-0.25	-0.3	-0.35	-0.4	-0.45	-0.5
$\bar{\Delta}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$+\bar{\Delta}$	+0.05	+0.1	+0.15	+0.2	+0.25	+0.3	+0.35	+0.4	+0.45	+0.5

2. Увійдіть в підменю «Функції розподілу» і за результатами розрахунків, що наведені в табл. 1.3, побудуйте для свого варіанта три закони розподілу випадкових похибок для від'ємної, нульової і додатньої систематичної складової похибки:

- на екрані монітора;
- у звіті.

3. Зробіть висновки.

2.4 Дослідження впливу випадкової складової похибки на форму закону розподілу

1. Згідно з Вашим варіантом (табл. 1.8) задайте значення середнього квадратичного відхилення σ для нормального закону розподілу з нульовим

математичним сподіванням $\bar{\Delta} = 0$ і отримайте три кривих закони розподілу.

Таблиця 1.8 – Варіанти значень випадкової складової похибки

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
σ_1	0.05	0.10	0.25	0.40	0.10	0.35	0.45	0.10	0.15	0.20
σ_2	0.10	0.15	0.30	0.45	0.20	0.40	0.50	0.25	0.30	0.35
σ_3	0.15	0.20	0.35	0.50	0.30	0.45	0.55	0.35	0.45	0.50

2. Увійдіть в підменю «Функції розподілу» і за результатами розрахунків, що наведені в табл. 1.4, побудуйте для свого варіанта три закони розподілу випадкових похибок для трьох різних значень середнього квадратичного відхилення (випадкової складової похибки):

- на екрані монітора;
 - у звіті.
3. Зробіть висновки.
4. Зробіть загальні висновки по роботі.

3 Контрольні питання

1. Дайте означення абсолютної похибки вимірювання.
2. Які Ви знаєте шляхи експериментального визначення дійсного значення фізичної величини?
3. Як визначити поправку?
4. Дайте означення відносної похибки.
5. Дайте означення точності вимірювань.
6. Як визначають абсолютну і відносну похибки моделі?
7. Наведіть класифікацію систематичних похибок за двома найбільш характерними ознаками.
8. Які Ви знаєте методи вилучення систематичних похибок? Розкрийте суть методу дворазових спостережень.
9. Які Ви знаєте методи вилучення систематичних похибок? Розкрийте суть методу поправок.
10. Наведіть приклад побудови кривої поправок.
11. Які Ви знаєте методи вилучення систематичних похибок? Розкрийте суть методу рандомізації.
12. Як впливають на форму нормального закону розподілу систематична складова похибки і середнє квадратичне відхилення?
13. Що таке довірчий інтервал і як він визначається?
14. Чому для оцінювання випадкових похибок необхідно виконати багаторазові вимірювання?
15. Наведіть аналітичне і графічне подання рівномірного закону розподілу.
16. Що таке композиція законів розподілу?
17. Наведіть композицію двох однакових рівномірних законів розподілу похибок вимірювання.

Протокол № _____
виконання лабораторної роботи № 1
«Оцінювання основних статичних метрологічних характеристик»

Викладач: _____

Дата виконання: _____

Виконавці: _____

Група _____

Бригада № _____

1. Побудова градуовальної характеристики за експериментальними даними.

Рисунок 1 – Градуовальна характеристика

Рисунок 2 – Емпірична статична характеристика

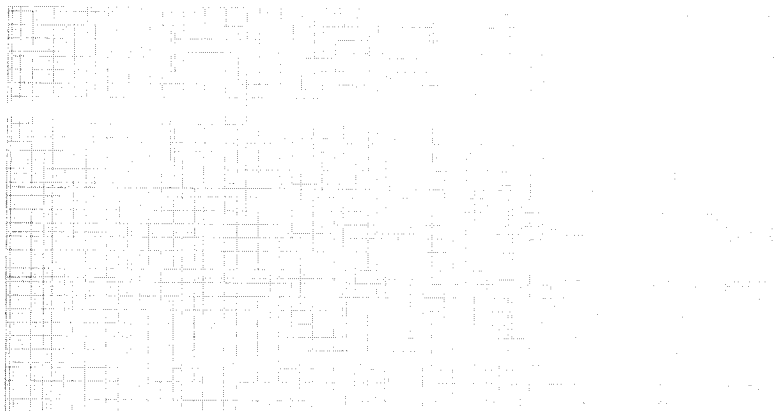


Рисунок 3 – Емпірична та градувальна характеристики

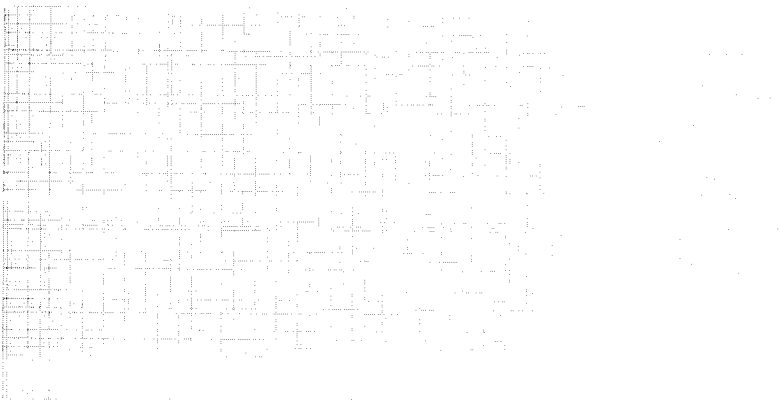


Рисунок 4 – Абсолютна похибка

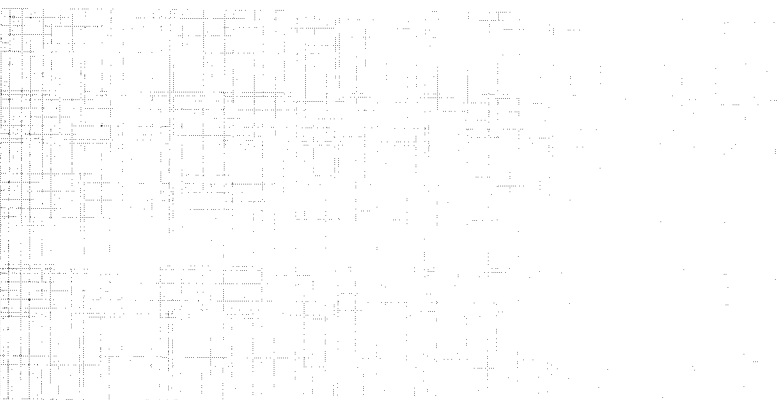


Рисунок 5 – Відносна похибка

2. Дослідження випадкових похибок, розподілених за нормальним законом.

Рисунок 6 – Графік зміни випадкової похибки

Таблиця 1 – Результати перевірки за критерієм χ^2 -тест

Рівномірний закон розподілу		Нормальний закон розподілу	
Параметр	Числове значення	Параметр	Числове значення
S		S	
χ^2		χ^2	
Висновок		Висновок	

Рисунок 7 – Закон розподілу випадкової похибки

3. Дослідження впливу систематичної складової похибки на форму закону розподілу.

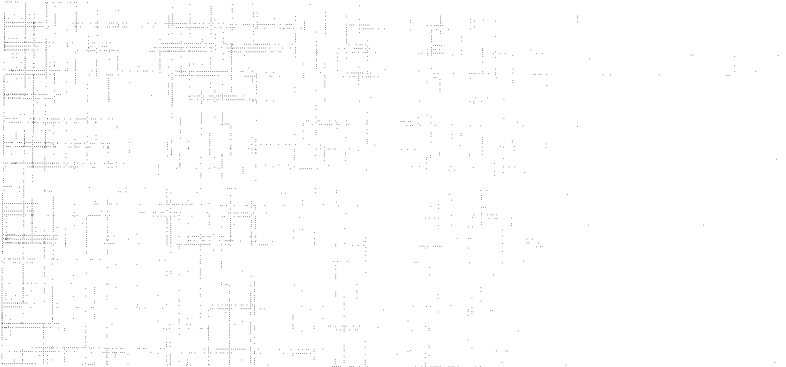


Рисунок 8 – Закон розподілу похибки з від’ємною систематичною похибкою



Рисунок 9 – Закон розподілу похибки з нульовою систематичною похибкою



Рисунок 10 – Закон розподілу похибки з додатною систематичною похибкою

Рисунок 11 – Суміщені закони розподілу з різними систематичними похибками

4. Дослідження впливу випадкової складової похибки на форму закону розподілу.

Рисунок 12 – Закон розподілу похибки з малою випадковою похибкою

Рисунок 13 – Закон розподілу похибки з середньою випадковою похибкою

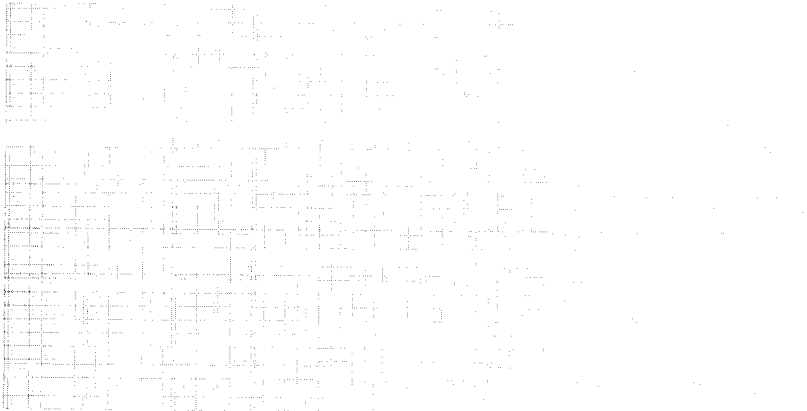


Рисунок 14 – Закон розподілу похибки з великою випадковою похибкою

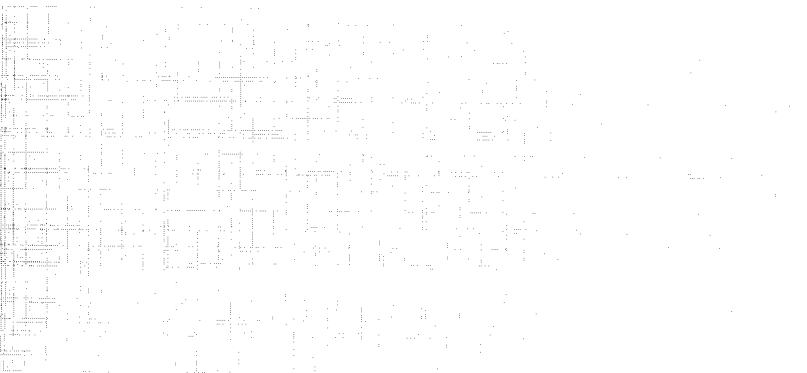


Рисунок 15 – Суміщені закони розподілу з різними випадковими похибками

Лабораторна робота № 2

Вимірювання основних електричних величин

Мета роботи

1. Навчитися застосовувати аналогові електромеханічні засоби для вимірювання основних електричних величин: струму, напруги, потужності.
2. Навчитися застосовувати методики нормування похибок засобів вимірювання.
3. Навчитися оцінювати похибки результатів вимірювання основних електричних величин.

I Короткі теоретичні відомості

Електромеханічними називають аналогові вимірювальні прилади, в яких вхідна електрична величина перетворюється в лінійне або кутове переміщення рухомої частини вимірювального механізму. Вони прості, надійні, зручні в експлуатації, недорогі і в зв'язку з цими якостями знайшли широкое застосування.

Ціна поділки шкали – це відношення значення максимальної межі вимірювання приладу X_{\max} до кількості поділок шкали N

$$C = \frac{X_{\max}}{N}$$

Для вимірювання потужності, як правило застосовуються *електродинамічні* (феродинамічні) *ватметри*, які мають декілька діапазонів вимірювання, які характеризуються максимальним значенням напруги U_{\max} та струму I_{\max} .

Ватметр має дві обмотки – *струмову* 1, яка вмикається в коло послідовно, та *напругову* 2, яка вмикається паралельно до навантаження.

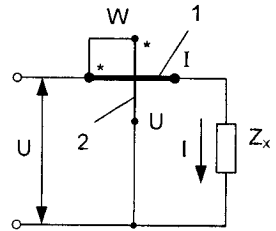


Рисунок 2.1 –
Увімкнення ватметра

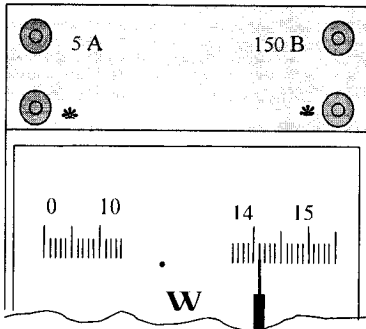


Рисунок 2.2 – Ватметр

Для того, щоб визначити покази ватметра необхідно знати ціну поділки для вибраного діапазону вимірювання. Розглянемо *приклад*.

- Межа вимірювання напруги:
 $U_{\max} = 150 \text{ В};$
Межа вимірювання струму:
 $I_{\max} = 5 \text{ А};$
Кількість поділок $N = 150.$
Ціна поділки:

$$C = \frac{P_{\max}}{N} = \frac{U_{\max} \times I_{\max}}{N} = \frac{150 \text{ В} \times 5 \text{ А}}{150} = 5 \text{ Вт/п.}$$

Тоді виміряне значення потужності:

$$P_x = C \times n_x = 5 \times 141 = 705 \text{ Вт.}$$

Шляхи визначення дійсного значення

1. За допомогою зразкового приладу

Зразковим називається засіб вимірювання, клас точності якого в 3–5 разів вищий ніж у досліджуваного засобу.

2. За допомогою багаторазових вимірювань з наступним усередненням.

Проводимо ряд вимірювань X_1, X_2, \dots, X_n , тоді середнє значення $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, приймається за дійсне.

Нормування похибок засобів вимірювання у вигляді числа

Нормованою називається похибка, яка не перевищує гарантоване значення для даного типу засобів вимірювання.

Границі допустимих абсолютної, відносної і зведеної похибок засобів вимірювань можуть виражатись одним числом

$$\Delta = \pm a; \quad \delta = \pm q; \quad \gamma = \pm p,$$

де a – додатне число, незалежне від вимірюваної величини; q, p – абстрактні додатні числа, вибрані з ряду

$$[1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0] \cdot 10^n,$$

де n може набувати значень 1; 0; -1; -2;

Нормування похибок пов'язано з процесом перевірки засобів вимірювальної техніки.

Перевірка полягає в оцінюванні похибок засобів вимірювальної техніки і встановленні їх придатності до застосування.

Результатом перевірки є клас точності приладу.

Клас точності – це границі нормованого значення похибки (максимальна похибка) вимірювальної техніки.

Розглянемо *приклад* нормування похибки засобу вимірювання.

Проведено перевірку вольтметра в таких оцифрованих відмітках шкали 0; 10; 20; 30; 40; 50 В, і отримано такі покази зразкового приладу 0; 9.9; 20.2; 29.7; 40.3; 49.6 В. Оцінити класи точності приладу на основі нормованих значень абсолютної, відносної та зведеної похибок. Максимальна межа вимірювання приладу $U_{\max} = 50 \text{ В}$.

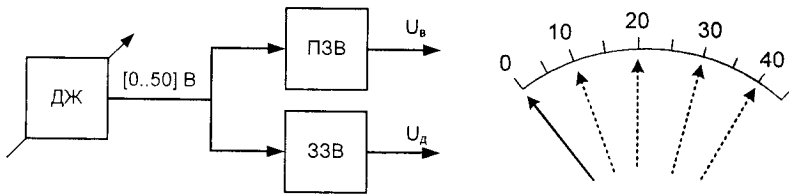


Рисунок 2.3 – Методика повірки засобів вимірювань

1. Оцінімо абсолютні похибки, прийнявши покази зразкового приладу за дійсні значення

$$\Delta_1 = U_1 - U_{д1} = 0 - 0 = 0 \text{ В};$$

$$\Delta_2 = U_2 - U_{д2} = 10 - 9.9 = 0.1 \text{ В};$$

$$\Delta_3 = U_3 - U_{д3} = 20 - 20.2 = -0.2 \text{ В};$$

$$\Delta_4 = U_4 - U_{д4} = 30 - 29.7 = 0.3 \text{ В};$$

$$\Delta_5 = U_5 - U_{д5} = 40 - 40.3 = -0.3 \text{ В};$$

$$\Delta_6 = U_6 - U_{д6} = 50 - 49.6 = 0.4 \text{ В}.$$

За клас точності приймаємо максимальну похибку: $a = \Delta_{\max} = 0.4 \text{ В}$.

2. Оцінімо відносні похибки

$$\delta_1 = \frac{\Delta_1}{U_{д1}} \times 100\% = 0\%;$$

$$\delta_2 = \frac{0.1}{9.9} \times 100\% = 1.01\%;$$

$$\delta_3 = \frac{0.2}{20.2} \cdot 100\% = 0.99\%;$$

$$\delta_4 = \frac{0.3}{29.7} \cdot 100\% = 1.01\%;$$

$$\delta_5 = \frac{0.3}{40.3} \cdot 100\% = 0.75\%;$$

$$\delta_6 = \frac{0.4}{49.6} \cdot 100\% = 0.81\%.$$

Максимальна похибка: $\delta_{\max} = 1.01\%$.

За клас точності приймаємо максимальну похибку з нормованого ряду: $q=1.5$.

3. Оцінімо максимальну зведену похибку

$$\gamma_{\max} = \frac{\Delta_{\max}}{U_n} \cdot 100\% = \frac{0.4}{50} \cdot 100\% = 0.8\%.$$

За клас точності приймаємо максимальну похибку з нормованого ряду:
 $q = 1$.

Нормування похибок засобів вимірювання у вигляді лінійної функції

Границі допустимих абсолютної і відносної похибок можуть також виражатися у вигляді лінійної функції

$$\Delta_{\text{зв}} = \pm(a + b \times x),$$

де a, b – додатні числа, незалежні від x .

Адитивна похибка a (похибка «нуля») – складова абсолютної похибки засобу вимірювальної техніки, яка не залежить від вимірюваної величини x .

Мультиплікативна похибка $b \times x$ (похибка чутливості) – складова похибки засобу вимірювальної техніки, яка пропорційна вимірюваній величині.

Метрологічними називають характеристики засобів вимірювальної техніки, які нормуються для визначення результату вимірювання та його похибок.

Статичними називаються метрологічні характеристики в *статичному* режимі роботи.

Статичним називається режим роботи засобу вимірювань, при якому його вихідний сигнал може вважатись незмінним.

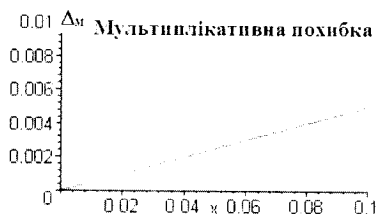
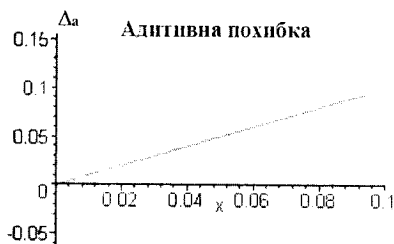


Рисунок 2.4 – Адитивна та мультиплікативна складові похибки

Функція перетворення

Функцією перетворення називають залежність між вихідною (y) та вхідною (x) величинами засобу вимірювальної техніки.

Функція перетворення може бути подана у вигляді таблиці, графіка, формули.

Рівняння перетворення – аналітичне подання функції перетворення, що

описує зв'язок вихідного та вхідного сигналів, $y=f(x)$.

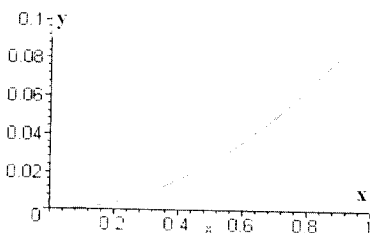


Рисунок 2.5 – Статична характеристика

Статична характеристика – графічне подання функції перетворення.

Градуовальна характеристика – подання статичної характеристики у вигляді таблиці.

Чутливість

Чутливість – здатність засобу вимірювання реагувати на зміну вхідного сигналу. Визначається як відношення зміни вихідної величини засобу вимірювань до зміни вхідної величини, що її викликає

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

У випадку, коли статична характеристика засобу вимірювання *лінійна*, тоді $S = \text{const}$, а шкала *рівномірна*.

Також чутливість можна виразити як $S = 1/C$.

Спробуйте довести.

Поріг чутливості – найменше значення вимірюваної величини, яке може бути зафіксоване засобом вимірювань.

Зона нечутливості – діапазон значень вимірюваної величини, в межах якого зміна вхідної величини не викликає зміни показу засобу вимірювань.

Діапазон вимірювань

Діапазон вимірювань – інтервал значень вимірюваної величини, в межах якого пронормовані похибки засобу вимірювань.

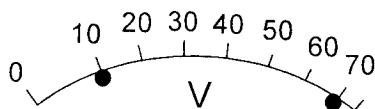


Рисунок 2.6 – Діапазон вимірювання

Діапазон показів – інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений початковим та кінцевим її значеннями.

Наприклад,

[0 ... 75] В – діапазон показів;

[10 ... 70] В – діапазон вимірювання.

2 Підготовка до роботи

1. Накресліть схему, за допомогою якої можна провести *піврку* двох вольтметрів за допомогою третього зразкового. Для цього згадайте, що таке *піврка* засобів вимірювання і як *вмикається* вольтметр у вимірювальне коло. Результати подайте в протоколі (п. 1, рис. 1).

2. Накресліть схему увімкнення приладів для вимірювання діючих значень потужності, струму та напруги на *катушці індуктивності*, що приєднана до однієї із схем рис. 2.7 (відповідно до номера Вашої бригади). Результати подайте в протоколі виконання (п. 2, рис. 2).

3. Складіть список необхідних приладів та їх характеристик для проведення експериментів. Визначте максимальні межі вимірювання та розрахуйте ціну поділки для кожного з цих приладів. Результати подайте в протоколі виконання (п. 3, табл. 3).

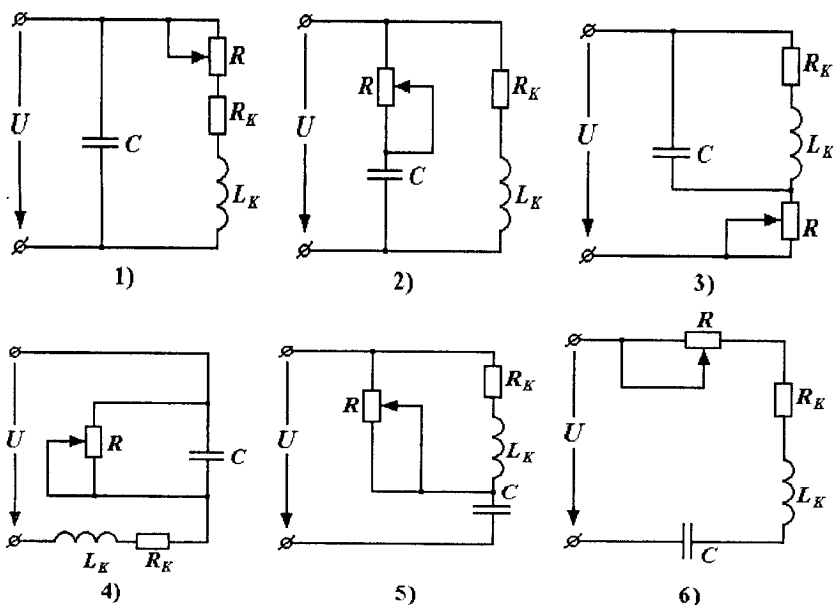


Рисунок 2.7 – Схеми електричних кіл

3 Порядок виконання

1. Здійсніть перевірку двох вольтметрів за допомогою зразкового:

- з трьох приладів Э515 (вольтметра діючих значень), Ц58 (вольтметра середніх значень) та Д5015 (вольтметра діючих значень) виберіть зразковий;

- під'єднайте вольтметри до виходу ЛАТРА за схемою, що розроблена в п. 1 підрозділу 2 та подана в протоколі (п. 1, рис. 1);

- проведіть вимірювання напруги за допомогою трьох вольтметрів, при цьому напругу встановлюйте в оцифрованих відмітках шкали повірюваного приладу V1 (30, 40, 50, ...). При виконанні експерименту вольтметр Д5015 повинен бути встановлений за рівнем! Результати подайте в протоколі виконання (п. 1, табл. 1);

- спробуйте пояснити, чому покази вольтметра Ц58 суттєво відрізняються від показів інших вольтметрів.

2. Вимірювання потужності, струму та напруги на котушці індуктивності:

- складіть схему розроблену в п. 2 підрозділу 2 та подайте в протоколі (п. 2, рис. 2);

- виміряйте три значення напруги (наприклад, 30, 40 та 50 В), струму і потужності, змінюючи положення ЛАТРа. При цьому струм через котушку повинен бути не більше 0.5 А! Результати подайте в протоколі виконання (п. 2, табл. 2);

- визначте час заспокоєння рухомих частин приладів, використовуючи секундомір наручного годинника. Результати подайте в протоколі виконання (п. 3, табл. 3).

4 Обробка результатів вимірювання

1. На основі отриманих експериментальних даних в п. 1 підрозділу 3 (протокол п. 1, табл. 1):

- здійсніть оцінювання класу точності вольтметра Э515;
- у звіті подайте залежності абсолютної та відносної похибок від струму ($\Delta(U)$, $\delta(U)$);

- побудуйте криву поправок від вимірюваної величини ($\Delta q(U)$);
- за максимальною зведеною похибкою на основі ряду нормованих значень похибок оцініть клас точності вольтметра Э515. Порівняйте отримане значення з паспортними даними у висновках.

2. На основі отриманих експериментальних даних в п. 1 підрозділу 3 (протокол п. 1, табл. 1) оцініть адитивну та мультиплікативну складові похибки. Для цього:

- побудуйте експериментальну та теоретичну статичні характеристики вольтметра Э515 на одному графіку (*при цьому вхідною величиною є вимірювана напруга, а вихідною – кількість поділок шкали, що відповідають вхідній напрузі*);

- для кожного результату вимірювання оцініть абсолютну похибку вимірювання та подайте у графічному й аналітичному виглядах;

- оцініть адитивну та мультиплікативну складові похибки;

- оцініть чутливість засобу вимірювання, та подайте у графічному та аналітичному виглядах.

5. Висновки по роботі

1. Проаналізуйте залежності похибок вимірювання напруги від оцифрованих відміток шкали вольтметра Э515. Чи можна цим вольтметром вимірювати напругу до 20 В? Для якої межі вимірювання можна використовувати даний вольтметр?

2. Порівняйте отримане значення класу точності вольтметра Э515 з паспортними даними. Чим зумовлена така невідповідність? Чи можна взагалі використовувати даний прилад?

3. Чому статична характеристика вольтметра Э515 лінійна? Якою є статична характеристика засобів даного класу?

4. Як змінюється чутливість даного засобу? Чому його шкала лінійна?

6 Контрольні питання

1. Структурна схема і принцип дії магнітоелектричного вимірювального механізму. Виведення рівняння перетворення та його аналіз.

2. Структурна схема і принцип дії магнітоелектричного амперметра. Виведення рівняння перетворення та його аналіз.

3. Структурна схема і принцип дії магнітоелектричного вольтметра. Виведення рівняння перетворення та його аналіз.

4. Структурна схема і принцип дії електромагнітного вимірювального механізму. Виведення рівняння перетворення та його аналіз.

5. Структурна схема і принцип дії електродинамічного вимірювального механізму. Виведення рівняння перетворення та його аналіз.

6. Структурна схема і принцип дії електродинамічного амперметра. Виведення рівняння перетворення та його аналіз.

7. Структурна схема і принцип дії електродинамічного вольтметра. Виведення рівняння перетворення та його аналіз.

8. Як визначити абсолютну, відносну похибку вимірювання?

9. Назвіть основні шляхи визначення дійсного значення.

10. Як визначити зведену похибку?

11. Назвіть шляхи визначення нормувального значення.

12. Як визначити ціну поділки?

13. Як знайти чутливість засобу вимірювання?

14. Що таке поправки і як їх експериментально визначити?

Протокол № _____
виконання лабораторної роботи № 2
«Вимірювання основних електричних величин»

Дата виконання: _____

Викладач: _____

Виконавці: _____

Група _____

Бригада № _____

I. Повірка вольтметрів.

V1	Э515
V2	Ц58
V3	Д5015

Рисунок 1 – Схема повірки вольтметрів

Таблиця 1 – Результати повірки вольтметрів

№ вимірювання	V1, В	V2, В	V3, В
1	30		
2	40		
3	50		
4	60		
5	70		
6	80		
7	90		
8	100		
9	110		
10	120		
11	130		
12	140		
13	150		

2. Вимірювання потужності, струму та напруги на котушці індуктивності.

Рисунок 2 – Схема вимірювання основних електричних величин

Таблиця 2 – Результати вимірювання параметрів котушки

№ вимірювання	U, В	I, А	P, Вт
1			
2			
3			

3. Список використаних приладів.

Таблиця 3 – Параметри використаних приладів

Назва	Клас точності	Діапазон показів	Діапазон вимірювання	Ціна поділки	Умове позначення	Час заспокоєння стрілки (с)
Вольтметр Д5015	0.2	0...150 В	20...150.5 В	1 В/под.		

Лабораторна робота № 3

Вимірювання струмів та напруг з використанням масштабних перетворювачів

Мета роботи

1. Навчитися застосовувати аналогові електромеханічні засоби для вимірювання струмів та напруг.
2. Навчитися застосовувати шунти і додаткові опори для розширення границь вимірювання струму та напруги.
3. Навчитися застосовувати вимірювальні трансформатори струму і напруги для вимірювань на змінному струмі.

1 Короткі теоретичні відомості

1. *Магнітоелектричні амперметри.* Магнітоелектричний вимірювальний механізм, увімкнений безпосередньо в коло вимірюваного струму, дозволяє виміряти невеликі струми (до 20 – 50 мА). Тобто сам вимірювальний механізм може використовуватися тільки як мікро- або міліамперметр. Для збільшення верхніх меж вимірювання магнітоелектричних приладів за струмом використовуються *шунти*. Шунт являє собою резистор, виготовлений з манганіну – сплаву, опір якого мало залежить від температури. Приєднується шунт паралельно до вимірювального механізму ВМ (рис. 3.1).

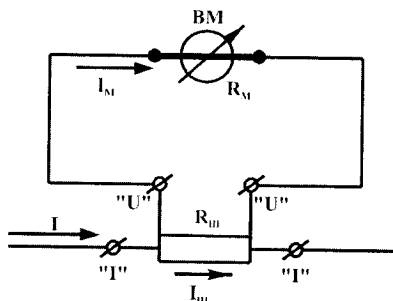


Рисунок 3.1 – Схема приєднання шунта

Опір шунта $R_{ш}$ при вимірюванні великих струмів I багато менший від опору вимірювального механізму $R_{м}$, тому велика частина вимірюваного струму I йде через шунт ($I_{ш}$), а струм $I_{м}$ через рамку механізму не перевищує припустимого значення I_0 . Для зменшення впливу опору контактів і підвідних проводів шунти виробляються з чотирма затискачами: струмовими ($\langle I \rangle$ – $\langle I \rangle$) та потенціальними ($\langle U \rangle$ – $\langle U \rangle$).

Опір шунта розраховується як

$$R_{ш} = R_{м} / (n - 1),$$

де R_m – опір вимірювального механізму; $n = I_m/I_0$ – коефіцієнт шунтування.

Шунти на невеликі струми (до кількох десятків ампер) умонтовуються в корпус амперметра, а для великих струмів (до декількох сотень ампер) застосовуються зовнішні шунти.

2. *Магнітоелектричні вольтметри.* Для одержання магнітоелектричного вольтметра послідовно з механізмом вмикається додатковий резистор R_d (рис. 3.2), який обмежує струм в рамці механізму до допустимих значень.

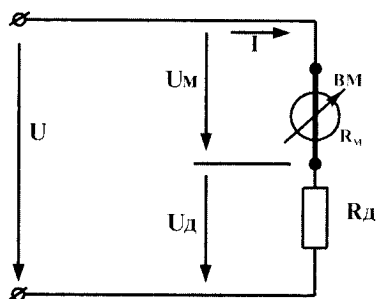


Рисунок 3.2 – Схема підключення додаткового резистора

Опір додаткового резистора знаходиться

$$R_d = R_m \cdot (m - 1),$$

де R_m – опір вимірювального механізму; $m = U/U_m$ – коефіцієнт ділення.

Додаткові резистори (опори) R_d виготовляють із термостабільних матеріалів, наприклад, із манганінового дроту. Вони, як і шунти, можуть бути внутрішніми (при напрузі до 600 В) та зовнішніми (при напругах від 600 В до 30 кВ). Додаткові резистори виробляються на номінальні струми 0.5; 1; 3; 5; 7.5; 15; 30 та 60 мА і можуть мати класи точності 0.01; 0.02; 0.05; 0.1; 0.2; 0.5 та 1.0.

3. *Вимірювальні трансформатори змінного струму та напруги.* Вимірювальні трансформатори струму та напруги (рис. 3.3) застосовують для перетворення (зменшення або збільшення) струмів та напруг в строго визначену кількість разів із збереженням їхньої фази.

Вони використовуються для розширення меж вимірювання приладів. Крім того, вимірювальні трансформатори дозволяють гальванічно розділити частини вимірювального кола: коло високої напруги від кола вимірювального приладу, а також узгодити окремі частини вимірювального пристрою.

Вимірювальні трансформатори складаються із двох ізолюваних обмоток, розміщених на феромагнітних осердях. Первинна обмотка має кількість витків W_1 , вторинна – W_2 . Виводи первинної обмотки під'єднують до

вимірювального кола, а до затискачів вторинної обмотки під'єднуються засоби вимірювання. Вторинні кола трансформаторів заземлюють для безпечної роботи.

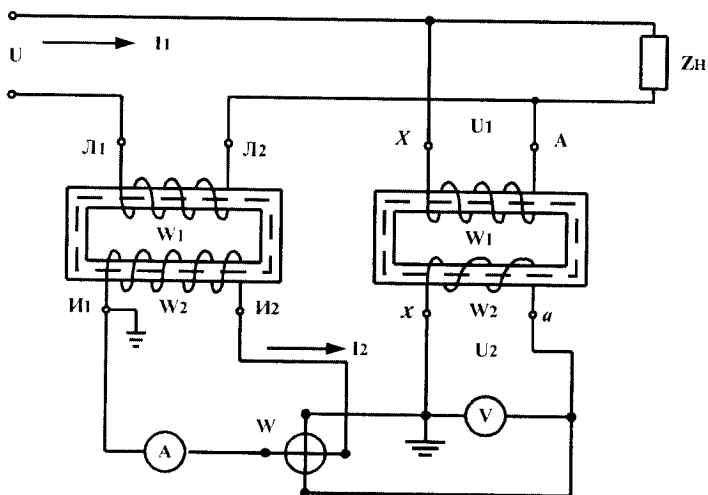


Рисунок 3.3 – Вимірювальні трансформатори струму та напруги

Первинну обмотку трансформатора струму вмикають у вимірюване коло послідовно, трансформатора напруги – паралельно.

Вимірювані величини визначаються за показами приладів, помноженими на відповідні коефіцієнти трансформації.

4. Параметри шкали.

Ціна поділки шкали – це відношення значення максимальної межі вимірювання приладу X_{\max} до кількості поділок шкали N

$$C = \frac{X_{\max}}{N}.$$

У випадку, коли нульова відмітка посередині шкали

$$C = \frac{|X_H| + |X_B|}{N}.$$

Абсолютна похибка градування шкали визначається як половина ціни поділки

$$\Delta_{\text{ш}} = \frac{1}{2}C.$$

Чутливість – здатність засобу вимірювання реагувати на зміну вхідно-

го сигналу. Визначається як відношення зміни вихідної величини засобу вимірювань до зміни вхідної величини, що її викликає,

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

У випадку, коли статична характеристика засобу вимірювання *лінійна*, тоді $S = \text{const}$, а шкала *рівномірна*.

Також чутливість можна виразити як $S = 1/C$.

2 Підготовка до роботи

1. Для вимірювання *струму* застосовується магнітоелектричний амперметр М903 з параметрами: максимальний струм повного відхилення $I_m = 2$ мА, номінальна напруга $U_m = 75$ мВ, кількість поділок $N = 50$. В протоколі виконання (п. 1) подайте:

- максимальну межу вимірювання I_{max} приладу (*який максимальний струм може виміряти даний прилад?*);
- ціну поділки C_1 , чутливість приладу S_1 , абсолютну похибку градуювання шкали $\Delta_{\text{ш1}}$ без шунта.

2. За допомогою цього приладу необхідно виміряти струм до 1.5 А. Якщо це можливо, як це здійснити? Продайте схему з'єднання і розрахуйте такі параметри приладу (подайте в протоколі виконання, п. 1):

- нову межу вимірювання приладу I_x з шунтом (*який максимальний струм зможе вимірювати даний прилад після під'єднання шунта?*);
- ціну поділки C_1 , чутливість приладу S_1 , абсолютну похибку градуювання шкали $\Delta_{\text{ш1}}$ з шунтом;
- опір шунта $R_{\text{ш}}$;
- обчисліть значення струмів, які відповідають оцифрованим відміткам, при роботі приладу сумісно з шунтом (результати зведіть в протокол, п. 1, табл. 1).

3. Для вимірювання *струму* застосовується також магнітоелектричний прилад М906 за параметрами: струм повного відхилення $I_m = 10$ мА, внутрішній опір $R_m = 4$ Ом, кількість поділок $N = 50$. Для розширення межі вимірювання *струму* застосовується шунт 75 РИ (номінальний струм $I = 1.5$ А, номінальна напруга $U = 75$ мВ, опір шунта $R_{\text{ш}}$ розрахований в попередньому пункті), який застосовується разом з М903. Розрахуйте параметри приладу (результати подайте в протоколі виконання, п. 2):

- максимальну границю вимірювання I_{max} ;
- приладу без шунта;
- ціну поділки приладу C_1 , чутливість приладу S_1 , абсолютну похибку градуювання шкали $\Delta_{\text{ш1}}$ без шунта;
- нову межу вимірювання приладу I_x з шунтом (*зверніть увагу, що номінальні напруги приладу і шунта відрізняються!*);

- ціну поділки приладу S_1 , чутливість приладу S_1 , абсолютну похибку градування шкали $\Delta_{ш1}$ з шунтом;
- обчисліть значення струмів, які відповідають оцифрованим відміткам, при роботі приладу сумісно з шунтом (результати зведіть в протокол, п. 2, табл. 2).

4. Необхідно виміряти напругу міліамперметром М906 з параметрами: струм повного відхилення $I_m = 1$ мА, внутрішній опір $R_m = 160$ Ом, кількість поділок $N = 50$ (цей прилад відрізняється від попереднього). В протоколі виконання (п. 3) подайте:

- максимальну границю вимірювання U_{max} приладу (яку напругу може виміряти даний міліамперметр?);
- ціну поділки приладу S_1 , чутливість приладу S_1 , абсолютну похибку градування шкали $\Delta_{ш1}$ без додаткового опору.

5. За допомогою цього міліамперметра необхідно виміряти напругу, що наводиться в табл. 3.1 (відповідно до номера своєї бригади). Що для цього потрібно зробити? Накресліть схему підключення приладу (п. 3, рис. 1 протоколу) та розрахуйте параметри приладу. Результати подайте в протоколі виконання (п. 3):

- нову межу вимірювання приладу U_x з додатковим опором;
- ціну поділки приладу S_1 , чутливість приладу S_1 , абсолютну похибку градування шкали $\Delta_{ш1}$ з додатковим опором;
- значення додаткового опору R_d , необхідного для вимірювання напруги U_x ;
- обчисліть значення напруг, які відповідають оцифрованим відміткам, при роботі приладу сумісно з додатковим опором (результати занесіть в протокол, п. 3, табл. 3).

Таблиця 3.1 – Граничне значення вимірюваної напруги

Номер бригади	1	2	3	4	5
Граничне значення напруги, В	10	15	20	25	5

6. Для вимірювання змінного струму застосовується електромагнітний амперметр А3 з максимальною межею вимірювання $I_{max} = 5$ А, кількістю поділок в робочій частині шкали між відмітками 1 і 5 А, $N = 20$. За допомогою цього амперметра необхідно виміряти струм до 200 А. Як це зробити? Розрахуйте ціну поділки цього приладу (п. 4 протоколу).

7. Для перевірки правильності показів приладу А3 застосовується амперметр А2. Даний прилад працює разом з вимірювальним трансформатором струму (ВТС) типу Т-0,66У3 (номінальний первинний струм $I_1 = 200$ А, вторинний $I_2 = 5$ А). Тому його шкала розмічена в значеннях струму, що протікає по первинній обмотці трансформатора (з врахуванням коефіцієнта трансформації ВТС). Розрахуйте коефіцієнт трансформації k .

8. Здійсніть аналогічні розрахунки для вольтметрів V2 (максимальна границя вимірювання $U_{\max} = 12.5$ кВ) та V3 (максимальна границя вимірювання $U_{\max} = 150$ В, кількість поділок в робочій частині шкали між відмітками 50 і 150 В, $N = 20$). Дані прилади працюють з вимірювальним трансформатором напруги (ВТН) типу НОМ-10 (номінальна первинна напруга $U_1 = 10$ кВ, вторинна $U_2 = 100$ В). Результати подайте в протоколі виконання (п. 5).

3 Порядок виконання

1. Виміряйте одне значення струму I_{M903} , установлене викладачем, в діапазоні від 0.6 до 0.9 А за допомогою амперметра М903. Для цього:

- складіть схему, подану на рис. 3.4, з амперметром М903 та шунтом на границі 1.5 А. Ключ К на схемі означає тумблер на джерелі. Шунт має 4 затискачі: струму «I» – «I», виконані з великою площиною контактів, і напруги «U» – «U» – з меншою площиною контактів;
- реостат R, який слугує для регулювання струму, виставте в середнє положення;
- за допомогою ручок I та U стабілізованого джерела постійного струму плавно змініть значення вихідної напруги до вказаного викладачем значення струму;
- на основі проведених розрахунків в п. 1 підрозділу 2 обчисліть виміряне значення струму. Результати подайте в протоколі виконання (п. 1).

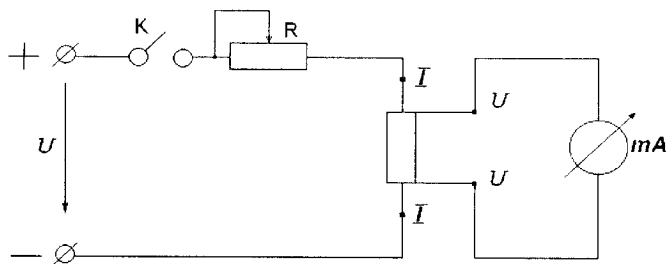


Рисунок 3.4 – Схема підключення шунта

2. Виміряйте одне значення струму I_{M906} , установлене викладачем, в діапазоні від 0.2 до 0.6 А за допомогою амперметра М906. Для цього виконайте послідовність, описану в п. 1 підрозділу 3. Результати подайте в протоколі виконання (п. 2).

3. Виміряйте встановлену викладачем напругу відповідно до верхньої межі, що вказана в табл. 3.1, за допомогою вольтметра М906 з додатковим опором. Для цього:

- складіть схему, розроблену в п. 3, рис. 1 протоколу, з приладом М906 та додатковим опором R_d ;

▪ за допомогою ручок I та U стабілізованого джерела постійного струму плавно змініть значення вихідної напруги до вказаного викладачем значення напруги приладу М906;

▪ на основі проведених розрахунків в п. 1 підрозділу 2 обчисліть вимірне значення струму. Результати подайте в протоколі виконання (п. 3).

4. Виміряйте встановлений викладачем в діапазоні 40 ... 200 А струм частотою 50 Гц за допомогою амперметрів A_1 та A_2 , що підключені до ВТС типу Т-0,66У3 (рис. 3.5). Результати подайте в протоколі виконання (п. 4).

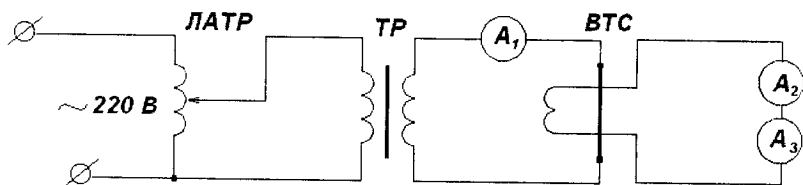


Рисунок 3.5 – Схема з'єднання трансформатора струму

5. Виміряйте установлену викладачем високу (до 6.3кВ) напругу за допомогою двох вольтметрів V_1 і V_2 , що підключені до ВТН НОМ-10 (рис. 3.6). Результати подайте в протоколі виконання (п. 5).

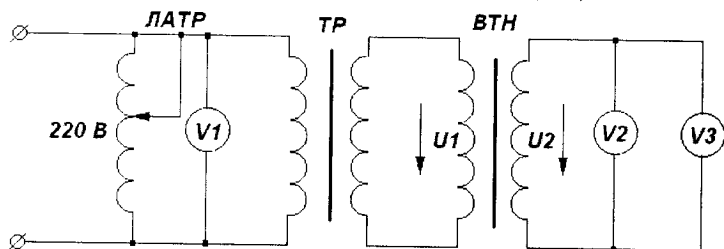


Рисунок 3.6 – Схема з'єднання трансформатора напруги

6. Заповніть список використаних приладів в протоколі виконання (п. 6).

4 Обробка результатів вимірювання

1. На основі експериментальних даних, проведених в п. 4 підрозділу 3 (п. 4 протоколу), оцініть абсолютну, відносну та зведену похибки вимірювання струму амперметром A_3 , прийнявши покази A_2 за дійсні.

2. На основі експериментальних даних, проведених в п. 5 підрозділу 3 (п. 5 протоколу), оцініть абсолютну, відносну та зведену похибки вимірювання напруги вольтметром V_3 , прийнявши покази V_2 за дійсні.

5 Висновки по роботі

1. Порівняйте чутливість приладу М903 без шунта S_1 та з шунтом S_2 . В якому випадку прилад є більш чутливим? Поясніть, чому?

2. Порівняйте значення опору приладу R_m та шунта $R_{ш}$, розрахованого в п. 1 підрозділу 2. Поясніть, чому $R_{ш}$ суттєво відрізняється від R_m ? Чому шунт повинен мати саме такий опір?

3. Порівняйте значення опору приладу R_m та додаткового резистора R_d , розрахованого в п. 3 підрозділу 2. Поясніть, чому R_d суттєво відрізняється від R_m ? Чому додатковий опір повинен мати такий опір?

6 Контрольні питання

1. Наведіть схему підключення шунта та залежність, за якою його розраховують.

2. Перетворювачем якої електричної в яку електричну величину є шунт?

3. Як визначити ціну поділки і чутливість вимірювального механізму до підключення шунта?

4. Як визначити ціну поділки і чутливість вимірювального механізму після підключення шунта?

5. Як визначити нову межу вимірювання при відомих значеннях опору шунта, вимірювального механізму та верхній межі вимірювання? Виведіть аналітичну залежність.

6. Наведіть схему підключення додаткового резистора та залежність, за якою його розраховують.

7. Перетворювачем якої електричної в яку електричну величину є додатковий резистор?

8. Як визначити нову межу вимірювання при відомих значеннях опору додаткового резистора, вимірювального механізму та верхній межі вимірювання? Виведіть аналітичну залежність.

9. Наведіть схему підключення вимірювальних трансформаторів струму і напруги.

Протокол № _____
 виконання лабораторної роботи № 3
 «Вимірювання струмів та напруг з використанням масштабних перет-
 ворювачів»

Дата виконання: _____

Викладач: _____

Виконавці:

Група _____

Бригада № _____

1. Вимірювання постійного струму за допомогою амперметра М903.

Рисунок 1 – Схема підключення приладу М903 з шунтом

Параметри приладу М903:

$I_{\max} =$

$I_x =$

$R_{ш} =$

$C_1 =$

$C_2 =$

$S_1 =$

$S_2 =$

$\Delta_{ш1} =$

$\Delta_{ш2} =$

Таблиця 1 – Розрахунок значень вимірюного струму

№ поділки	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Відмітки	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Струми, А											

Виміряне значення струму: $I_{M903} =$

2. Вимірювання постійного струму за допомогою амперметра М906.

Параметри приладу М906:

$$\begin{array}{ll}
 I_{\max} = & I_x = \\
 C_1 = & C_2 = \\
 S_1 = & S_2 = \\
 \Delta_{\text{ш}1} = & \Delta_{\text{ш}2} =
 \end{array}$$

Таблиця 2 – Розрахунок значень виміряного струму

№ поділки	0	10	20	30	40	50
Відмітки	0	2	4	6	8	10
Струми, А						

Виміряне значення струму: $I_{M906} =$

3. Вимірювання постійної напруги за допомогою вольтметра М906.

Рисунок 2 – Схема підключення приладу М906 з додатковим опором

Параметри приладу М906:

$$\begin{array}{lll}
 U_{\max} = & U_x = & R_d = \\
 C_1 = & C_2 = & \\
 S_1 = & S_2 = & \\
 \Delta_{\text{ш}1} = & \Delta_{\text{ш}2} = &
 \end{array}$$

Таблиця 3 – Розрахунок значень виміряної напруги

№ поділки						
Відмітки	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
Напруги, В						

Виміряне значення напруги: $U_{M906} =$

4. Вимірювання змінного струму з використанням ВТС.

Параметри амперметра А2:

$$C_{A2} = \quad k =$$

Параметри амперметра А3:

$$C_{A3} =$$

Виміряні значення струму:

$$I_2 = \quad \quad \quad I_3 =$$

5. Вимірювання змінної напруги з використанням ВТН.

Параметри вольтметра V2:

$$C_{V2} = \quad \quad \quad k =$$

Параметри вольтметра V3:

$$C_{V3} =$$

Виміряні значення напруги:

$$U_2 = \quad \quad \quad U_3 =$$

6. Список використаних приладів.

Таблиця 4 – Параметри використаних приладів

Назва	Максимальна межа вимірювання	Ціна поділки	Клас точності

Лабораторна робота № 4

Вимірювання потужності в трифазних колах

Мета роботи

1. Навчитися застосовувати аналогові електромеханічні засоби для вимірювання потужності в трифазних колах.
2. Вивчити методи вимірювання активної та реактивної потужностей в трифазних колах.

1 Короткі теоретичні відомості

1. Варіанти схем вимірювання потужності.

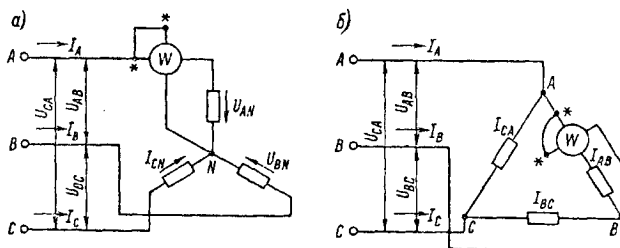


Рисунок 4.1 – Схема вимірювання активної потужності в трифазному колі одним ватметром при увімкненні навантаження зіркою (а) та трикутником (б)

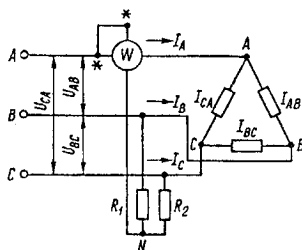


Рисунок 4.2 – Схема вимірювання активної потужності з штучною нульовою точкою

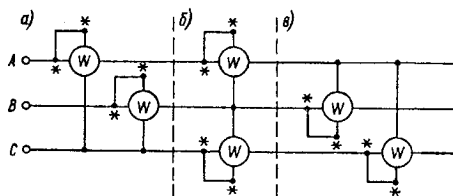


Рисунок 4.3 – Схеми увімкнення двох ватметрів для вимірювання активної потужності

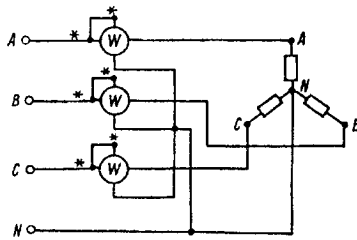


Рисунок 4.4 – Схема вимірювання активної потужності трьома ватметрами

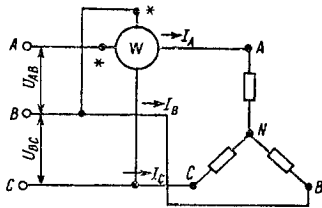


Рисунок 4.5 – Схема увімкнення ватметра для вимірювання реактивної потужності в симетричному 3-му колі

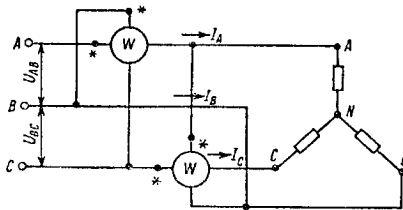


Рисунок 4.6 – Схема увімкнення двох ватметрів при вимірюванні реактивної потужності в несиметричному трифазному колі

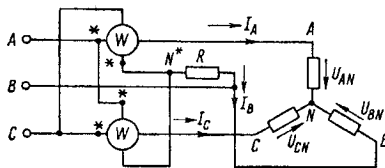


Рисунок 4.7 – Схема увімкнення двох ватметрів для вимірювання реактивної потужності в трифазному колі з частковою асиметрією

Щоб одержати сумарну реактивну потужність трифазного трипровідного кола, потрібно алгебраїчну суму показів ватметрів помножити на $\sqrt{3}$.

$$Q = (P_{W1} + P_{W2}) \times \sqrt{3}.$$

2. Опис комплекту вимірювальних приладів К505.

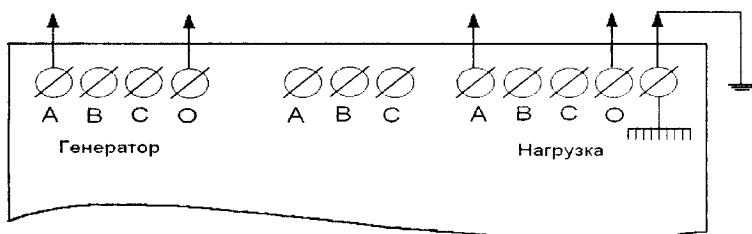
Комплект К505 призначений для вимірювання струму, напруги і потужності в однофазних та трифазних трипровідних та чотирипровідних колах змінного струму з рівномірним та нерівномірним навантаженням фаз.

Комплект дозволяє виміряти:

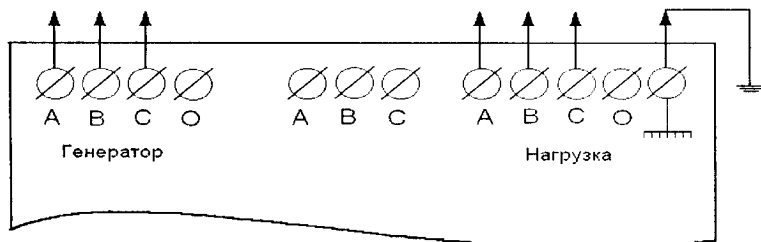
- струм від 0.5 до 10 А;
- напругу – від 30 до 600 В;
- потужність – від 0.015 до 360 кВт.

Конструктивно комплект оформлений у вигляді ящика (чемодана), на верхній горизонтальній панелі якого знаходяться шкали амперметра, вольтметра та ватметра, а також затискачі для підключення проводів ліній і навантаження, та перемикачі В1, В2 і В4, які дозволяють встановлювати необхідні границі вимірювань приладу (рис. 4.9).

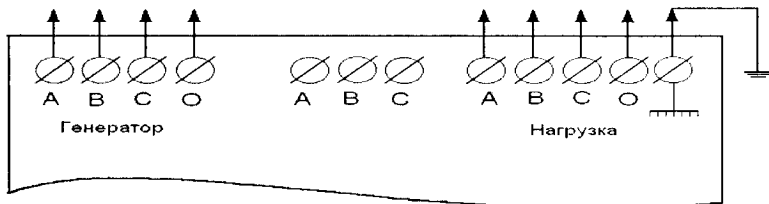
Схеми вмикання комплекту в коло показані на рис. 4.8.



а) однофазне коло



б) трифазне трипровідне коло



в) трифазне чотирипровідне коло

Рисунок 4.8 – Схеми підключення К505

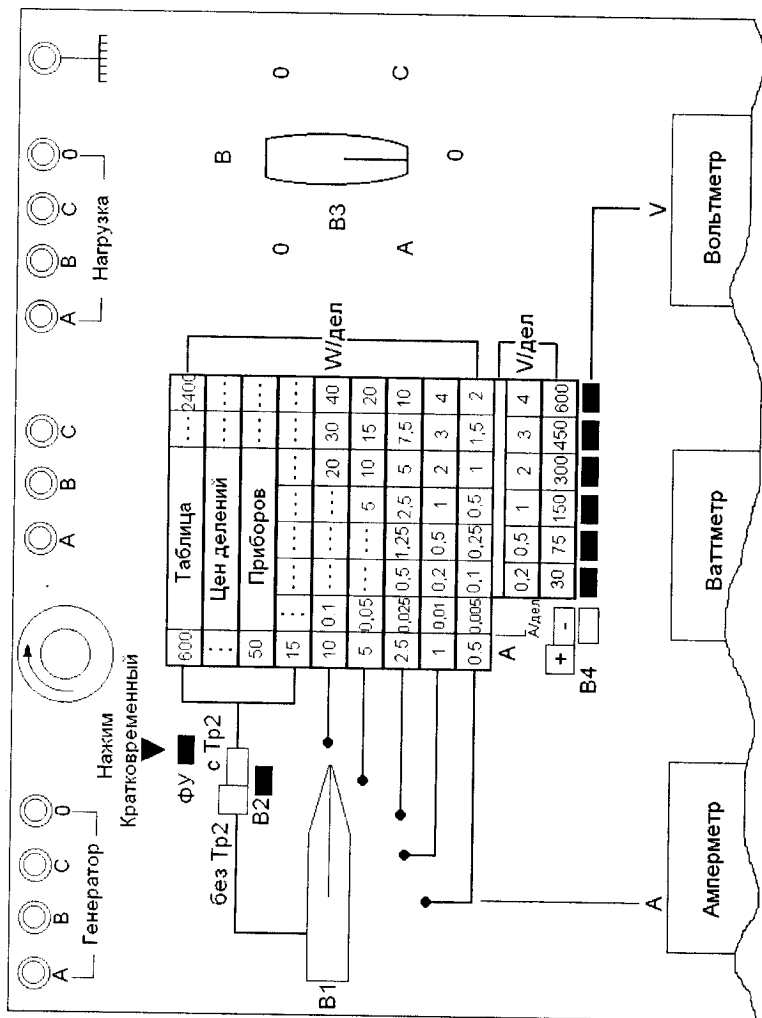


Рисунок 4.9 – Передня панель комплекту K505

В комплекті K505 за допомогою перемикача B3 ватметр (а разом із ним амперметр та вольтметр) вмикається по черзі у кожну із фаз кола.

2 Підготовка до роботи

1. Подайте в протоколі виконання (п. 1) всі можливі схеми з'єднання навантаження в трифазних колах (фаза А – активна, фаза В – індуктивно-активна, фаза С – ємнісно-активна). Визначте, як з'єднано навантаження на стенді.

2. Подайте в протоколі виконання (п. 2) схеми для вимірювання активної потужності в трифазних несиметричних трипровідному та чотирипровідному колах з навантаженням, що визначено в п. 1.

3. Обчисліть ціну поділки кожного з приладів, що входять до комплекту К505: амперметра C_I , вольтметра C_U та ватметра C_P . Для цього виберіть максимальні границі вимірювання струму I_{\max} , напруги U_{\max} та потужності P_{\max} залежно від параметрів мережі та навантаження ($U_L = 220$ В, $U_\phi = 127$ В, $I_L < 1$ А). Результати подайте в протоколі виконання (п. 2).

4. Подайте в протоколі виконання (п. 3) схему для вимірювання активної потужності в трифазному несиметричному трипровідному колі з навантаженням, що визначено в п. 1.

5. Обчисліть ціну поділки ватметрів C_{P1} та C_{P2} . Для цього виберіть максимальні границі вимірювання струму I_{\max} , напруги U_{\max} та потужності P_{\max} залежно від параметрів мережі та навантаження ($U_L = 220$ В, $U_\phi = 127$ В, $I_L < 1$ А). Результати подайте в протоколі виконання (п. 2).

6. Подайте в протоколі виконання (п. 4) схему для вимірювання реактивної потужності в трифазному несиметричному трипровідному колі з навантаженням, що визначено в п. 1.

3 Порядок виконання

1. Виміряйте активну потужність в трипровідному трифазному колі при несиметричному навантаженні, використовуючи комплект вимірювальних приладів типу К505. Для цього:

- складіть схему, на основі вказівок, поданих в підрозділі 1, рис. 4.2, з навантаженням, що визначено в п. 1 підрозділу 2;

- за допомогою перемикача В1 встановіть максимальну границю за струмом I_{\max} ;

- за допомогою перемикача В4 встановіть максимальну границю за напругою U_{\max} ;

- послідовно перемикаючи В3, виміряйте значення струму, напруги та потужності для кожної з фаз. Результати подайте в протоколі, п. 2, табл. 1.

2. Виміряйте активну потужність в чотирипровідному трифазному колі при несиметричному навантаженні, використовуючи комплект вимірювальних приладів типу К505. Для цього виконайте послідовність дій, описаних в п. 1 підрозділу 2. Результати подайте в протоколі, п. 2, табл. 2.

3. Виміряйте активну потужність в трипровідному колі при такому ж навантаженні методом двох ватметрів. Для цього:

- складіть схему, подану в протоколі, п. 3, рис. 3;

- зніміть покази ватметрів P_1 та P_2 . Результати подайте в протоколі, п. 3.

4. Виміряйте реактивну потужність того ж кола і при такому самому навантаженні за допомогою двох ватметрів активної потужності. Для цього:

- складіть схему, подану в протоколі, п. 4, рис. 4;
 - зніміть покази ватметрів P_1 та P_2 , з врахуванням знака! Результати подайте в протоколі, п. 4;
5. Заповніть список використаних приладів в протоколі виконання, п. 5.

4 Обробка результатів вимірювання

1. Розрахуйте сумарні значення споживаної потужності на основі експериментальних даних, отриманих в п. 1, 2, 3 підрозділу 3.

2. Розрахуйте значення реактивної потужності на основі експериментальних даних, отриманих в п. 4 підрозділу 3.

3. Використовуючи класи точності засобів вимірювання (п. 5 протоколу), оцініть максимальні абсолютні похибки використаних приладів. Для цього згадайте, як розраховується зведена похибка.

5 Висновки по роботі

1. Поясніть вибір максимальних границь I_{\max} та U_{\max} при вимірюванні потужності:

- методом трьох ватметрів (п. 2 протоколу);
- методом двох ватметрів (п. 3 протоколу).

2. Порівняйте результати вимірювань активної потужності в трифазному трипровідному колі, одержані методом трьох ватметрів (п. 2 протоколу) та методом двох ватметрів (п. 3 протоколу). Поясніть можливі причини відмінностей результатів вимірювань.

6 Контрольні питання

1. Структурна схема і принцип дії електродинамічного вимірювального перетворювача. Вивести рівняння перетворення та проаналізувати його.

2. Структурна схема і принцип дії електродинамічного ватметра. Вивести рівняння перетворення та проаналізувати його.

3. Вимірювання потужності в симетричному трифазному колі.

4. Вимірювання активної потужності в несиметричному трифазному колі трьома ватметрами.

5. Вимірювання активної потужності в несиметричному трифазному колі двома ватметрами.

6. Вимірювання реактивної потужності в несиметричному трифазному колі трьома ватметрами.

Протокол № _____
виконання лабораторної роботи № 4
«Вимірювання активної та реактивної потужностей в трифазних колах»

Дата виконання: _____

Викладач: _____

Виконавці:

Група _____
Бригада № _____

1. Схеми з'єднання навантаження в трифазних колах.

2. Вимірювання активної потужності в трифазному колі методом трьох ватметрів (комплект K505).

Рисунок 1 – Схема вимірювання активної потужності в трифазному трипровідному колі

Рисунок 2 – Схема вимірювання активної потужності в трифазному чотирипровідному колі

$I_{\max} =$

$U_{\max} =$

$P_{\max} =$

$C_1 =$

$C_U =$

$C_P =$

Таблиця 1 – Результати вимірювання в трифазному. трипровідному колі

	A	B	C	
I, A				
U, B				
P, Вт				$\Sigma P_c =$

Таблиця 2 – Результати вимірювання в трифазному. чотирипровідному колі

	A	B	C	
I, A				
U, B				
P, Вт				$\Sigma P_c =$

3. Вимірювання активної потужності в трифазному колі методом двох ватметрів.

Рисунок 3 – Схема вимірювання активної потужності в трифазному трипровідному колі методом двох ватметрів

$I_{\max} =$

$U_{\max} =$

$P_{\max} =$

$C_{P1} =$

$C_{P2} =$

Виміряні значення потужності:

$P_1 =$

$P_2 =$

$P_c =$

4. Вимірювання реактивної потужності в трифазному трипровідному колі.

Рисунок 4 – Схема вимірювання реактивної потужності в трифазному трипровідному колі методом двох ватметрів

Виміряні значення потужності:

$Q_1 =$

$Q_2 =$

$Q_c =$

5. Список використаних приладів.

Таблиця 3 – Параметри використаних приладів

Назва	Клас точності	Діапазон вимірювання	Діапазон показів	Ціна поділки	Умовне позначення

Повірка однофазного лічильника активної енергії

Мета роботи

1. Вивчити основні характеристики індукційного лічильника електричної енергії.
2. Засвоїти методику повірки індукційного лічильника електричної енергії.

І Короткі теоретичні відомості

Індукційні лічильники застосовуються для вимірювання як активної, так і реактивної енергії. Індукційні вимірювальні механізми лічильників електричної енергії бувають двох типів: радіальні й тангенціальні. Однак принцип їх дії однаковий. Розглянемо будову та принцип дії індукційного механізму лічильника радіального типу (рис. 5.1).

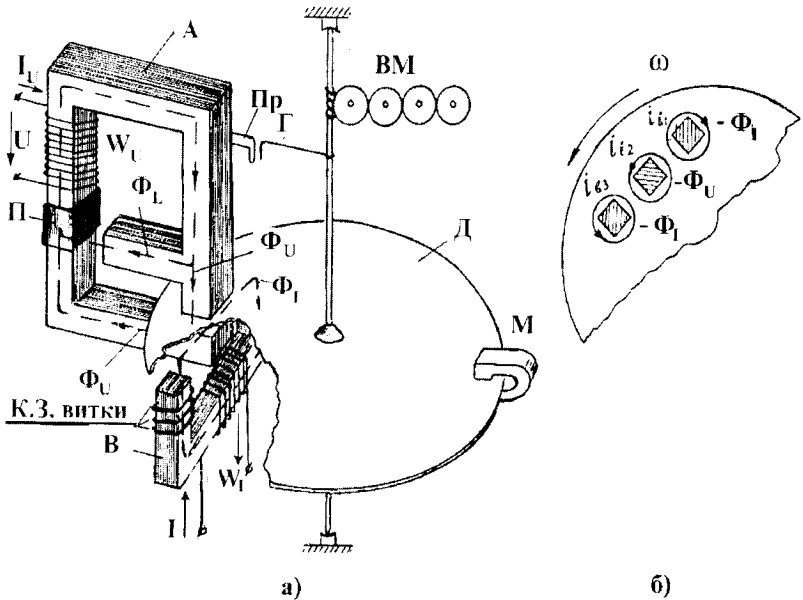


Рисунок 5.1 – Структурна схема індукційного механізму

В механізмі є два електромагніти (рис. 5.1, а) з феромагнітними шихтованими осердями, на одному із яких (А) знаходиться обмотка W_U , а на другому (В) – W_I . Обмотка W_U підключається до напруги U на навантаженні,

через неї протікає струм I_U , а через обмотку W_1 протікає струм навантаження I .

Між полюсами електромагніту А і над полюсами електромагніту В проходить закріплений на осі алюмінієвий диск Д. Диск проходить також між полюсами постійного магніту М. На осі є черв'ячна передача, за допомогою якої обертова вісь діє на відліковий механізм ВМ.

В електромагніті А струмом, що проходить в обмотці W_U , створюються два магнітні потоки: Φ_U і Φ_L ; в електромагніті В потік Φ_1 створюється струмом I в обмотці W_1 . Потік Φ_U перетинає диск один раз, потік Φ_1 – два рази, потік Φ_L диск не перетинає і називається неробочим потоком.

На рис. 5.1, б показані сліди потоків Φ_U та Φ_1 , а також контури, в яких протікають вихрові струми, що виникають у диску під дією перетинаючих диск змінних потоків Φ_U та Φ_1 . Як результат взаємодії кожного з потоків Φ_U , Φ_1 та $-\Phi_1$ з вихровими струмами, викликаними потоком, що знаходиться по сусідству з кожним із них, виникає обертальний момент, під дією якого диск починає обертатись.

Рівняння перетворення лічильника

$$W = C \cdot N,$$

де $C = (C_1 \cdot 2\pi) / K$ і називається *постійною лічильника* ($C = W/N$) та показує, яка енергія проходить через лічильник за один оберт диска.

Величина, обернена постійній лічильника, показує, скільки обертів диск лічильника робить при проходженні через нього одиниці енергії (наприклад, 1 кВт·год), і називається передаточним числом лічильника. Номінальне передаточне число вказується на щитку лічильника.

Ми розглядали роботу механізму лічильника у припущенні, що крім обертового та гальмівного моментів ніякі інші моменти на рухому частину механізму не діють. Насправді в опорах, лічильному механізмі має місце тертя. Для компенсації моменту тертя створюється додатковий (компенсаційний) обертальний момент. Але при незмінній напрузі компенсаційний момент є величина постійна, а момент тертя залежить від швидкості диска. Компенсація зазвичай здійснюється при струмі навантаження, рівному 10% від номінального.

Компенсаційний момент може бути більшим від моменту тертя і тоді, навіть при відключеному навантаженні, диск може обертатися. Це явище називається самоходом лічильника. Усувається самохід за допомогою гачка Г, який закріплюється на осі, та прапорця Пр, пластини якого використовуються для створення компенсаційного моменту (рис. 5.1, а).

До характеристик лічильника належить поріг чутливості, під яким розуміють найменше значення струму у процентах від $I_{ном}$, при якому починається безперервне обертання диска.

Клас точності лічильника дорівнює максимально припустимій відносній похибці (у відсотках) при номінальних значеннях струму та коефіцієнта потужності.

2 Підготовка до роботи

1. Згадайте, що таке $\cos\phi$ і що він характеризує. При якому характері навантаження $\cos\phi = 1$, а при якому $\cos\phi = 0.5$ та $\cos\phi = -0.5$?

2. Для чого застосовується лічильник? Які одиниці вимірювання електричної енергії?

3. Визначте ціну поділки кожного з приладів, поданих в протоколі виконання (п. 3).

3 Порядок виконання

1. Виконайте експеримент з перевірки лічильника при $U_{\text{ном}} = 220$ В, $\cos\phi = 1$ і значеннях струму навантаження 5, 4, 3, 2 та 1 А, використовуючи схему, наведену на рис. 5.2. Результати подайте в протоколі, п. 1, табл. 1. Для цього:

- встановіть необхідне значення напруги за допомогою ЛАТР;
- встановіть номінальне значення струму навантаження (5 А);
- встановіть за допомогою фазорегулятора $\cos\phi = 1$;
- зніміть покази ватметра Р;
- виміряйте час t , за який диск лічильника зробить 6 повних обертів (виконайте дослід тричі);
- послідовно зменшуючи значення струму навантаження, повторіть процедуру вимірювання.

2. Виконайте експеримент з перевірки лічильника при $\cos\phi = -0.5$ або $\cos\phi = 0.5$. Результати подайте в протоколі, п. 2, табл. 2. Для цього:

- встановіть номінальне значення струму навантаження (5 А);
- встановіть за допомогою фазорегулятора відповідне значення $\cos\phi$;
- зніміть покази ватметра Р;
- виміряйте час t , за який диск лічильника зробить 6 повних обертів (виконайте дослід тричі);
- послідовно зменшуючи значення струму навантаження, повторіть процедуру вимірювання. При зменшенні навантаження $\cos\phi$ може змінюватися!

3. Перевірте лічильник на самохід. Результати подайте в протоколі, п. 3. Для цього:

- встановіть значення напруги 110% від $U_{\text{ном}}$;
- відключіть струмову обмотку навантаження ($I_n = 0$);
- перевірте, чи обертається диск лічильника.

4. Визначте поріг чутливості лічильника. Результати подайте в протоколі, п. 4. Для цього:

- встановіть номінальне значення напруги $U_{\text{ном}}$;

- встановить нульовий струм навантаження ($I_n = 0$);
- замість амперметра Э539 під'єднайте міліамперметр Э59;
- повільно збільшуйте струм навантаження до того моменту, коли диск зробить більше одного оберту і не зупиниться;
- зафіксоване значення струму міліамперметром Э59 і буде порогом чутливості лічильника.

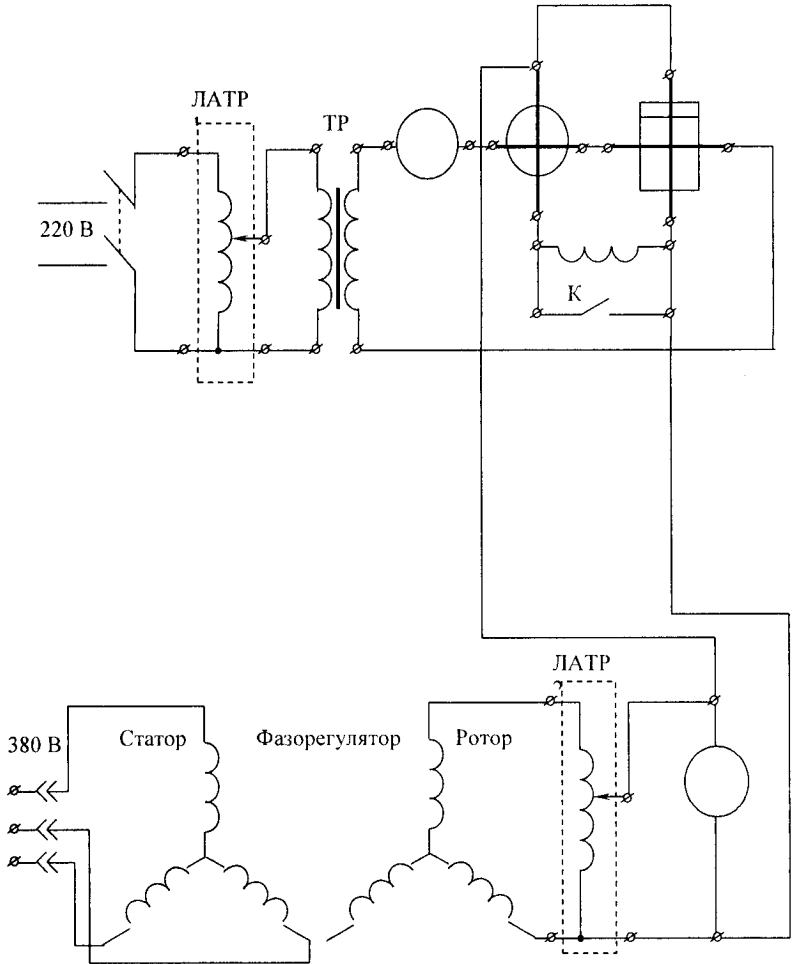


Рисунок 5.2 – Схема перевірки лічильника активної енергії

4 Обробка результатів вимірювання

1. Оцініть похибки лічильника за результатами експериментів в п. 1 підрозділу 3 (при $\cos\varphi = 1$). Для цього:

- визначте номінальну постійну лічильника

$$C_n = \frac{P_n \times t_n}{N_n},$$

де $P_n = 1$ кВт, $t_n = 1$ год, N_n – номінальна кількість обертів;

- визначте дійсну (виміряну) постійну лічильника для кожного з результатів вимірювання (для струмів 5, 4, 3, 2, 1 А)

$$C_B = \frac{P_B \times t_{\text{сер}}}{N_B},$$

де P_B – виміряне значення потужності, N_B – виміряна кількість обертів диска, $t_{\text{сер}}$ – середнє виміряне значення часу,

$$t_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n},$$

де n – кількість вимірювань для кожного значення струму;

- обчисліть відносну похибку лічильника для кожного з результатів вимірювань

$$\delta = \frac{C_n - C_B}{C_n} \times 100\%;$$

- побудуйте залежність похибки лічильника від струму навантаження.

2. Оцініть похибки лічильника за результатами експериментів в п. 2 підрозділу 3 (при $\cos\varphi = 0.5$ або $\cos\varphi = -0.5$). Для цього виконайте послідовність кроків, описаних в п. 1 підрозділу 4.

3. На основі оцінених похибок визначте клас точності лічильника q .

4. Визначте поріг чутливості лічильника (у відсотках) на основі проведених дослідів в п. 4 підрозділу 3:

$$S = \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{ном}}} \cdot 100\%.$$

5 Висновки по роботі

1. Проаналізуйте залежності похибок лічильника від струму навантаження. В яких випадках краще застосовувати даний лічильник? Як впливає характер навантаження на похибку лічильника?
2. Чи відповідає оцінений клас точності лічильника паспортним даним?
3. Зробіть висновок про наявність чи відсутність самоходу лічильника.
4. Для яких приладів лічильник не буде облікувати споживану енергію?

6 Контрольні питання

1. Структурна схема і принцип дії індукційного лічильника.
2. Виведіть рівняння перетворення індукційного лічильника.
3. Які моменти діють на рухому частину вимірювального механізму?
4. Як визначається стала (постійна) лічильника і її фізичний зміст?
5. Що таке передаточне число лічильника?
6. Як визначити абсолютну похибку лічильника?
7. Як визначити відносну похибку лічильника?
8. За рахунок якого фізичного явища створюється гальмівний момент і як він визначається?
9. За рахунок якого фізичного явища створюється обертальний момент і як він визначається?
10. Поясніть фізичну суть явища «самохід лічильника». Що таке компенсаційний момент лічильника?
11. Дайте поняття чутливості і порогу чутливості. Як експериментально визначити поріг чутливості?

Протокол № _____
 виконання лабораторної роботи № 5
 «Повірка однофазного лічильника активної енергії»

Дата виконання: _____

Викладач: _____

Виконавці:

Група _____

Бригада № _____

1. Повірка лічильника при $\cos\varphi=1$.

Таблиця 1 – Результати першого дослідю

	$I_{\text{НОМ}}$	$80\% I_{\text{НОМ}}$	$60\% I_{\text{НОМ}}$	$40\% I_{\text{НОМ}}$	$20\% I_{\text{НОМ}}$
U, В	220				
cosφ	1				
I, А	5	4	3	2	1
n, об	6	6	6	6	6
P, Вт					
t, с					
$t_{\text{ср}}$, с					

2. Повірка лічильника при $\cos\varphi=0.5$ (-0.5).

Таблиця 2 – Результати другого дослідю

	$I_{\text{НОМ}}$	$80\% I_{\text{НОМ}}$	$60\% I_{\text{НОМ}}$	$40\% I_{\text{НОМ}}$	$20\% I_{\text{НОМ}}$
U, В	220				
cosφ	0.5				
I, А	5	4	3	2	1
n, об	6	6	6	6	6
P, Вт					
t, с					
$t_{\text{ср}}$, с					

3. Перевірка лічильника на самохід.

Висновок:

4. Поріг чутливості лічильника.

Мінімальне значення струму: $I_{\min} =$

5. Список використаних приладів.

Таблиця 3 – Параметри використаних приладів

Назва	Клас точності	Діапазон вимірювання	Діапазон показів	Ціна поділки (передаточне число)	Умовне позначення
Амперметр Э539					
Вольтметр Э545					
Ватметр Д5066					
Міліамперметр Э59					
Лічильник СО-М446					

Лабораторна робота № 6

Вимірювання опорів на постійному струмі

Мета роботи

1. Навчитися застосовувати метод амперметра-вольтметра для вимірювання активних опорів.
2. Навчитися використовувати міст постійного струму для вимірювання активних опорів.
3. Навчитися визначати значення опорів резисторів за відповідним маркуванням на них.
4. Навчитися застосовувати методику оцінювання випадкових похибок.

1 Короткі теоретичні відомості

1. Багатомезний вольтметр М2044 використовується як для вимірювання напруги (до 600 В), так і для вимірювання струмів. В даній лабораторній роботі його використовують як амперметр.

На передній стороні приладу знаходяться (рис. 6.1): перемикач діапазонів вимірювань 2; перемикач кратності 1; клеми для увімкнення приладу в коло.

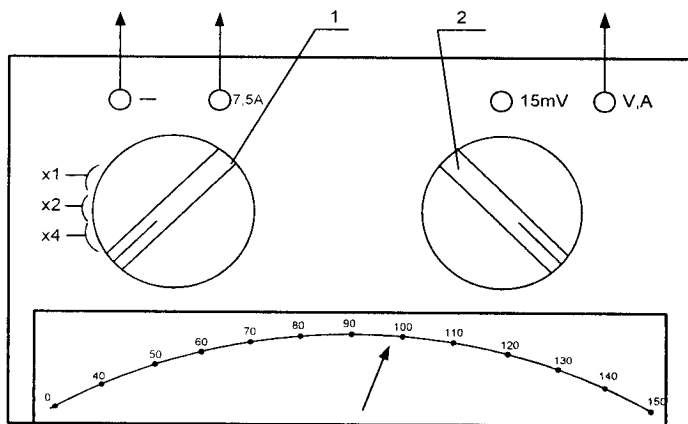


Рисунок 6.1 – Вольтамперметр М2044

Для вимірювання струму до 3000 мА або ж напруги до 150 В прилад вмикається в коло провідниками, які підключаються до клем «—» і «V, А» (на рис. 6.1 показано стрілками). Діапазон вимірювання встановлюється перемикачами 1 і 2. При вимірюванні струмів до 30 А провідник з клем «V, А» необхідно перенести на клеми «7.5 А».

2. Вольтметр М2017 має тільки один діапазон вимірювання струму 0...3 мА, решта діапазонів – для вимірювання напруг. Для вимірювання на-

пруг більше 45 mV провідники підключаються до клем «—» і «V». Діапазон вибирається перемикачем.

3. Міст Р4053 є одинарним мостом з двоклемним та чотириклемним підключенням резистивних елементів. Основні технічні характеристики моста наведені в табл. 6.1. Час установлення покажчика нульового індикатора не більше 4 с при вимірюванні опорів до 10 Ом; 15 с – до 10^{10} Ом; 20 с – до 10^{12} Ом; 3хв – до 10^{14} Ом та 10 хв – до 10^{15} Ом. Міст живиться від мережі змінного струму частотою 50 Гц, напругою 220 В.

Таблиця 6.1 – Параметри моста постійного струму

Номер діапазону	Положення перемикача діапазонів	Діапазон вимірюваного опору	Клас точності
1	Ω_1	001.000-099.999 Ом	2
2	Ω_2	0100.000-0999.99 Ом	0.05
3	$K\Omega(1)$	01.0000-09.9999 кОм	0.05
4	$K\Omega(2)$	010.000-099.999 кОм	0.05
5	$K\Omega(3)$	0100.00-0999.99 кОм	0.05
6	$M\Omega(1)$	01.0000-09.9999 мОм	0.05
7	$M\Omega(2)$	010.000-099.999 мОм	0.05
8	$M\Omega(3)$	0100.00-0999.99 мОм	0.05
9	$G\Omega(1)$	01.0000-09.9999 гОм	0.05
10	$G\Omega(2)$	0010.00-0099.99 гОм	0.1
11	$G\Omega(2)$	00100.00-0999.99 гОм	0.05
12	$T\Omega 1$	01.0000-99.9999 гОм	2.0
13	$T\Omega 2$	0100.00-0999.99 гОм	10.0

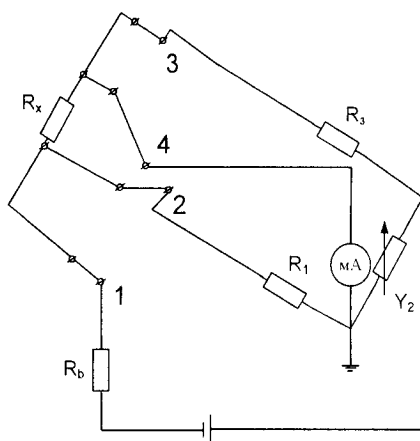


Рисунок 6.2 – Схема вимірювального моста Р4053

Для вимірювання опорів у діапазоні від 1,0 до 10^2 Ом застосовується вимірювальна схема одинарного моста з чотириклемним підключенням опору (див. рис. 6.2), що дає можливість зменшити вплив з'єднувальних провідників та контактів на результати вимірювання.

Для вимірювання опорів в діапазоні від 10^2 до 10^{15} Ом застосовується схема одинарного моста з двоклемним підключенням опору R_x (див. рис. 6.2).

2 Підготовка до роботи

Перед виконанням лабораторної роботи виконайте такі дії.

1. Розробіть схему для вимірювання опорів методом амперметра-вольтметра. Для цього згадайте закон Ома. Результати подайте в протоколі виконання (п. 1, рис. 1).

2. Розрахуйте максимальні межі вимірювання приладів. Для цього знайдіть значення струму I_{R1} , яке буде протікати через резистор *малого опору* R_1 (відповідно до номера бригади в табл. 6.2), якщо номінальне значення напруги джерела живлення $U_{дж} = 12$ В, а струму $I_{дж} = 2$ А. Чи перевищує розраховане значення номінальний струм джерела живлення? Що необхідно зробити для його зменшення?

Таблиця 6.2 – Значення опорів малого номіналу

Номер бригади	1	2	3	4	5
Значення малого опору R_1 , Ом	1	2	3.6	5.6	6.2

3. Розрахуйте максимальну межу вимірювання магнітоелектричного амперметра М2044 I_{max1} , необхідну для вимірювання струму в резисторі малого опору R_1 разом з додатковим реостатом з номінальним значенням опору 100 Ом та номінальним значенням струму 1 А. Результати подайте в протоколі виконання, п. 1. Для цього:

- з табл. 6.3 виберіть максимальну межу вимірювання I_{max1} ;
- розрахуйте ціну поділки приладу C_{A1} ;
- визначте опір приладу на основі даних з табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Параметри приладу М2044

Кінцеве значення діапазону (межа)	мА	0.75	1.5	30	75	15	30	75	150
Спадання напруги (не більше)	мВ	20	40	82	25	50	100	25	50
Кінцеве значення діапазону (межа)	мА	300	750						
Спадання напруги (не більше)	мВ	100	35						

4. Розрахуйте максимальну межу вимірювання U_{max1} магнітоелектричного вольтметра М2017 (струм повного відхилення дорівнює 1 мА), необ-

хідну для вимірювання напруги на резисторі R_1 , на основі вибраної максимальної межі вимірювання амперметра $I_{\max 1}$ в п. 3 підрозділу 2. Результати подайте в протоколі виконання, п. 1. Для цього:

- з табл. 6.4 виберіть максимальну межу вимірювання $U_{\max 1}$;
- розрахуйте ціну поділки приладу C_{V1} ;
- визначте опір приладу на основі даних з табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Параметри приладу M2017

Кінцеве значення діапазону (межа)	мВ	45	75						
	В	0.15	0.30	0.75	1.5	3.0	7.5	15	30
		75	150	300	750				

5. Здійснить аналогічні розрахунки (п. 2 – 4 підрозділу 2) параметрів амперметра M2044 та вольтметра M2017 для вимірювання *великого опору* R_2 (відповідно до номера бригади в табл. 6.5). Зверніть увагу на значення струму в резисторі R_2 . Чи необхідно застосовувати додатковий опір як в попередньому випадку?

Таблиця 6.5 – Значення опорів великого номіналу

Номер бригади	1	2	3	4	5
Значення великого опору R_2 , кОм	4.7	3.6	7.5	1.8	1.5

6. Заповніть таблицю використаних приладів в п. 5 протоколу виконання.

3 Порядок виконання

1. Виміряйте значення малого опору R_1 методом амперметра-вольтметра, використовуючи дві схеми підключення приладів (рис. 6.1). Результати подайте в протоколі виконання (п. 1, табл. 1 та 2). Для цього:

- складіть схему, подану на рис. 6.3, а;
- встановіть реостат в крайнє положення;
- задайте номінальне значення напруги джерела (до 12 В);
- виміряйте значення струму та напруги на резисторі (результати занесіть в п. 1, табл. 1 протоколу);
- вимкніть джерело живлення (встановивши нульове значення напруги);
- складіть схему, подану на рис. 6.3, б;
- проведіть аналогічні вимірювання струму та напруги (результати занесіть в п. 1 протоколу).

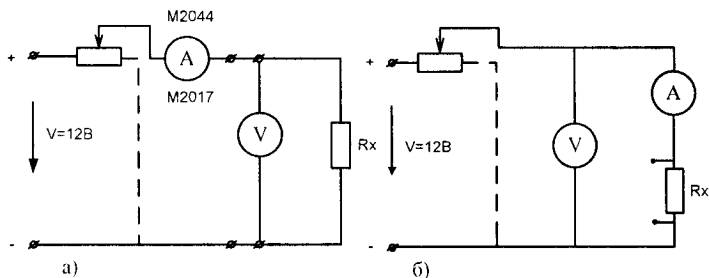


Рисунок 6.3 – Метод амперметра-вольтметра

2. Виміряйте значення великого опору R_2 методом амперметра-вольтметра, використовуючи дві схеми підключення приладів (рис. 6.1) без додаткового опору. Результати подайте в протоколі виконання (п. 2, табл. 2). Для цього виконайте послідовність кроків, описаних в п. 1 підрозділу 3.

3. Виміряйте значення малого опору (відповідно до номера бригади в табл. 6.1) за допомогою вимірювального моста постійного струму Р4053. Результати подайте в п. 3 протоколу виконання. Для цього:

- складіть чотирьоклемну схему підключення резисторів (рис. 6.2);
- встановіть перемикач схеми вимірювання в положення « $1 \cdot 10^2 \Omega$ » та перемикач діапазону вимірювання K_2 в положення Ω ;
- закрийте кришку камери R_X ;
- встановіть світловий показчик мікроамперметра на нуль, змінюючи положення рукояток декадних перемикачів магазину провідності;
- натисніть та зафіксуйте кнопку «Точно»;
- виконайте остаточне врівноваження моста, змінюючи положення рукояток декадних перемикачів;
- відпустіть кнопку «Точно» та запишіть покази декадних перемикачів в п. 3 протоколу;
- перемикач « $1 \cdot 10^2 \Omega$ » поставте в нейтральне положення;
- повторіть вимірювання малого опору 9 разів.

4. Виміряйте значення великого опору (відповідно до номера бригади в табл. 6.5) за допомогою вимірювального моста постійного струму Р4053. Результати подайте в п. 4 протоколу виконання. Для цього:

- складіть двоклемну схему підключення резисторів (рис. 6.3);
- встановіть перемикач схеми вимірювання в положення « $10^2 - 10^{15} \Omega$ » та перемикач діапазону вимірювання K_2 в положення $k\Omega$;
- закрийте кришку камери R_X ;
- встановіть світловий показчик мікроамперметра на нуль, змінюючи положення рукояток декадних перемикачів магазину провідності;
- натисніть та зафіксуйте кнопку «Точно»;
- виконайте остаточне врівноваження моста, змінюючи положення рукояток декадних перемикачів;

- відпустіть кнопку «Точно» та запишіть покази декадних перемикачів в п. 4 протоколу;
- перемикач « $10^2 - 10^{15} \Omega$ » поставте в нейтральне положення;
- повторіть вимірювання великого опору 9 разів за описаною методикою.

4 Обробка результатів вимірювання

1. Оцініть поправку, абсолютну та відносну похибки вимірювання малого і великого опорів за допомогою двох схем увімкнення амперметра та вольтметра, прийнявши номінальне значення опору за дійсне (п. 1 – 2 підрозділу 3).

2. Оцініть методичну похибку для кожної з схем вимірювання опору методом амперметра-вольтметра, використовуючи розраховані значення опорів амперметра та вольтметра.

3. Оцініть випадкові похибки вимірювання малого та великого опорів за допомогою моста P4053.

5 Висновки по роботі

1. Порівняйте оцінені похибки вимірювання малих та великих опорів методом амперметра-вольтметра та методичну похибку даного методу для кожної з схем вимірювання відповідно.

2. Порівняйте оцінені випадкові похибки моста P4053 з класом точності.

3. Порівняйте значення малих та великих опорів, виміряними двома методами.

6 Контрольні питання

1. Міст Уїтстона. Основні поняття та означення.

2. Виведення умови рівноваги на прикладі моста Уїтстона в загальному вигляді.

3. Особливості зрівноваження мостів на постійному і змінному струмі.

4. Одинарний міст. Методика вимірювання великих опорів.

5. Подвійний міст. Методика вимірювання малих опорів.

6. Чотириполюсне увімкнення одинарного моста.

7. Автоматичний міст постійного струму: структурна схема і принцип дії.

8. Міст для вимірювання ідеальної ємності: структурна схема, методика виведення умови рівноваги.

9. Дві схеми заміщення конденсаторів.

10. Міст для вимірювання ємності з малими втратами: структурна схема, методика виведення умови рівноваги.

11. Міст для вимірювання ємності з великими втратами: структурна схема, методика виведення умови рівноваги.

12. Міст для вимірювання індуктивності, яка зрівноважується змінною індуктивністю: структурна схема, методика виведення умови рівноваги.

13. Міст для вимірювання індуктивності, яка зрівноважується змінною ємністю: структурна схема, методика виведення умови рівноваги.

Протокол № _____
 виконання лабораторної роботи № 6
 «Вимірювання опорів на постійному струмі»

Дата виконання: _____

Викладач: _____

Виконавці:

Група _____

Бригада № _____

1. Вимірювання малого опору методом амперметра-вольтметра.

Рисунок 1 – Схеми вимірювання малих опорів

Параметри амперметра М2044:

Параметри вольтметра М2017:

$I_{\max 1} =$

$C_{A1} =$

$U_{\max 1} =$

$C_{V1} =$

$R_{A1} =$

$R_{V1} =$

Таблиця 1 – Результати непрямих вимірювань малого опору

	I, мА	U, В	R, Ом	Δ , Ом	Δq , Ом	δ , %
схема 6.3, а						
схема 6.3, б						

2. Вимірювання великих опорів методом амперметра-вольтметра.

Рисунок 2 – Схеми вимірювання великих опорів

Параметри амперметра М2044:

Параметри вольтметра М2017:

$I_{\max 2} =$

$C_{A2} =$

$U_{\max 2} =$

$C_{V2} =$

$R_{A2} =$

$R_{V2} =$

Таблиця 2 – Результати непрямих вимірювань великого опору

	I, мА	U, В	R, Ом	Δ , Ом	Δq , Ом	δ , %
схема 6.3, а						
схема 6.3, б						

3. Вимірювання малого опору мостом P4053.

Таблиця 3 – Результати вимірювань малого опору мостом P4053

R _в , Ом										
---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

4. Вимірювання великого опору мостом P4053.

Таблиця 4 – Результати вимірювань великого опору мостом P4053

R _в , Ом										
---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

5. Список використаних приладів.

Таблиця 5 – Параметри використаних приладів

Назва	Клас точності	Діапазон вимірювання	Діапазон показів	Ціна поділки	Умовне позначення

Лабораторна робота № 7

Вимірювання електричних величин компенсатором постійного струму

Мета роботи

Навчитися застосовувати компенсатор постійного струму для вимірювання струмів та напруг, а також параметрів електричного кола.

І Короткі теоретичні відомості

Принцип дії компенсатора полягає в компенсації (протиставленні) двох спрямованих назустріч фізичних величин, одна з яких вимірювана, а інша – зразкова (відома з високою точністю).

В електровимірювальній техніці як такі величини використовують напруги, струми, е.р.с. Останні на практиці зустрічаються рідко, тому надалі розглядаються тільки компенсатори з компенсацією напруг.

1. Дві схеми компенсації напруги. На рис. 7.1, а показана принципова схема вимірювального кола компенсації напруг. Вимірювана напруга U_x компенсується зразковою напругою U_k , яка створюється у вигляді спаду напруги робочого струму I_p на опорі R_k , значення якого відоме з високою точністю. Змінюючи значення робочого струму I_p установлюваним резистором R_y , досягають рівності *вимірюваної* U_x і компенсувальної U_k напруг. Момент рівності $U_x = U_k$ характеризується відсутністю струму в індикаторі рівноваги IP, тоді

$$U_x = U_k = I_p \times R_k \quad \left| \begin{array}{l} I_p \rightarrow \text{var} \\ R_k = \text{const} \end{array} \right.$$

Аналіз показує, що вимірювана напруга пропорційна значенню робочого струму I_p . Тому шкалу амперметра А градуують у вольтах.

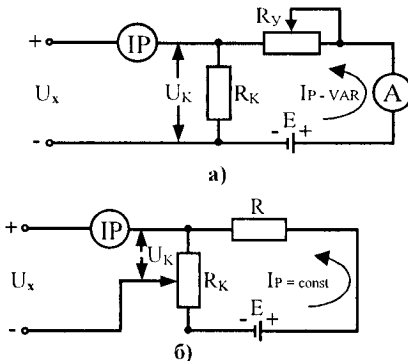


Рисунок 7.1 – Дві схеми компенсації напруг

Компенсувальну напругу U_k можна змінювати також, змінивши значення опору резистора R_k (рис. 7.1, б) при сталому робочому струмі I_p :

$$U_x = U_k = I_p \times R_k \quad \left| \begin{array}{l} I_p = \text{const} \\ R_k \rightarrow \text{var} \end{array} \right.$$

В даному випадку вимірювана напруга U_x буде пропорційна значенню резистора R_k . Лінійні або кутові положення цього резистора градують у вольтах.

У момент повної компенсації компенсатор не споживає енергію від об'єкта вимірювання (струм у колі індикатора рівноваги відсутній $I_p = 0$), отже, режим роботи об'єкта вимірювання не порушується. Крім того, відсутність струму в колі ІР дозволяє суттєво зменшити вплив на результати вимірювання спаду напруги на з'єднувальних провідниках, за допомогою яких компенсатор з'єднано з об'єктом вимірювання.

2. Компенсатор постійного струму. Найбільш розповсюджена схема компенсатора постійного струму наведена на рис. 7.2. В схемі: НЕ – нормальний елемент, який є зразковою мірою е.р.с.; ДБ – допоміжна батарея. В положенні 1 ключа S регулюванням реостата R_p установлюється робочий струм компенсатора I_p . При нульових показках ІР спад напруги на зразковому резисторі R_y дорівнює е.р.с. нормального елемента E_N : $I_p \cdot R_y = E_N$.

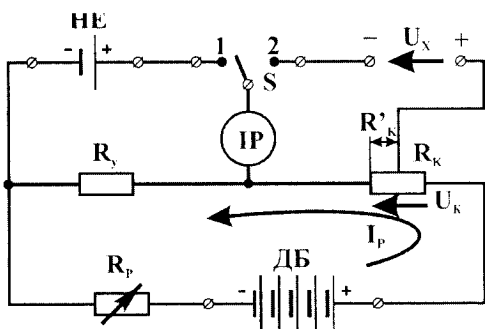


Рисунок 7.2 – Компенсатор постійного струму

При точних значеннях E_N та R_y і високій чутливості ІР значення робочого струму встановлюється з високою точністю.

Після встановлення робочого струму перемикач S переводиться в положення 2. Регулюванням зразкового опору R_k досягають нульового показу ІР. При цьому $I_p \cdot R'_k \cdot R_k = U_k = U_x$, де R'_k – частина зразкового опору R_k , яка відповідає нульовому показу ІР. З останньої рівності випливає, що при встановлених з високою точністю робочому струмі та R_k визначається з відповідною точністю значення U_x . При незмінному для даного компенсато-

ра значенні робочого струму I_p регульований зразковий опір R_x можна проградувати безпосередньо у вольтах.

Для вимірювання струму в деякій вітці кола в цю вітку вмикається зразковий опір R_N . Вимірявши спад напруги на цьому опорі, за законом Ома визначають струм: $I=U_N/R_N$. Для вимірювання опору його вмикають послідовно з R_N (рис. 7.3).

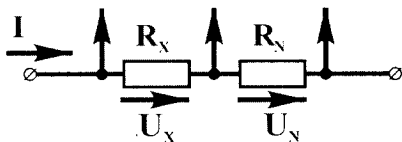


Рисунок 7.3 – Вимірювання опору

За спадом напруги на R_N визначають струм в колі I , а вимірявши U_x та знаючи I , обчислюють $R_x=U_x/I$.

За допомогою компенсаторів можна виміряти е.р.с. та напруги з високою точністю. Класи точності компенсаторів постійного струму знаходяться у межах від 0.005 до 0.5. При цьому верхня межа вимірювання не перевищує 1.5–2.5 В. Нижня межа вимірювання може становити одиниці нановольт. Якщо замість НЕ використати стабілізоване джерело напруги, то верхня межа вимірювання може бути підвищена до декількох десятків вольт. Для розширення діапазону вимірювання можуть застосовуватись подільники напруги.

2 Підготовка до роботи

Згадайте, які переваги застосування компенсаторів постійного струму? Чому б не скористатися звичайним вольтметром чи амперметром?

3 Порядок виконання

1. Виміряйте три довільних значення струму I_x (в межах діапазону міліамперметра) за допомогою компенсатора постійного струму (рис. 7.1). Для цього:

- за допомогою реостатів встановіть довільне значення струму I_A ;
- гнучкі контакти (Π_1) під'єднайте паралельно зразковому резистору R_N ;
- за допомогою декадних перемикачів потенціометра встановіть гальванометр в нульове положення;
- відповідно до положень декадних перемикачів, запишіть значення напруги U_x на зразковому резисторі;
- використовуючи виміряне значення напруги U_x та відоме значення зразкового опору R_N , знайдіть струм I_x ;
- результати вимірювань занесіть в п. 1 протоколу виконання.

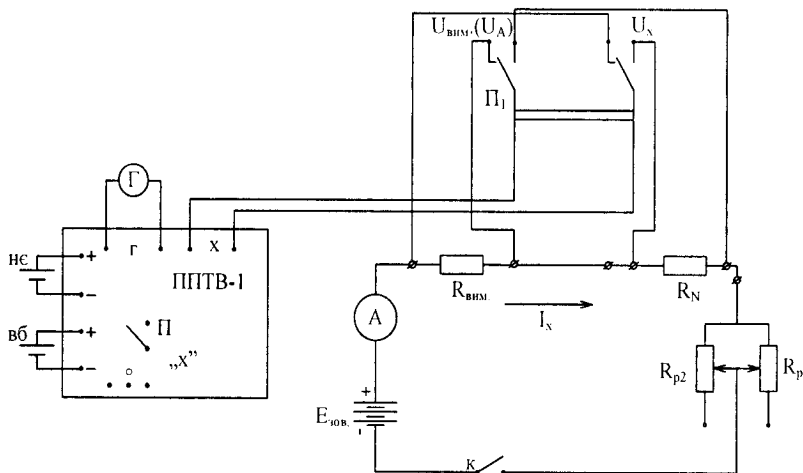


Рисунок 7.4 – Схема компенсатора постійного струму

2. Виміряйте значення опору резистора R_x (результати вимірювань занести в п. 2 протоколу). Для цього:

- гнучкі контакти (Π_1) під'єднайте паралельно резистору R_x ;
- аналогічно п. 2 цього підрозділу встановіть гальванометр на нуль і запишіть значення напруги U_x ;
- за відомими значеннями струму I_A та напруги U_x визначте R_x .

3. Виміряйте внутрішній опір міліамперметра R_A (результати вимірювань занесіть в п. 3 протоколу). Для цього:

- гнучкі контакти (Π_1) під'єднайте паралельно міліамперметру;
- виконайте аналогічні вимірювання п. 2 цього підрозділу та за відомими значеннями струму I_A та напруги U_x визначте R_x .

4 Обробка результатів вимірювання

1. Оцініть похибки вимірювання:

- струму, приймаючи покази міліамперметра за дійсні;
- опору, вважаючи його дійсне значення 5 Ом;
- опору міліамперметра, дійсне значення якого вказано на приладі.

2. Визначте потужність, яка споживається амперметром.

5 Висновки по роботі

1. Проаналізуйте причини похибок вимірювання струмів та опорів в даній роботі.

2. Який з використаних приладів (амперметр чи компенсатор) має вищий клас точності? Чому?

6 Контрольні питання

1. Назвіть переваги нульового методу вимірювання.
2. Узагальнена структурна схема реалізації нульового методу вимірювання.
3. Дві схеми компенсації напруги.
4. Компенсатор постійного струму: структурна схема і принцип дії. Яким чином здійснюється регулювання компенсувальної напруги?
5. Особливості компенсації змінних напруг. Дві форми подання змінних напруг.
6. Рівності яких параметрів необхідно досягнути при компенсації змінної напруги?
7. Як забезпечується узгодження частоти вимірюваної і компенсаційної напруг у компенсаторах змінного струму?
8. Компенсатор змінного струму: структурна схема і принцип дії.

Протокол № _____
 виконання лабораторної роботи № 7
 «Вимірювання електричних величин компенсатором постійного струму»

Дата виконання: _____

Викладач: _____

Виконавці:

Група _____
 Бригада № _____

1. Вимірювання струму.

$R_N = 10 \text{ Ом}$

Таблиця 1 – Результати вимірювання параметрів зі зразковим резистором

Номер дослідів	$U_x, \text{ В}$	$I_x, \text{ А}$	$I_A, \text{ А}$	$\Delta, \text{ А}$	$\delta, \%$
1					
2					
3					

2. Вимірювання опору.

$I_A =$ $U_x =$

$R_x =$ $R_d = 5 \text{ Ом};$ $\Delta =$ $\delta =$

3. Вимірювання опору міліамперметра.

$I_A =$ $U_x =$

$R_A =$ $R_d =$ $\Delta =$ $\delta =$

Лабораторна робота № 8

Електронний осцилограф

Мета роботи

Навчитися застосовувати електронний осцилограф С1-68 для візуального спостереження за формою сигналів, вимірювання амплітуди, частоти, часових інтервалів, зсувів фаз.

1 Короткі теоретичні відомості

1. Побудова та принцип дії електронного осцилографа. Сучасний осцилограф є складним електронним приладом, призначеним для дослідження форми електричних напруг та вимірювання їх параметрів.

Одним із основних вузлів осцилографа є електронно-променева трубка (ЕПТ). Для одержання розгорнутої в часі досліджуваної напруги на екрані в ЕПТ є дві пари пластин: вертикально- та горизонтально відхиляючі пластини, позначені на рис. 8.1 відповідно літерами Y-Y та X-X. Якщо на обох парах пластин напруга відсутня, то потік електронів (електронний промінь), що виробляється спеціальним пристроєм ЕПТ, буде створювати пляму, яка світитиметься в центрі екрана ЕПТ.

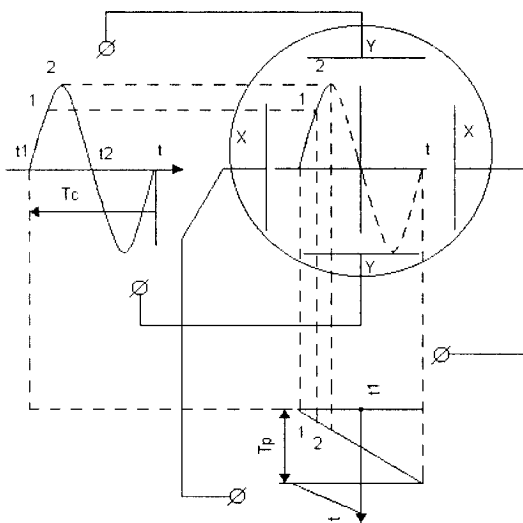


Рисунок 8.1 – Принцип роботи осцилографа

Якщо подати на пластину Y-Y досліджувану, а на пластину X-X напругу, яка змінюється лінійно (пилкоподібну), пляма, яка світиться, переміщується на екрані догори-донизу та направо, в результаті чого на екрані одержуємо розгорнуте в часі зображення досліджуваного сигналу.

Але для того, щоб зображення досліджуваної періодичної напруги залишалось на екрані ЕТП нерухомим, потрібно, щоб частота пілкоподібної напруги дорівнювала або була в ціле число разів меншою від частоти досліджуваної напруги (тобто період T_p на рис. 8.1 повинен дорівнювати або бути в ціле число разів більшим від періоду T_c).

Крім того, необхідно, щоб кожний період пілкоподібної напруги розгортання починався в моменти $(t_1 + n \cdot T_p)$, де $n=1,2,3,\dots$, які відповідають переходу через нуль досліджуваної напруги. Такий тип синхронізації називають внутрішньою синхронізацією. Необхідно також, щоб в момент стрибкоподібної зміни пілкоподібної напруги від додатних до від'ємних значень електронний промінь не попав на екран осцилографа, оскільки в цьому випадку на екрані була б лінія, яку викреслює промінь при своєму русі справа наліво. Для виконання цих умов слугують схеми синхронізації та управління розгортанням.

2. Вимірювання амплітуди. Перед вимірюванням необхідно підготувати прилад до роботи, вибрати режим синхронізації і розгортання. Для більшості випадків використовується безперервне розгортання з синхронізацією досліджуваним сигналом.

Для одержання безперервного розгортання зручніше спочатку установити режим очікування, а потім перейти до безперервної роботи. Для одержання розгортання очікування з синхронізацією досліджуваним сигналом необхідно установити ручку перемикача типу синхронізації в положення «ВНУТР.», а ручку «РІВЕНЬ» – в одне з крайніх положень. Поставити в потрібне положення перемикач тривалостей і тумблер множника розгортання, якщо приблизно відома тривалість досліджуваного процесу. Установити перемикач «V/см, mV/см» в положення, при якому величина досліджуваного сигналу на екрані приладу найбільш зручна для спостереження. Подайте досліджуваний сигнал на вхід «1M Ω 50pF».

Обертайте ручку «СТАБ.» вправо до появи зображення на екрані ЕТП. Обертаючи цю ж ручку в зворотній бік, установіть її в положення, при якому розгортання зривається. Це положення відповідає режиму очікування. Поверніть ручку «РІВЕНЬ» до появи стійкого зображення сигналу. Перемикачем вибору полярності синхронізації («-», «+», «~», « \sim ») можна здійснити запуск розгортання від додатної чи від'ємної частини сигналу, установивши його в положення «+», або «-».

Для одержання безперервного розгортання необхідно виконати ті ж самі операції, що й для роботи в режимі очікування, потрібно тільки за відсутності сигналу на вході повернути ручку «СТАБ.» так, щоб на екрані з'явилась лінія розгортання, потім подати на вхід «1M Ω 50pF» досліджуваний сигнал і повертати ручку «Рівень» до одержання стійкого зображення. Якщо цього зробити не вдається, то потрібно досягти стійкого положення зображення незначним поворотом ручки «СТАБ.».

Для забезпечення більшої точності вимірювання рекомендується установлювати зображення якомога більшим.

Подайте на вхід «1MΩ50pF» досліджуваний сигнал. Ручка «ПІДСИ-ЛЕННЯ» повинна знаходитися в крайньому положенні. Установіть перемикачем «V/см, mV/см» величину зображення в межах робочої частини екрана, але не менше 2 см. Сумістіть за допомогою ручок «↓» «↔» зображення сигналу з поділками шкали і відрахуйте розмір зображення по вертикалі в поділках (см, мм).

Величина досліджуваного сигналу у вольтах дорівнює добутку вимірної величини в сантиметрах та коефіцієнта відхилення (тумблер цифрової поділки перемикача «V/см, mV/см») і значення множника «X1 – X10». При роботі з виносним подільником 1:10 одержаний результат необхідно помножити на 10. При цьому не потрібно забувати, що на екрані зображення синусоїдної напруги має подвійну амплітуду.

3. Вимірювання часових інтервалів. Перед вимірюванням установіть ручку «Довготривалість» в крайнє праве положення. В цьому положенні розгортання каліброване і відповідає градуюванню розгортання перемикача «ЧАС/см». Установіть вимірюваний часовий інтервал в центрі екрана ручкою «↔». Поставте перемикач «ЧАС/см» і перемикач «X – X1 – X0.2» в таке положення, щоб вимірюваний інтервал займав довжину на екрані не менше 30 мм шкали (бажано якомога більше).

Вимірюваний часовий інтервал визначається як добуток довжини вимірюваного інтервалу часу на екрані по горизонталі в поділках шкали (см), значення коефіцієнта розгортання (цифрової відмітки перемикача тривалості розгортання) і значення множника розгортання («X1 – X0.2»).

4. Вимірювання частоти. Частоту сигналу можна визначити, вимірявши його період (див. попередній пункт):

$$f = 1 / T.$$

Якщо при вимірюванні періодичних сигналів малої тривалості проводиться вимірювання тривалості декількох його періодів, то тривалість одного періоду визначається діленням вимірюного інтервалу часу на кількість вимірюваних періодів.

Іншим методом визначення частоти є метод порівняння невідомої частоти з відомою за фігурами Ліссажу. В цьому випадку на підсилювач вертикального відхилення (вхід «1MΩ50pF») подають сигнал більшої частоти, а на підсилювач горизонтального відхилення (вхід «X») – сигнал меншої частоти. При рівності частот на екрані спостерігається нерухомий еліпс.

При кратному співвідношенні частот на екрані одержуємо складну фігуру, причому частота по вертикалі так співвідноситься до частоти по горизонталі, як кількість точок дотиків дотичної до фігури по горизонталі до кількості точок дотиків дотичної до фігури по вертикалі (рис. 8.2).

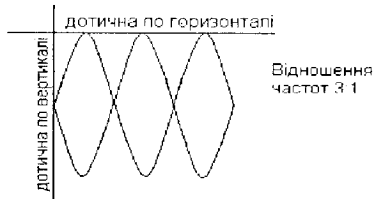


Рисунок 8.2 – Фігури Ліссажу

Вимірювання часових інтервалів і, отже, частоти можливе також за допомогою світлових міток, які створюються на зображенні досліджуваного сигналу за допомогою іншого (модульованого) сигналу з більшою частотою, бажано кратною частоті досліджуваного сигналу. Сигнал більшої частоти подається на гнізд « $\rightarrow Z$ » та « \perp », які знаходяться на задній стінці приладу. Цим же сигналом здійснюється синхронізація розгортання для одержання нерухомих світлових міток на екрані ЕПТ. Вимірювальний інтервал T'_2 визначається як добуток періоду T_M сигналу більшої частоти на кількість міток «h», які умістились на періоді сигналу меншої частоти:

$$T'_2 = n * T_M.$$

5. Вимірювання зсувів фаз. В лабораторній роботі для одержання напруги з фазою, що змінюється, використовується фазообертач, який є електричним мостом із ємностей та резисторів (рис. 8.3).

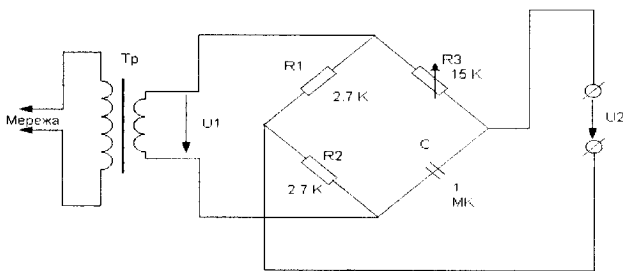


Рисунок 8.3 – Схема фазообертача

При зміні активного опору одного з плечей моста змінюється фаза вихідної напруги U_2 відносно напруги U_1 . Напруга U_1 частотою 50 Гц подається з виходу понижувального трансформатора.

При установленні перемикача вибору синхронізації в положення «МЕРЕЖА» генератор розгортання весь час буде запускатись напругою мережі. Фазу напруги мережі, і таким чином напруги U_1 , можна прийняти за

опорну фазу. Тоді, при зміні фази напруги U_2 , синусоїда на екрані осцилографа буде зміщуватися.

2 Порядок виконання

1. Здійсніть вимірювання параметрів синусоїдного сигналу з генератора ГЗ-112. Результати занесіть в п. 1 протоколу виконання. Для цього:

- на вхід «M Ω 50pF» осцилографа подайте сигнал з генератора;
- перемикач «Синхронізація» перемкніть в положення «Внутрішня»;
- якщо сигнал нестабільний, скористатися ручками «Стабільність» та «+ \rightarrow » для його стабілізації;
- задайте частоту генератора (відповідно до номера бригади з табл. 8.1);
- за допомогою перемикачів масштабу по горизонталі та вертикалі встановіть на екрані осцилографа повний період сигналу;
- запишіть масштаби (коефіцієнти розгортання) за часом та амплітудою, зарисуйте сигнал з екрана осцилографа (рис. 1 протоколу);
- розрахуйте амплітуду, період і частоту синусоїдального сигналу.

Таблиця 8.1 – Частота синусоїдального сигналу

Номер бригади	1	2	3	4	5	6
f , Гц	200	300	350	400	500	750

2. Здійсніть вимірювання частоти синусоїдного сигналу за допомогою фігур Ліссажу. Результати занесіть в п. 2 протоколу виконання. Для цього:

- на вхід «1M Ω 50pF» осцилографа подайте сигнал з генератора, а на вхід «X» сигнал з мережі;
- зарисуйте фігуру Ліссажу з екрана осцилографа (рис. 2 протоколу);
- визначте відношення кількості точок дотиків дотичної до фігури по горизонталі до кількості точок дотиків дотичної до фігури вертикалі;
- визначте частоту синусоїдного сигналу генератора, прийнявши частоту мережі 50 Гц.

3. Здійсніть вимірювання параметрів прямокутного сигналу з генератора ГЗ-112. Результати занесіть в п. 3 протоколу виконання. Для цього:

- задайте прямокутну форму сигналу генератора;
- задайте частоту генератора (відповідно до номера бригади з табл. 8.2);
- за допомогою перемикачів масштабу по горизонталі та вертикалі встановіть на екрані осцилографа повний період сигналу;
- запишіть масштаби (коефіцієнти розгортання) за часом та амплітудою, зарисуйте сигнал з екрана осцилографа (рис. 3 протоколу);

- розрахуйте амплітуду, період, тривалість імпульсу, тривалість паузи і частоту прямокутного сигналу.

Таблиця 8.2 – Частота прямокутного сигналу

Номер бригади	1	2	3	4	5	6
f , Гц	820	610	560	410	360	210

4. Виміряйте частоту напруги в промисловій мережі методом світлових міток. Результати занесіть в п. 4. протоколу виконання. Для цього:

- на вхід «1M Ω 50pF» осцилографа подайте сигнал з мережі, а вхід «Z» з виходом генератора;
- перемикач «Синхронізація» перемкніть в положення «Мережа»;
- зменште яскравість осцилографа, на екрані якого повинні з'явитися рухомі мітки;
- за допомогою ручки генератора «Плавно» зупиніть рухомі мітки;
- зарисуйте сигнал з екрана осцилографа (рис. 4);
- визначте кількість міток в періоді сигналу;
- розрахуйте частоту мережі, при цьому частота генератора була знайдена в попередньому досліді.

5. Виміряйте межі регулювання фази фазообертачем. Результати занесіть в п. 5. протоколу виконання. Для цього:

- від'єднайте вхід «Z» осцилографа, а на вхід «1M Ω 50pF» подайте сигнал з мережі (вхід фазообертача U_1);
- встановіть фазообертач в крайнє ліве положення;
- під'єднайте вхід «1M Ω 50pF» до виходу фазообертача (U_2);
- зарисуйте сигнал (рис. 5);
- встановіть фазообертач в крайнє праве положення;
- зарисуйте сигнал, разом із попереднім на одному графіку (рис. 5);
- визначте кут зсуву фаз між двома сигналами (в секундах та градусах).

3 Висновки по роботі

1. Оцініть абсолютну, відносну похибки та поправку для кожного з результатів вимірювання.

2. Порівняйте результати вимірювання частоти синусоїдного сигналу, отримані за допомогою коефіцієнта розгортання (п. 1 підрозділу 2) та фігур Ліссажу (п. 2 підрозділу 2).

4 Контрольні питання

1. Наведіть структурну схему електронно-променевого осцилографа.
2. Поясніть принцип дії електронно-променевого осцилографа.

3. Як в електронно-променевому осцилографі здійснюється розгортання зображення в часі? Наведіть форму сигналу на виході генератора розгортання.
4. Які види синхронізації Ви знаєте?
5. Призначення підсилювачів горизонтального і вертикального відхилення.
6. Наведіть методику вимірювання амплітуди методом каліброваних шкал.
7. Наведіть методику вимірювання періоду методом каліброваних шкал.
8. Як вимірюється частота осцилографом?
9. Наведіть методику вимірювання тривалості імпульсу і тривалості паузи методом каліброваних шкал.
10. Наведіть методику вимірювання різниці фаз двох синусоїдних напруг однакової частоти.
11. Наведіть методику вимірювання частоти методом фігур Ліссажу.
12. Наведіть структурну схему світлопроменевого осцилографа.
13. Поясніть принцип дії світлопроменевого осцилографа.
14. Як в світлопроменевому осцилографі здійснюється розгортання зображення в часі?

Протокол № _____
виконання лабораторної роботи № 8
«Електронний осцилограф»

Дата виконання: _____

Викладач: _____

Виконавці:

Група _____

Бригада № _____

1. Вимірювання параметрів синусоїдного сигналу.



Рисунок 1

Параметри осцилографа:

- масштаб за часом, $m_t =$
- масштаб за амплітудою, $m_v =$

Параметри сигналу:

- амплітуда, $A =$
- період, $T =$
- частота, $f =$

2. Вимірювання частоти сигналу за допомогою фігур Ліссажу.



Рисунок 2

Співвідношення кількості дотиків:

3. Вимірювання параметрів прямокутного сигналу.



Рисунок 3

Параметри осцилографа:

- масштаб за часом, $m_t =$
- масштаб за амплітудою, $m_v =$

Параметри сигналу:

- амплітуда, $A =$
- період, $T =$
- тривалість імпульсу, $t_i =$
- тривалість імпульсу, $t_n =$
- частота, $f =$

4. Вимірювання частоти мережі методом світлових міток.

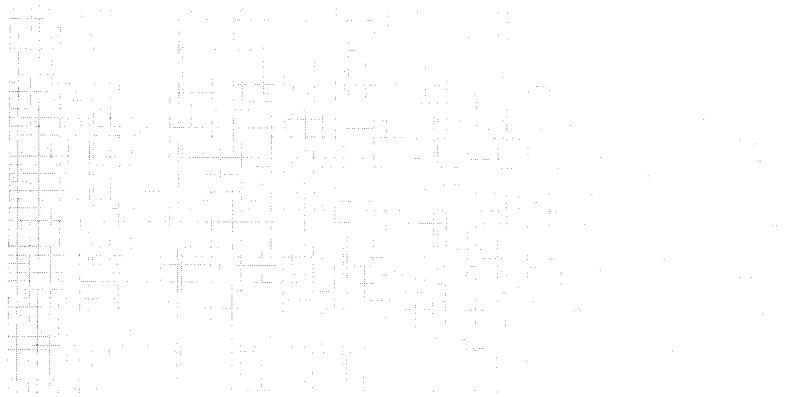


Рисунок 4

Кількість міток, $N =$
Частота мережі, $f_m =$

5. Вимірювання кута зсуву фаз.



Рисунок 5

Зсув фаз, $t_\varphi =$
 $\varphi =$

Рекомендована література

1. Электрические измерения / [под ред. В. Н. Малиновского]. – М. : «Энергоатомиздат», 1985. – 183 с.
2. Электрические измерения / [под ред. А. В. Фремке и Е. М. Душина]. – Л. : «Энергия», 1980 – 392 с.
3. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / [Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В.]. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 522 с.
4. Метрологія та вимірювальна техніка : навчальний посібник / [Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Долгополов В. П., Грумінська Л. В.]. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2004. – 252 с.
5. Основи метрології та вимірювальної техніки : підручник / [за ред. Б. І. Стадника]. – Львів : «Бескид-Біт», 2003. – 532 с.
6. Метрологія та вимірювальна техніка / [за ред. Є. С. Поліщука]. – Львів : «Бескид-Біт», 2003. – 544 с.
7. Основы метрологии и электрические измерения / [под ред. Е. М. Душина]. – Л. : «Энергоатомиздат», 1987. – 480 с.
8. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення. – К. : Держстандарт України, 1994. – 68 с.
9. Поліщук Є. С. Методи та засоби вимірювання неелектричних величин / Поліщук Є. С. – Львів : ДУ «Львівська Політехніка», 2000. – 360 с.

ДОДАТОК А

Приклад оформлення звіту з лабораторної роботи

**Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Кафедра ТЕЕВ**

Лабораторна робота № 2
«Вимірювання основних електричних величин»

Виконали: ст. гр. 7Е-156
Іванов І. І.
Петров П. П.

Перевірив : д.т.н., професор
Кухарчук В. В.

Вінниця 2017 р.

Протокол № 2
Виконання лабораторної роботи № 2
«Вимірювання основних електричних величин»

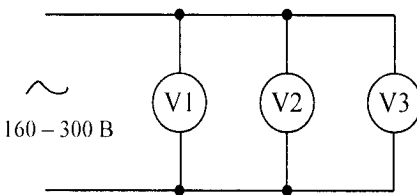
Дата виконання 1.01.2016 р.

Викладач Кухарчук В. В.
(*підпис*)

Виконавці:
Іванов І. І.
Петров П. П.

Група 7Е-15б
Бригада № 1

1. Повірка вольтметрів.



V1	Э515
V2	Ц58
V3	Д5015

Рисунок 1 – Схема повірки вольтметрів

Таблиця 1 – Результати повірки вольтметрів

№ вимірювання	V1, В	V2, В	V3, В
1	10	9	11
2	15	13	14
3	20	18	20
4	25	22	26
5	30	27	28
6	35	32	35
7	40	36	42
8	45	41	46
9	50	46	49
10	55	50	56
11	60	54	60
12	65	59	67
13	70	63	71
14	75	68	75
15	80	72	79

2. Вимірювання потужності, струму та напруги на котушці індуктивності.

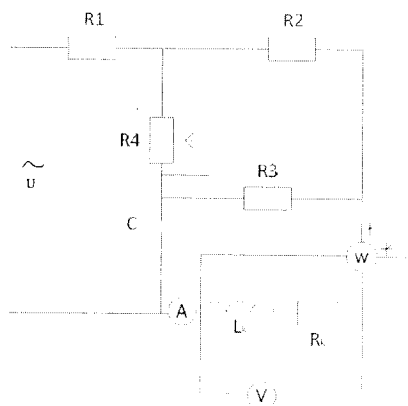


Рисунок 2 – Схема вимірювання основних електричних величин

Таблиця 2 – Результати вимірювання параметрів котушки

№ вимірювання	U, В	I, А	P, Вт
1	30	2	40
2	45	3	60
3	60	4	80

3. Список використаних приладів.

(Необхідно заповнити для використаних Вами приладів)

Таблиця 3 – Параметри використаних приладів

Назва	Клас точності	Діапазон показів	Діапазон вимірювання	Ціна поділки	Умовне позначення	Час заспокоєння стрілки (с)
Вольт-метр Д5015	0.2	0...150 В	20...150 В	1 В/под.		

ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

1. Повірка вольтметра Э515 за допомогою зразкового приладу.

Розрахунок абсолютної похибки експериментальних даних:

$$\Delta_i = U_m - U_{дi}$$

Розрахунок поправки експериментальних даних:

$$q_i = U_{дi} - U_m = -\Delta_i$$

Розрахунок відносної похибки експериментальних даних:

$$\delta_i = \frac{|U_m - U_{дi}|}{U_{дi}} \times 100\% = \frac{|\Delta_i|}{U_{дi}} \times 100\%$$

Розрахунок зведеної похибки експериментальних даних:

$$\gamma_i = \frac{|U_m - U_{дi}|}{U_{нi}} \times 100\% = \frac{|\Delta_i|}{U_{нi}} \times 100\%$$

Результати розрахунків

№ парам.	V1, В	V3, В	Δ , В	q, В	δ , %	γ , В
1	10	11	-1	1	9.09	1.25
2	15	14	1	-1	7.14	1.25
3	20	20	0	0	0	0
4	25	26	-1	1	3.85	1.25
5	30	28	2	-2	7.14	2.5
6	35	35	0	0	0	0
7	40	42	-2	2	4.76	2.5
8	45	46	-1	1	2.17	1.25
9	50	49	1	-1	2.04	1.25
10	55	56	-1	1	1.79	1.25
11	60	60	0	0	0	0
12	65	67	-2	2	2.99	2.5
13	70	71	-1	1	1.41	1.25
14	75	75	0	0	0	0
15	80	79	1	-1	1.27	1.25

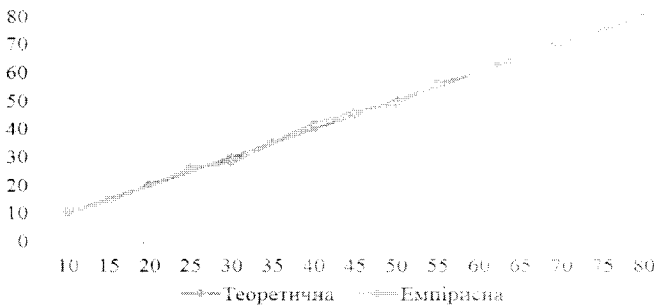


Рисунок 3 – Експериментальна та теоретична статичні характеристики

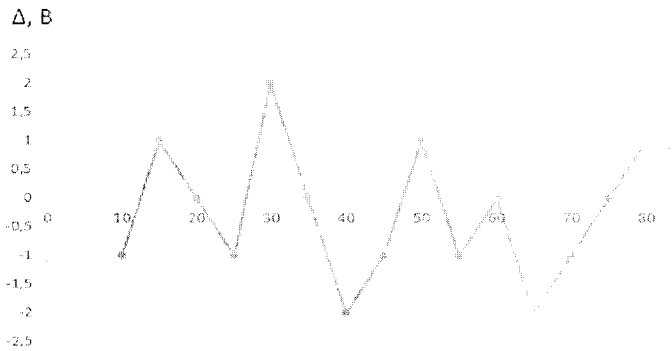


Рисунок 4 – Залежність абсолютної похибки від оцифрованих відміток

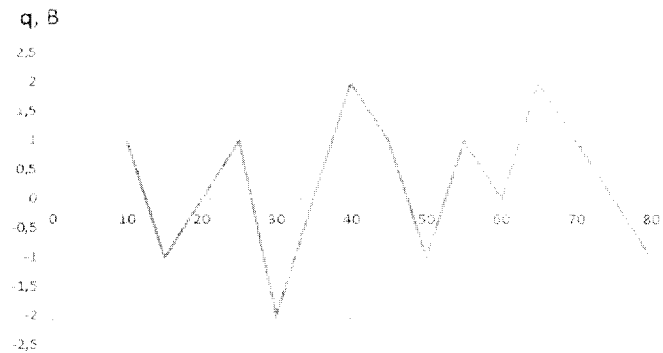


Рисунок 5 – Крива залежності поправки від оцифрованих відміток

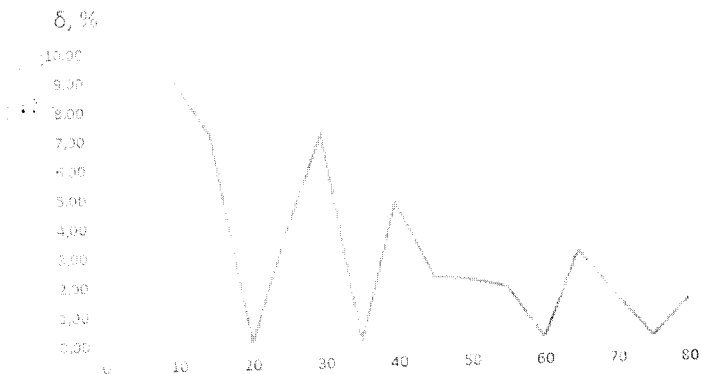


Рисунок 6 – Залежність відносної похибки від оцифрованих відміток

Визначимо максимальне значення зведеної похибки:

$$\gamma_{\max} = 0.025 \text{ в.о. (2,5\%)}$$

Звідси, клас точності повіряемого приладу за зведеною похибкою:

$$K\gamma = 0,025.$$

Знайдемо адитивну похибку та чутливість:

Адитивна похибка	
$a = 0$	
Чутливість	
$S = \Delta Y / \Delta X = (170 - 160) / (20 - 10) = 1$	

2. Розрахунок похибок вимірювання потужності, струму та напруги на котушці індуктивності (Проведіть розрахунки для свого варіанта).

Зробіть висновок:

Навчальне видання

**Граняк Валерій Федорович
Кухарчук Василь Васильович**

**ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ
ВИМІРЮВАНЬ**

Частина 1

Лабораторний практикум

Редактор Є. Плетньова

Оригінал-макет підготовлено В. Граняком

Підписано до друку 11.09.2017 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 5,52.
Наклад 50 (1-й запуск 1-20) пр. Зам. № 2017-331.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 59-85-32, 59-87-38.
press.vntu.edu.ua;
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.