

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра електроенергетики, електротехніки та  
електромеханіки

**КОНТРОЛЬНО - ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ**  
**З ОСНОВАМИ МЕТРОЛОГІЇ**

методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт  
для здобувачів вищої освіти ступеня «Бакалавр» спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
денної та заочної форм навчання

**Миколаїв**

**2020**

УДК 621.3:006.91

К64

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 21.05.2020 р., протокол № 10

#### Укладачі:

О. С. Садовий – канд. техн. наук, асист. кафедри електроенергетики електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

#### Рецензенти:

- І. П. Атаманюк – д-р техн. наук, професор кафедри вищої та прикладної математики, Миколаївський національний аграрний університет;
- О. А. Горбенко – канд. техн. наук, доц., завідувач кафедри агроінженерії, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний  
аграрний університет, 2020

Зміст	стр.
Вступ.....	4
Правила техніки безпеки при електричних вимірюваннях лабораторного практикуму.....	6
Принцип роботи, типи і будова електровимірювальних приладів.....	7
Похибки електровимірювальних приладів.....	12
Монтаж електровимірювальних лабораторних установок.....	16
Лабораторна робота №1	
Ознайомлення з будовою основних електровимірювальних приладів.....	22
Лабораторна робота №2	
Повірка технічних амперметра і вольтметра.....	25
Лабораторна робота №3	
Розширення меж вимірювання електровимірювальних приладів.....	30
Лабораторна робота №4	
Дослідження термоелектрорушійної сили термопари.....	38
Лабораторна робота №5	
Вивчення конструкції і роботи подвійного вимірювального мосту постійного струму. Вимірювання малих опорів двійним вимірювальним мостом та мікроомметром.....	43
Лабораторна робота №6	
Вимірювання опорів ізоляції електрообладнання мегометром.....	47
Лабораторна робота №7	
Визначення опору методом мостової схеми.....	51
Лабораторна робота №8	
Дослідження роботи однофазного лічильника електричної енергії.....	55
Лабораторна робота №9	
Вивчення магнітних властивостей феромагнетиків.....	58
Порядок та критерії оцінювання знань по дисципліні «контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології»	69
Література	70

## ВСТУП

Прискорений темп розвитку метрології, як науки про вимірювання та вимірювальну техніку, зумовив появу нових термінів та понять, а також нового світогляду до принципів побудови засобів вимірювання та контролю.

Сучасну науку і техніку не можна уявити без електричних вимірювань. За допомогою електровимірювальних приладів перевіряється правильність наукових висновків, встановлюються нові закономірності, проводиться контроль за технологічними процесами.

Виконання лабораторних робіт націлено на формування у студентів базового комплексу знань з основ метрології, як науки, та основ засобів вимірювальної техніки, що і є основною метою вивчення навчальної дисципліни «Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології» при підготовці здобувачів освітнього ступеня «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Велика кількість різноманітних електричних величин, можливість вимірювання їх електричними засобами вимірювань та передачі вимірювальної інформації на відстань – все це надає зазначеним вимірюванням особливу роль в метрології та метрологічній діяльності.

Структура кожної лабораторної роботи, їх зміст та наочна ілюстрація теоретичного матеріалу схемами вимірювання електричних. Рівень наведеного матеріалу практичного спрямування ґрунтується на знаннях та вміннях з фізики, вищої

математики, теоретичних основ електротехніки в обсязі навчальних програм названих дисциплін.

Мета даних методичних рекомендацій – ознайомити студентів з деякими основами техніки електричних вимірювань і необхідними при цьому правилами техніки безпеки. надання студентам теоретичних знань і практичних навичок про будову основних електровимірювальних приладів, принципах і методах загальних і спеціальних електричних вимірювань.

## **ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Для дотримання техніки безпеки при роботі з лабораторними електроустановками потрібно виконувати наступні правила:

- Підключати прилади до джерела електричного струму можна тільки після ретельного монтажу електричної схеми установки. Перевірка правильності монтажу та готовності лабораторної електроустановки проводиться викладачем або лаборантом.

- Не можна вмикати рубильники та вилки без дозволу викладача або лаборанта.

- У випадку перез'єднання у схемі, остання перед вмиканням повинна знову бути перевірена викладачем .

- Не проводити переключень в електроустановці, яка знаходиться під напругою.

- Студентам категорично забороняється користуватися іншими джерелами електричного струму, окрім вказаних викладачем.

- Не можна торкатися до неізольованих частин електроустановки.

- Категорично забороняється залишати без нагляду під напругою електроустановку та прилади.

- У випадку виходу з ладу приладу, студент повинен негайно від'єднати електроустановку від джерела електричного струму і не робити спроб щодо виправлення ситуації, а повідомити про це викладача.

- Збирання і розбирання електричних установок, підключення додаткових приладів, їх часткове відключення або зміну приладів, проводити тільки при відключеному джерелі живлення.

- Операції при виконанні лабораторної роботи (переміщення повзуна реостата, регулювання котушки з осердям і т.п.) проводяться однією рукою не дотикаючись другою струмоведучих частин.

- При роботі з електричними конденсаторами, обов'язково потрібно проводити їх розряд перед початком і після закінчення роботи.

## **ПРИНЦИП РОБОТИ ,ТИПИ, БУДОВА ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ**

Електровимірювальні прилади поділяються на прилади, які показують (стрілочні ) та прилади порівнювання (компенсаційні пристрої і мости).

В техніці і лабораторній практиці переважно використовуються стрілочні прилади .

Найбільш розповсюдженою групою електровимірювальних приладів, які показують є електромеханічні прилади в яких зміна енергії магнітного і електричного полів використовується для переміщення рухомої частини приладу.

В залежності від способу перетворення енергії, яка підводиться, в механічну енергію переміщення рухомої частини, та по конструктивних особливостях вимірювального механізму, електромеханічні прилади діляться на кілька типів. Найбільш

широко використовуються наступні типи електромеханічних приладів:

- Прилади магнітоелектричної системи, в яких використовується взаємодія магнітного поля постійного магніту з магнітним полем електричного струму, який протікає по обмотці легкої рухомої котушки.

- Прилади електромагнітної системи, де використовується взаємодія магнітного поля електричного струму нерухомої котушки з магнітним полем намагніченого залізного осердя, яке рухається відносно котушки .

- Прилади електродинамічної системи, в яких використовується взаємодія магнітних полів електричних струмів, які протікають по двох рамках , одна з яких рухома, а друга нерухома .

- Прилади індукційної системи, в яких використовується властивість бігучого магнітного поля створювати обертовий момент, який діє на рухоме магнітне тіло, поміщене в це поле.

- Прилади електростатичної системи. Принцип роботи їх заснований на взаємодії електричних полів двох або декількох електродів, один з яких є рухомим. Електроди звичайно виготовляють з алюмінію.

- Прилади вібраційної системи, в яких використовується співпадання частот власних коливань рухомої частини приладу з частотою змінного струму.

- Прилади теплової системи . В них використовується зміна довжини провідника при його нагріванні.



Умовні позначення, які наносяться на лицьових частинах приладу(ГОСТ 1845-69) наведені в таблицях 1 – 5.






Таблиця 1






Позначення одиниць вимірювання, їх кратних та дільових значень

1.Ампер	<b>AA</b>	10.Вебер	<b>W<math>\mathcal{B}</math></b>
2.Міліампер	<b>mA</b>	11.Мілівебер	<b>mWB</b>
3.Мікроампер	<b><math>\mu</math>A</b>	12.Мікрофарад	<b><math>\mu</math>F</b>
4.Вольт	<b>VV</b>	13.Пікофарада	<b>pF</b>
5.Мілівольт	<b>mV</b>	14. Генрі	<b>H</b>
6.Герц	<b>Hz</b>	15.Мілігенрі	<b>mH</b>
7.Кілоом	<b>k<math>\Omega</math></b>	16.Мікрогенрі	<b><math>\mu</math>H</b>
8.Ом	<b><math>\Omega</math></b>	17.Тесла	<b>T</b>
9.Міліом	<b>m<math>\Omega</math></b>	18.Мілітесла	<b>mT</b>

Таблиця 2




Умовні графічні позначення електровимірювальних приладів

Магнітоелектричний прилад з рухомою рамкою.....	
Магнітоелектричний прилад з рухомим магнітом	
Електромагнітний прилад	
Електродинамічний прилад...	
Феродинамічний прилад	

Індукційний прилад	
Магнітоіндукційний прилад	
Електростатичний прилад	
Вібраційний прилад	
Тепловий прилад з проволокою, що нагрівається...	







Таблиця 3



### Позначення виду струму

1. Постійний струм	
2. Змінний (однофазний) струм	
3. Постійний та змінний струм...	

Таблиця 4







### Позначення класу точності, положення приладу, надійності ізоляції

Клас точності наприклад 0,5...	0,5
Горизонтальне положення шкали приладу...	
Вертикальне положення шкали приладу...	
Похиле положення шкали під певним кутом до горизонту	
Напрямок орієнтиру приладу в земному магнітному полі	
Вимірювальний ланцюг, ізольований від корпусу та випробуваний напругою наприклад 2кВ	
Прилад випробуванню надійності ізоляції не підлягає	

<u>Обережно!</u> Надійність ізоляції вимірювального ланцюга по відношенню до корпусу не відповідає нормам (знак показується червоним кольором)	
<u>Увага!</u> Дивись додаткові вказівки в паспорті та інструкції по експлуатації	

Таблиця 5

Позначення затискачів, коректора та аретиру.

1. Негативний затискач	-
2. Позитивний затискач	+
3. Загальний затискач (для багатограничних приладів змінного струму і комбінованих приладів)...	
4. Затискач постійного струму (в комбінованих приладах) в залежності від полярності	+ або -
5. Затискач змінного струму (в комбінованих приладах)	
6. Затискач, з'єднаний з рухомою частиною (рамкою) приладу	
7. Затискач, з'єднаний з екраном	Е або Екран
8. Затискач з'єднаний з корпусом	
9. Затискач для заземлення	
10. Коректор	
11. Аретир	<b>AP</b> або <b>Ареир</b>
12. Напрямок аретирування...	↑

## ПОХИБКИ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Результати вимірювань завжди відрізняються від дійсного значення вимірюваної величини. Абсолютна похибка приладу - це різниця між показанням приладу  $A_x$  і дійсним значенням вимірюваної величини тобто:

$$\Delta A_x = A_x - A. \quad (1)$$

Абсолютна похибка, яку взято з протилежним знаком, називається поправкою.

Відносна похибка вимірювання-це відношення абсолютної похибки  $\Delta A_x$  до дійсного значення вимірюваної величини  $A$ .

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta A_x}{A} \cdot 100\% \quad (2)$$

Зазвичай значення  $A$  і  $A_x$  мало відрізняються один від одного, тому у вираз (2.2) замість  $A$  підставляють  $A_x$  отримане із дослідів, тобто:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta A_x}{A_x} \cdot 100\% \quad (3)$$

На похибки  $A_x$  і  $\varepsilon_x$  має вплив похибка підрахунку, похибка самих приладів та недосконалість методів вимірювання.

Для зменшення похибки відрахунку електровимірювальні прилади виготовляють з ножевидною стрілкою, або з світловим вказівником і дзеркальною шкалою. При відрахунку промінь зору повинен бути перпендикулярним до шкали, інакше можлива похибка від паралакса. Дзеркальні шкали дозволяють уникати паралакса. При відрахунку по дзеркальній шкалі, окуляр спостерігача повинен бути розміщений так, щоб кінець стрілки закривав своє зображення в дзеркалі.

Похибка приладів характеризується відносною приведеною похибкою  $\mathcal{E}_n$  під якою розуміють відношення абсолютної похибки приладу до номінального (максимального) значення шкали  $A_n$  виражене у відсотках:

$$\mathcal{E}_n = \frac{\Delta Ax}{A_n} \cdot 100\% \quad (4)$$

Абсолютна похибка вважається величиною сталою по всій шкалі електровимірювального приладу. Завод-виробник гарантує, що найбільша відносна приведена похибка приладу не перевищує вказаного значення, яке називається класом точності приладу, і у відсотках рівне класу точності приладу.

Згідно ГОСТ 1845-69 електровимірювальні прилади мають наступні класи точності: 0.05; 0.1; 0.2; 0.5; 1.0; 1.5; 2.5; та 4.0;

*Приклад:* Клас точності електровимірювального приладу 0,5. Це означає, що відносна приведена похибка приладу в робочому діапазоні шкали не перевищує 0,5%. Прилади класу точності 0,05; 0.1; 0.2; та 0.5; називаються прецизійними і використовуються для точних лабораторних вимірювань. Знайдемо зв'язок відносної похибки вимірювань  $\mathcal{E}_x$  з відносною приведеною похибкою приладу. Помножимо і поділимо праву частину (4) на чисельне значення вимірюваної величини  $Ax$ .

$$\mathcal{E}_n = \frac{\Delta Ax}{A_n} \cdot \frac{Ax}{Ax} = \mathcal{E}_x \cdot \frac{Ax}{A_n}$$

Звідки:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n \cdot \frac{A_n}{Ax} \quad (5)$$

Дослідимо вираз (5).

Нехай:

1.  $Ax = An$ , тобто чисельне значення вимірюваної величини рівне номінальному значенню приладу. Тоді

$$\varepsilon_x = \varepsilon_n \frac{An}{An} = \varepsilon_n$$

2.  $Ax < An$ , тоді

$$\varepsilon_x = \varepsilon_n \frac{An}{Ax} > \varepsilon_n$$

3.  $Ax > An$  є випадком нереальним.

Звідси видно, що відносна похибка вимірювання наближається до відносної приведенної похибки приладу, тільки при вимірюванні величини  $Ax$  близької до номінального значення шкали приладу  $An$  вона збільшується у стільки разів у скільки разів номінальне значення  $An$  більше величини  $Ax$ , яка вимірюється приладом. Щоб підвищити точність вимірювання потрібно користуватися приладами, номінальні значення яких близькі до вимірюваної приладом величини. Саме тому, електровимірювальні прилади виготовляють багатограничними.

Введемо поняття *чутливості і ціни поділки* електровимірювального приладу.

Величина чисельно рівна відношенню приросту кута повороту рухомої частини приладу до приросту вимірюваної величини називається чутливістю приладу.

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta A}. \quad (6)$$

Чутливість приладу, як це видно із (6) має розмірність, яка залежить від характеру вимірюваної величини. Тому коли

користуються терміном “чутливість”, кажуть “чутливість приладу до струму” або “чутливість приладу до напруги” і т.д.

Чим більше приріст кута відхилення при одному і тому ж приросту величини, яка вимірюється, тим менші величини можна виміряти приладом і тим вища його чутливість.

Величину протилежну чутливості приладу називають ціною поділки приладу

$$C = \frac{I}{S}. \quad (7)$$

Якщо відома ціна поділки приладу  $C$ , то чисельне значення величини  $A$ , яка вимірюється буде:

$$A = C \cdot n, \quad (8)$$

де  $n$ - число поділок шкали приладу, на яке вказує стрілка рухомої частини приладу або світловий вказівник приладу.

Якщо шкала приладу рівномірна (прилади магнітоелектричної системи), то за приріст кута відхилення приладу  $\Delta\alpha$  можна прийняти приріст числа поділок шкали приладу  $\Delta n$ .

*Приклад:* Маємо прилад, який може вимірювати струм від нуля до 0,25А. Шкала цього приладу рівномірна і має 100 поділок.

Чутливість цього приладу:

$$S_i = \frac{\Delta\alpha}{\Delta i} = \frac{\Delta n}{\Delta i} = \frac{100 \text{ под.}}{0,25 \text{ А}} = 400 \text{ под. / А}$$

## МОНТАЖ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ УСТАНОВОК

Перед виконанням лабораторної роботи потрібно ознайомитися з електричною схемою експериментальної установки та, розібравшись в принципах її роботи, провести монтаж установки.

Потрібно враховувати, що вміння розбиратися в електричних схемах дуже важливо для сучасного інженера сільськогосподарського виробництва, так як зараз в сільському господарстві немає, практично, ні однієї технологічної операції, де б не використовувалась електрична енергія.


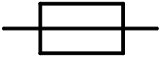

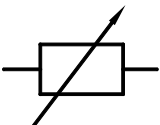
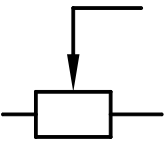
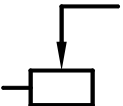


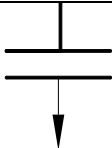
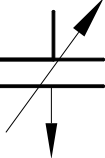
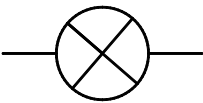

Для того, щоб розумітися в електричних схемах, перш за все, потрібно знати умовні графічні позначення прийняті на електричних схемах згідно ГОСТ 2.728-74;2.755-73.

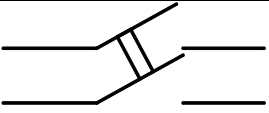
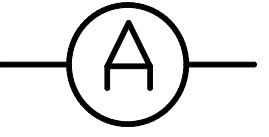
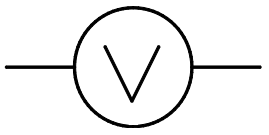
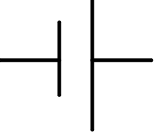
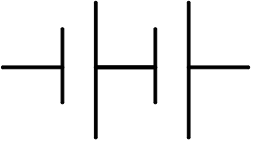
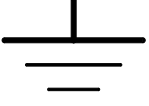
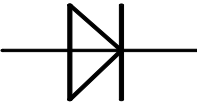
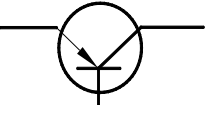
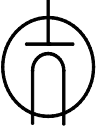
Умовні графічні позначення на електричних схемах подано в табл. 6.

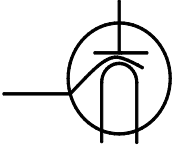
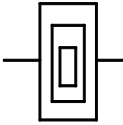
Таблиця 6

1. Постійний струм, постійна напруга	—
2. Змінний струм ,змінна напруга	~
3. Полярність позитивна і негативна	+ —
4. Постійний та змінний струм	~ —
5. Електричний з'єднувальний провідник	— —
6. Пересічні не з'єднані електричні провідники	+
7. Пересічні з'єднані електричні провідники	⊕



8. Розгалужені електричні провідники	
9. Плавкий запобіжник	
10. Резистор (постійний опір)	
11. Резистор (змінний опір)	
12. Змінний резистор (потенціометр)	
13. Реостат (змінний резистор)	
14. Котушка індуктивності, обмотка трансформатора, автотрансформатор	
15. Котушка індуктивності з феромагнітним осердям	
16. Конденсатор постійної ємності	
17. Конденсатор змінної ємності	
18. Лампа (освітлювальна)	
19. Однополюсний вимикач (рубильник)	

20. Двополюсний вимикач (рубильник)	
21. Амперметр	
22. Вольтметр	
23. Хімічне джерело електроенергії (елемент, акумулятор)	
24. Батарея елементів, акумуляторна батарея	
25. Заземлення	
26. Діод напівпровідниковий	
27. Транзистор (тріод)	
28. Двоелектродна електронна лампа	

29. Триелектродна електронна лампа	
30. Нагрівальний елемент	

Ціна поділки приладу  $C = \frac{I}{S} = \frac{1}{400 \text{под} / A} = 0,0025 A / \text{под}.$

Якщо чуйність приладу не постійна, тобто прилад має нерівномірну шкалу, то для такого приладу похибку визначають для тієї області значень вимірюваної величини, де передбачається проводити вимірювання, ця область називається діапазоном вимірювань.

Потрібно також вказати, що в багатьох випадках при вимірюваннях доводиться користуватися кратними та дольними одиницями. Кратні та дольні одиниці утворюються шляхом множення  $10^K$ , де  $K$ -ціле число.

Префікси для утворення кратних та дольних одиниць подані в таблиці 7.

В деяких лабораторних роботах студенти самостійно проводять монтаж експериментальної установки згідно електричної схеми. При монтажі необхідно уважно дотримуватись наведених нижче правил. Дотримання цих правил гарантує правильну роботу та справність всіх частин електроустановки, забезпечує цілісність електровимірювальних

приладів, дозволяє проводити електричні вимірювання з необхідною точністю та виконувати правила техніки безпеки.

Таблиця 7

Кратні та дільні одиниці

Множник	Найменування	Скорочене позначення		Множник	Найменування	Скорочене позначення	
		Українське	Міжнародне			Українське	Міжнародне
$10^{-18}$	<b>Ат</b>	А	а	$10^{-1}$	<b>Деци</b>	д	D
$10^{-15}$	<b>Фемт</b>	Ф	f	10	<b>Дека</b>	да	Da
$10^{-12}$	<b>Піко</b>	п	p	$10^2$	<b>Гекто</b>	Г	H
$10^{-9}$	<b>Нано</b>	н	n	$10^3$	<b>Кіло</b>	К	K
$10^{-6}$	<b>Мікро</b>	мк	μ	$10^6$	<b>Мега</b>	М	M
$10^{-3}$	<b>Мілі</b>	М	m	$10^9$	<b>Гіга</b>	Г	G
$10^{-2}$	<b>Санті</b>	С	c	$10^{12}$	<b>Тера</b>	Т	T

Вся електрична схема монтується за допомогою з'єднувальних провідників. Вони повинні бути ізольованими, а кінці їх зачищені, так як вони постійно окислюються, внаслідок чого порушуються контакти.

Контакти повинні бути ретельно закріплені за допомогою зварки, пайки або гвинтового зажима.

Переплітання навіть ізольованих проводів не допускається.

Електричне коло ведеться від джерела струму, але підключається в останню чергу. При розбиранні електроустановки перш за все відключається джерело струму.

Всі реостати, які ввімкнені в коло, повинні бути встановленими на максимум опору.

Потенціометри (розподільники напруги) встановлюються на нуль напруги, яка подається в контур.

Всі рубильники та комутатори при складанні кола повинні бути розімкнутими.

Замикати напругу, без перевірення викладачем схеми електроустановки, категорично забороняється.

Напруга замикається тільки під час підрахунку.

## Лабораторна робота №1

# ОЗНАЙОМЛЕННЯ З БУДОВОЮ ОСНОВНИХ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Дослідження пристрою електровимірювальних приладів безпосередньої оцінки (магнітоелектричної, електромагнітної, електродинамічної або феродинамічної систем)

### 1.1. Мета роботи

Вивчити конструкції найбільш розповсюджених приладів (амперметрів і вольтметрів) магнітоелектричної і електромагнітної систем і приладів електродинамічної або феродинамічної систем. Навчитися визначати технічні характеристики за умовними позначеннями на шкалах приладів. Навчитися визначати, для яких вимірів можуть бути використані ці прилади. Навчитися визначати ціну поділу приладів з різними типами шкал.

### 1.2. Обладнання та прилади

Стенд з електровимірювальними приладами(магнітоелектричною, електромагнітною, електродинамічною або феродинамічною систем) у напіврозібраному вигляді (вимірювальні механізми, укріплені на підставі, захисний кожух і шкала зняті і укріплені на стенді рядом із вимірювальними механізмами).

Діючі електровимірювальні прилади магнітоелектричної, електромагнітної, феродинамічної систем в прозорих корпусах.

### 1.3. Порядок виконання роботи

1.3.1. Ознайомитись (шляхом зовнішнього догляду) з приладами особливостями деталей вимірювальних приладів магнітоелектричної системи.

1.3.2. По зовнішньому вигляду і ознакам на шкалі з'ясувати про прилад і записати в таблицю 1.1 наступні дані: систему приладу, найменування, тип приладу, рід струму і вимірювальної величини, межа виміру, ціна поділки, тип шкали, положення приладу, клас точності, категорію захисту від зовнішніх електричних і магнітних полів, групу експлуатації, досліджувана напруга ізоляції, рік випуску, заводський номер.

Таблиця 1.1

Система	магнітоелектрична	електромагнітна	Електро або феромагнітна
Найменування			
Тип приладу			
Рід струму			
Межа вимірів			
Ціна поділки			
Тип шкали			
Положення приладу			
Клас точності			
Категорія захисту			
Група експлуатації			
Дослідна напруга ізоляції			

1.3.3. Зобразити конструктивну схему приладів магнітоелектричної системи. На рисунку необхідно відмітити наступні деталі: деталі що створюють обертальний момент; деталі що створюють протидіючий момент; деталі рухомої системи; деталі спокою; лічильний пристрій (стрілки, шкали); коректуючи пристрій; аретуючий пристрій.

1.3.4. Ознайомитись (шляхом зовнішнього догляду) з приладами і особливостями деталей вимірювальних приладів електромагнітної системи, повторення пунктів 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3. стосовно до вказаних приладів.

1.3.5. Ознайомитись (шляхом зовнішнього догляду) з приладами і особливостями деталей вимірювальних приладів феродинамічної або електродинамічної системи повторивши пункти 1.3.1, 1.3.2, 1.3.2, 1.3.3 Стосовно до вказаних приладів.

1.3.6. Зробити висновок.

#### 1.4. *Контрольні питання*

1.4.1. Класифікація електровимірювальних приладів по системах.

1.4.2. Охарактеризувати загальну будова приладів безпосередньої оцінки.

1.4.3. Охарактеризувати основні деталі електровимірювальних приладів, вказати їх призначення.

1.4.4. Поняття обертового моменту, моменту протидії, встановлюючого моменту.

1.4.5. Поняття чуттєвості і постійної електровимірювального приладу.



## Лабораторна робота № 2

### ПОВІРКА ТЕХНІЧНИХ АМПЕРМЕТРА І ВОЛЬТМЕТРА

#### 2.1. Мета роботи

Навчитися перевіряти правильність показів технічних амперметра і вольтметра зрівнюючи їх покази з показами зразкових приладів, визначити похибку перевіряємих приладів, визначити належність приладів класу точності, вказаному на шкалах.

#### 2.2. Прилади та обладнання

Амперметр технічний типу ЭЗ78 класу точності 1,5.  
Вольтметр технічний типу ЭЗ78 класу точності 1,5. Амперметр зразковий Д5014 класу точності 0,2. Вольтметр зразковий Д5014 класу точності 0,2.

#### 2.3. Порядок виконання роботи

2.3.1. Зібрати електричне коло за схемою рис.1.

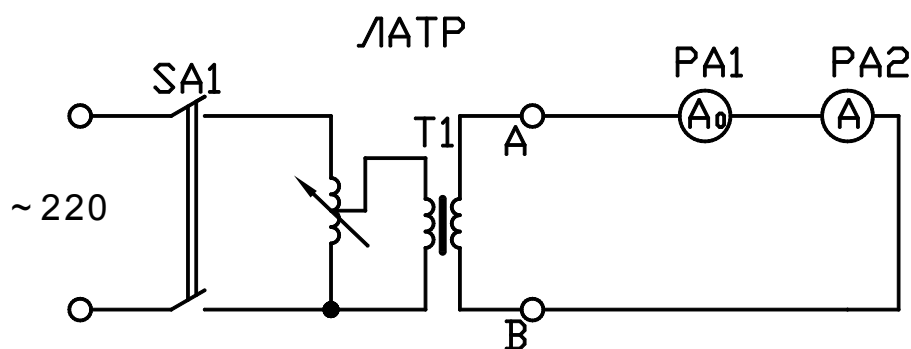


Рис.1

2.3.2. Стрілки вимірювальних приладів коректором виставити на нуль.

2.3.3. Після перевірки схеми викладачем ввімкнути живлення, плавною зміною напруги на стенді досягти

встановлення стрілки технічного амперметра РА2 на першому відцифрованому поділу шкали. Стрілка не повинна переходити за оцифровану відмітину. Покази амперметрів технічного РА2 і зразкового РА1 в поділках записати в таблицю 2.1. в графу “Хід вверх”.

2.3.4. В такому ж порядку встановити стрілку технічного амперметра РА2 на послідуєчих оцифрованих поділках шкали при збільшенні струму в колі.

2.3.5. Після доведення струму до номінального значення технічного амперметра РА2 поступово зменшити величину струму, встановлюючи стрілку приладу РА2 на тих же поділках шкали в зворотному порядку. Покази зразкового приладу РА1 записати в таблицю 2.1 у графу “Хід вниз”.

2.3.6. Розрахувати і записати в таблицю 9 покази приладів зразкового амперметра в “А”

$$I = C_I \cdot \alpha \quad (9)$$

$C_I$  - ціна поділки зразкового амперметра;

$\alpha$  число поділок зразкового амперметра.

2.3.7. Розрахувати середнє значення показів зразкового приладу для кожного виміру

$$I_{cp} = \frac{I_{вгору0} + I_{вниз0}}{2} \quad (10)$$

Абсолютну похибку

$$\Delta I = I_n - I_{cp0} \quad (11)$$

Таблиця 2.1

Повіряємо ГО	Покази приладів					Похибки					Поправка
	Зразкового					абсолютна	відносна	приведена	Найбільша приведена	варіація	
	Хід вверх		Хід вниз		Середнє значення						
А	поділ ок	А	поділ ок	А	А	А	%	%	%	%	А
В	поділ ок	В	Поділ ок	В	В	В	%	%	%	%	В

Відносну похибку

$$\gamma_I = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100\% \quad (12)$$

Варіацію показів

$$\gamma_{вар} = \frac{\Delta I_{вгору0} - I_{Вниз0}}{I_{ном n}} \cdot 100\% \quad (13)$$

Відносну зведену похибку

$$\gamma_I = \frac{\Delta I}{I_{ном n}} \cdot 100\% \quad (14)$$

Поправку приладу

$$\delta I = \Delta I = I_{cp0} - I_n \quad (15)$$

2.3.8. Знайти в таблиці найбільшу приведену похибку, порівняти її з класом точності технічного амперметра і зробити висновок, записавши в звіт чи співпадає технічний амперметр

класу точності, вказаному на його шкалі і чи можна ним користуватись для вимірів.

2.3.9. Побудувати графік залежності  $\delta I = f \cdot (I_n)$

2.3.10. Технічні дані, які характеризують вимірювальні прилади, вказані на їх шкалах, записати в таблицю.

2.3.11. Стрілки вимірювальних приладів коректором встановлюю на нуль, регулятор джерела живлення встановлюю на нуль.

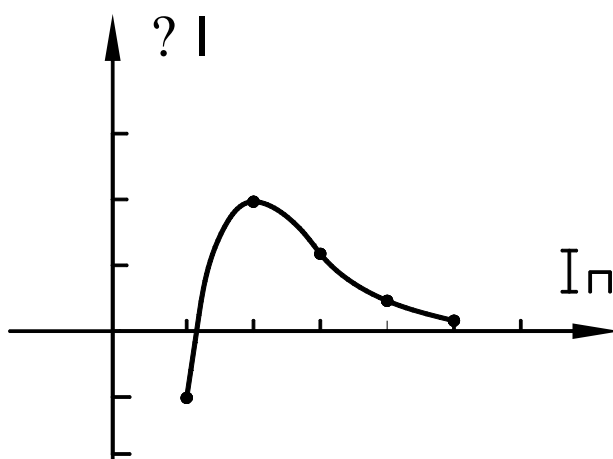


Рис.2

2.3.12. Зібрати коло за схемою рис.3. для перевірки технічного вольтметра PV2.

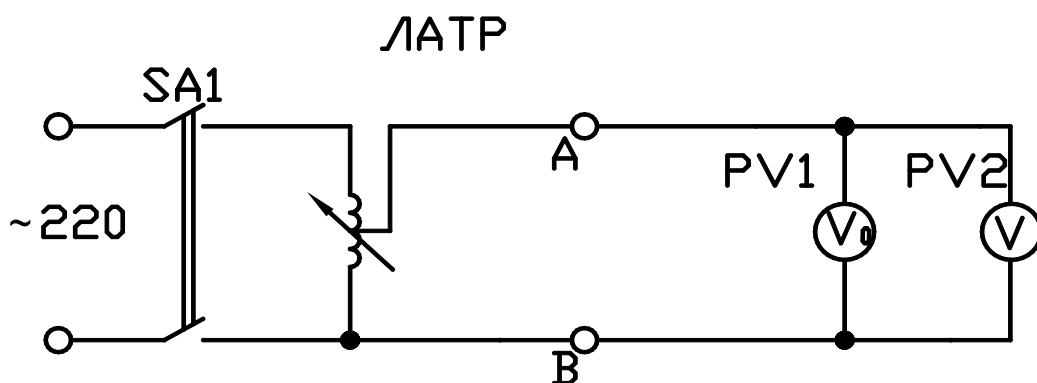


Рис.3

2.3.13. Після перевірки схеми викладачем увімкнути стенд, регулятором напруги стенда встановити напругу, яка дорівнює вилечині встановлення стрілки технічного вольтметра PV2 на першому оцифрованому поділі шкали. Стрілка не повинна переходити за відцифроване значення шкали. Покази вольтметрів технічного PV2 і зразкового PV1 записати в таблицю 2.1.в графу “Хід вверх”.

2.3.14. Перевірити прилад PV2 на оцифрованих значеннях шкали за методикою пунктів 2.25, 2.26, 2.27, 2.28.

2.3.15. Розраховую і записую в таблицю покази зразкового вольтметра в “Вольтах”

$$U = C_U \cdot \alpha \quad (16)$$

$$U_{cp} = \frac{U_{вгору0} + U_{вниз0}}{2} \quad (17)$$

$$\Delta U = U_n - U_{cp0} \quad (18)$$

$$\gamma_U = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100\% \quad (19)$$

$$\gamma_{вар} = \frac{\Delta U_{вгору0} - U_{Вниз0}}{U_{ном n}} \cdot 100\% \quad (20)$$

$$\gamma_n = \frac{\Delta U}{U_{ном n}} \cdot 100\% \quad (21)$$

$$\delta U = -\Delta U = U_{cp0} - U_n \quad (22)$$

Побудувати графік залежності  $\delta U = f \cdot (U_n)$

2.3.16. Зробити висновок.

### 2.3. *Контрольні питання*

2.3.1. Поняття та визначення абсолютної похибки приладів.

2.3.2. Поняття та визначення відносної точності приладів.

2.3.3. Поняття та визначення класу точності приладів.

2.3.4. Класифікація приладів за ступенем точності.

2.3.5. Порядок виконання повірки приладів для вимірювання напруги та струму.

## **Лабораторна робота №3**

### **РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОВИМІРНИХ ПРИЛАДІВ**

#### 3.1. *Мета роботи*

Ознайомитись з принципом дії електровимірювальних приладів і методами розширення меж вимірювання цих приладів.

#### 3.2. *Теоретична частина*

Електровимірювальні прилади безпосередньої оцінки засновані на використанні різних фізичних явищ, зв'язаних з проходженням електричного або утворенні електромагнітного поля. Такі фізичні явища, як, наприклад, взаємодія контурів, по яких проходить струм, з полем постійного магніту (магнітоелектричні прилади), взаємодія двох контурів з струмом (електромагнітні прилади), використовуються для перетворення вимірюваної величини в кутове або лінійне переміщення рухомої частини приладу.

*Чутливістю* електровимірювального приладу називається відношення лінійного або кутового переміщення стрілки до зміни вимірюваної величини, що викликає це переміщення:

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta \chi} = \frac{d\alpha}{d\chi}$$

де: S - чутливість приладу, x - вимірювана величина,  $\alpha$  - кутове або лінійне переміщення стрілки приладу.

Таке означення чутливості приладу не відноситься до інтегруючих приладів (лічильників), відлік яких не може повторюватись.

рівномірній шкалі чутливість приладу постійна для будь-якої точки шкали. При нерівномірній шкалі чутливість приладу неоднакова, тобто, одній і тій же зміні вимірюваної величини в різних точках шкали відповідають різні лінійні або кутові переміщення стрілки. Чутливість приладу має розмірність, що залежить від. характеру вимірюваної величини. Тому говорять: "чутливість до струму", "чутливість до напруги".

Іноді на приладах вказується величина, обернена до чутливості - це ціна однієї поділки - так звана стала приладу. Щоб визначити значення вимірюваної величини потрібно ціну поділки помножити на те число поділок, на яке показує стрілка приладу при вимірюванні.

Як відомо, амперметр застосовується для вимірювання струму і вмикається в коло послідовно з навантаженням, або з паралельним ввімкненням до нього шунта з опором  $R_{ш}$ , а вольтметр - паралельно до тих точок кола, між якими потрібно виміряти напругу, або в послідовному з'єднанні з додатковим опором  $R_{д}$ .

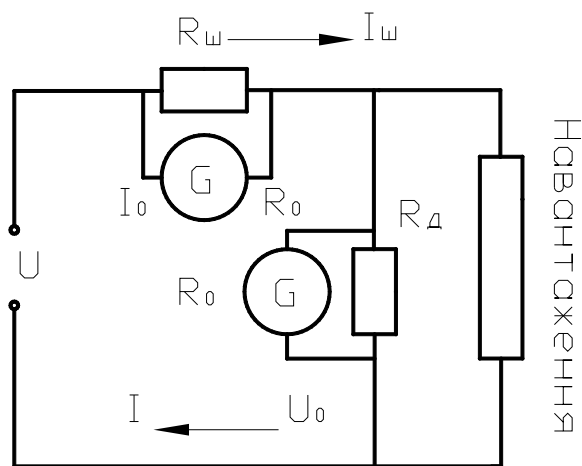


Рис.3.1

На рисунку показано схематичне ввімкнення амперметра і вольтметра, де  $G$  - вимірний прилад з опором  $R_0$ , який безпосередньо може виміряти силу струму до значення  $I_0$ , і напругу до  $U_0$ . Так, як величина струму, що протікає через вимірний механізм, пропорційна напрузі, прикладений до затискачів приладу, то, очевидно, що принципової різниці у внутрішній будові амперметрів і вольтметрів може й не бути, тобто, будь-яким амперметром можна вимірювати напругу, а вольтметром - струм. Питання лише в тому, які будуть межі вимірювання приладом при такому його використанні і наскільки змінюються параметри, а значить, і режим кола при ввімкненні в нього приладів, особливо якщо джерело, що живить це коло, має малу потужність. Щоб зміна режимів кола була незначною, опір амперметра повинен бути меншим, а опір вольтметра навпаки-більшим. З цієї точки зору важливим критерієм вольтметра є його внутрішній опір в Омах на 1 В шкали.

Кожний вимірний прилад базується на визначенні значення струму  $I_0$  та напруги  $U_0$ . Розширення меж вимірювання здійснюється або спеціальною конструкцією приладу або



ввімкненням вимірного механізму через шунти у амперметрах або додаткові опори у вольтметрах.

3.2.1. Розширення меж вимірювання амперметра та вимірювання струму амперметром.

Амперметр - прилад, який застосовується для вимірювання величини струму. Він вмикається у коло послідовно зі споживачем. Будь-який електровимірювальний прилад при ввімкненні в коло не повинен вносити помітних змін в режим роботи кола. Отже амперметр повинен мати дуже малий внутрішній опір.

Для розширення меж вимірювання струму до приладу  $G$  приєднується паралельно провідник опору  $R_{ш}$  що називається шунтом (рис. 3.2.).

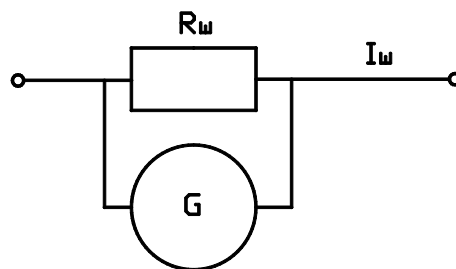


Рис.3.2

Опір шунта  $R_{ш}$  розраховується таким чином. За першим законом Кірхгофа маємо:

$$I = I_0 + I_{ш} \quad (23)$$

де:  $I_0$  - найбільший струм, який може виміряти прилад без шунта,  $I_{ш}$  - найбільший струм, який буде вимірювати прилад з шунтом.

За другим законом Кірхгофа для контура  $AR_0BR_{ш}A$  маємо:

$$I_0 R_0 - I_{ш} R_{ш} = 0 \quad (24)$$

Підставляючи  $I_{ш}$  з формули (23) в формулу (24), одержимо:  
 $I_0 R_0 = (I - I_0) \cdot R_{ш}$  -звідки:

$$R_{ш} = \frac{I_0 \cdot R_0}{I - I_0} \quad (25)$$

Таким чином, для визначення опору шунта потрібно знати характеристики приладу  $R_0, I_0$  і те максимальна значення струму  $I$ , для якого розраховується шунт. Значення ( визначається з формули 23)

$$I_0 = K_i N \quad (26)$$

де:  $K_i$ - ціна поділки приладу по струму,  $N$  - число поділок на шкалі приладу.

Формулу (25) можна записати у такому вигляді:

$$R_{ш} = \frac{R_0}{n - I_0} \quad (29)$$

де:

$$n = \frac{I}{I_0} \quad (30)$$

показує у скільки разів розширюється межа вимірювання амперметра.

3.2.2. Розширення меж вимірювання вольтметра та вимірювання напруги вольтметром.

Вольтметр - прилад, яким вимірюється напруга. Він вмикається в коло паралельно і тому повинен мати великий внутрішній опір.

Для розширення меж вимірювання вольтметра послідовно з ним приєднується додатковий опір  $R_d$ . (рис. 3.3.), величина якого розраховується так. Нехай опір приладу  $R_0$  і він розрахований для вимірювання напруги до  $U_0$  Необхідно розрахувати значення

додаткового опору  $R_D$  з яким прилад зможе вимірювати напругу до значення  $U$ . Очевидно, що:

$$U = U_D + U_0 \quad (29)$$

$$I_0 = \frac{U_0}{R_0} = \frac{U_D}{R_D} \quad (30)$$

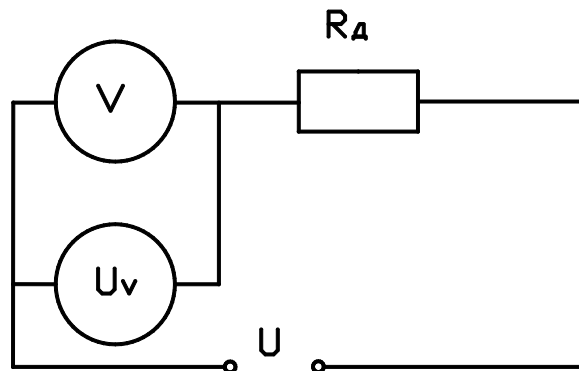


рис. 3.3

Підставляючи  $U_D$  з (29) у (30), одержимо:

$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{(U - U_0)}{R_D} \quad \text{звідки:}$$

$$R_D = \frac{R_0(U - U_0)}{U_0} = R_0(n - 1) \quad (31)$$

де  $n = \frac{U}{U_0}$  п (32)

показує, у скільки разів розширюється межа вимірювання вольтметра.

Таким чином, для визначення величини додаткового опору необхідно знати параметри (характеристики) приладу  $R_0$ ,  $U$ , і те максимальне значення напруги  $U$ , для якого розраховується додатковий опір. Значення  $U_0$  для даного приладу можна

визначити, знаючи ціну поділки за напругою  $K_0$  і кількість поділок  $N$  на шкалі приладу:

$$U_0 = K_0 N \quad (33)$$

### 3.3. Порядок виконання роботи

3.3.1. Зробити схему (рис. 3.4.). Послідовно з навантаженням  $R_2$  увімкнути досліджуваний прилад  $P$  і зразковий  $PA$ .

3.3.2 Зняти залежність числа поділок шкали приладу  $P$  від сили струму приладу  $PA$ ; записати результати в таблицю. Побудувати графік залежності  $n(I)$ . Визначити ціну поділок і чутливість приладу .

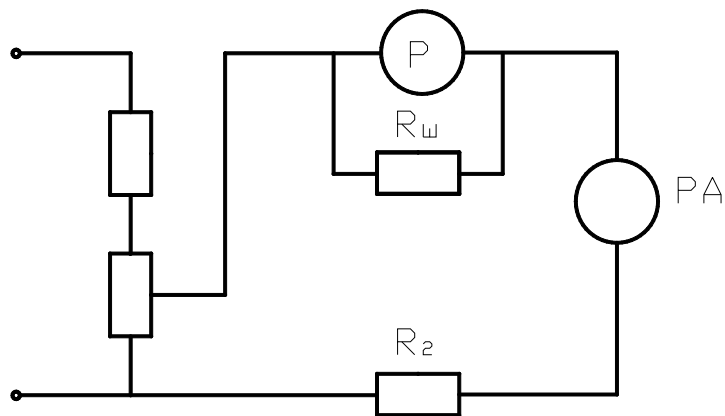


рис. 3.4

3.3.3. Визначити коефіцієнт шунтування  $K$  і, знаючи опір шунта, визначити внутрішній опір амперметра  $R_A$ ,

Таблиця 3.1

№	N число поділок	I mA
1		
2		
3		

### 3.3.4. Градування вольметра по постійній напрузі.

Як вольметр використовується той же прилад, що і при виконанні попереднього завдання, до якого підключається додатковий резистор  $R_d = R_2$

### 3.3.5. Зібрати схему (рис.3.3).

3.3.6. Зняти залежність числа поділок приладу  $n$  від напруги між точками А і В. результати записати в таблицю 3.2.

### 3.3.7. Побудувати градуований графік $n(U)$

### 3.3.8. Визначити ціну поділок і чутливість приладу.

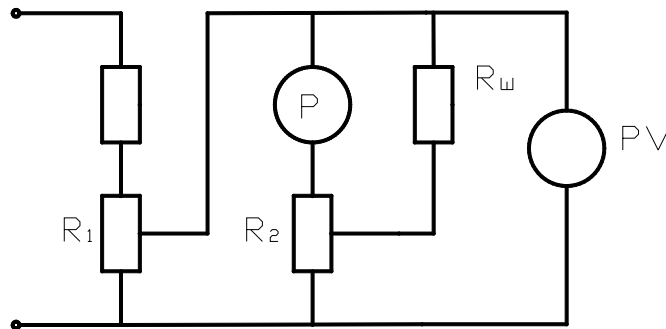


Рис 3.5

Таблиця 3.2

№	$n$ число поділок	U mV
1		
2		
3		
Серед		

### 3.4. Контрольні питання.

#### 3.4.1. Що називається шунтом і яке його призначення?

3.4.2. Виведіть формулу для визначення опору шунта, якщо задані характеристики приладу і найбільший струм, на який потрібно

розрахувати прилад.

3.4.3. Що таке клас точності електровимірювального приладу?

3.4.4. Поясніть принцип дії приладів магнітоелектричної системи.

3.4.5. Що називається додатковим опором і яке його призначення?

3.4.6. Як приєднуються до вимірного приладу шунт і додатковий опір? Обґрунтуйте відповідь.

3.4.7. Виведіть формулу для визначення величини додаткового опору, якщо задані характеристики приладу і найбільше значення напруги.

3.4.8. Що називається ціною поділки приладу?

3.4.9. Що називається чутливістю приладу?

3.4.10. Якщо прилад багато межовий, то як буде змінюватись цього чутливість при переході з однієї межі вимірювань на іншу?

3.4.11. Яким основним вимогам повинні задовольняти амперметр і вольтметр?

3.4.12. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола?

3.4.13. Сформулюйте правила (закони) Кірхгофа.

#### **Лабораторна робота №4**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ ТЕРМОПАРИ.**

#### *4.1. Мета роботи*

Визначити залежність термоелектрорушійною силою і різницею температур спаїв термопар. Побудувати градуировочну криву термопар.

## 4.2. Прилади і обладнання

Термопара; чутливий гальванометр; два термометра (від  $0^{\circ}$  до  $100^{\circ}$  C); два термостати; електричне коло з живленням і нагрівачем.

## 4.3. Теоретичні відомості

При з'єднанні двох різних металів (наприклад мідь-залізо, хромель - копель, константан і мідь і т. п.) між ними виникає так звана контактна різниця потенціалів, але її неможливо використати для збудження струму в замкнутому колі, якщо температура контактів, сплавів однакова.

Але якщо підігрівати, чи охолоджувати лише один зі спаїв, то завдяки різниці температур спаїв в замкнутому колі виникає струм, який можливо виміряти чутливим приладом.

Величина термоелектрорушійної сили (ТЕРС) термопари залежить не тільки від температур спаїв, але і від природи металів, що створюють дану термопару, тобто від роботи виходу електронів і концентрації електронів у металі.

Робота виходу електронів визначається тою енергією, яку повинен мати електрон щоб вийти з поверхні метала в навколишній простір.

Концентрація електронів визначається кількістю електронів в  $1\text{м}^3$  цього металу.

Принципова схема термопари полягає у використанні контактної різниці потенціалів двох сплавів, які мають різну температуру.

Якщо підігрівати чи охолоджувати один з сплавів, то внаслідок різниці температур спаїв кожен з них буде мати свою

контактну різницю потенціалів ( $T_1=T_2$  і  $U_1=U_2$ ), а потім у колі виникає так звана термоелектрорушійна сила, яка викличе термоелектричний струм.

Величина електрорушійної сили термопари залежить не тільки від різниці температури спаїв, але і природи металів, що створюють цю термопару (робота виходу електронів і їх концентрація).

Якщо різниця температур спаїв порядку  $100^\circ\text{C}$ , то термо - ЕРС термопари змінюється прямо пропорційно різниці температур спаїв

$$E = K(t_1 - t_2) \quad (34)$$

де коефіцієнт  $K$  дорівнює термоелектрорушійній силі, що виникає при різниці температур в  $1^\circ\text{C}$  і який характерною величиною для пари "констант залізо"  $K=50$  мкВ/гр. "констант – мідь " –  $K=41$  мкВ/гр. ( $1$  мкВ= $10^{-6}$ В).

Величину термо – ЕРС термопари можна знайти по величині термоструму, що показує гальванометр.

Якщо на шкалі гальванометра замість величини струму нанести відповідну різницю температур між спаями, то така термопара з проградуєваним чутливим гальванометром може бути термоелектричним термометром.

#### *4.4. Опис лабораторної установки*

Принципова електрична схема установки приведена на рисунку 4.1.



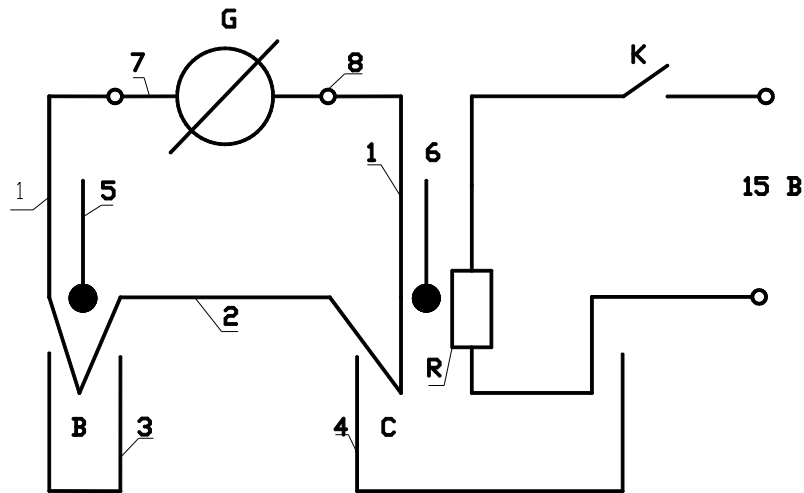


Рис.4.1

Термопара складається із двох різнорідних провідників (сплавів хром ель (1) і Ковель (2)). Місця спаїв В і С занурені в термостати (3) і (4), яку заповнені стеарином. Сюди ж занурені термопари (5) і (6). В термостаті (4) розміщений нагрівний елемент R, який підключається через перемикач К до джерела постійної напруги 15 В. Контакти (7) і (8) використовуються для підключення мілівольтметра (G)).

#### 4.5. Порядок виконання роботи.

4.5.1 Записати термопару Т холодного спаю.

4.5.2 Перемикачем К замкнути живлення нагрівного елемента і нагріти термостат (4) на  $4^{\circ} - 5^{\circ} \text{C}$ , після чого вимкнути живлення нагрівного елемента. Коли температура стабілізується, визначити по шкалі мілівольтметра величину ТЕРС. Температуру нагрівного спаю  $T_H$  і відповідну їй ТЕРС занести до таблиці вимірів (таб. 4.1).

4.5.3 Продовжити нагрівати до  $60^{\circ} - 70^{\circ}\text{C}$  виконуючи вимірювання згідно пункт 4.5.2. Періодично контролювати температуру холодного спаю.

4.5.4. Результати занести в таблицю 4.1.

4.5.5. Виключити нагрівний елемент і вимірювати ТЕРС при охолодженні спаю С, при тих же температурах, як і при нагріванні. Дані занести в таблицю

4.5.6. Знайти середнє значення ТЕРС одержані при нагріві спаю і при його охолодженні.

4.5.7. Відкласти на графіку на осі абсцис значення різниці температур, а на осі ординат Е в мікрвольтах і побудувати графік функції  $E = f(T_H - T_X)$ .

4.5.8. По графіку  $E = f(T_H - T_X)$  знайти величину К, як тангенс кута нахилу отриманої градуировочної лінії.

Таблиця 4.1

№	$T_X$	$T_H$	$E_{\text{нагр.}}$	$E_{\text{охол.}}$	$E_{\text{сер.}}$

#### 4.6. *Контрольні питання.*

4.6.1. Що називається роботою виходу електрону з металу?

4.6.2. Чим обумовлена робота виходу електрона з металу?

4.6.3. Що називається термоелектрорушійною силою і від чого вона залежить?

4.6.4. Що називається диференціальною електрорушійною силою?

4.6.5. Намалюйте схему за якою будете градуировати термопару.

4.6.6. Чому при однаковій різниці температур різні термопары мають різні ЕРС?

4.6.7. Які різниці температур можна вимірювати термопарою, що застосовується в цій роботі?

4.6.8. Чи буде відрізнятись НРС термопари, кінці якої зварені, від величини ЕРС термопари кінці якої спаяні?

4.6.9. Де застосовуються термопари?

### **Лабораторна робота №5**

## **ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ І РОБОТИ ПОДВІЙНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО МОСТУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ВИМІРЮВАННЯ МАЛИХ ОПОРІВ ДВІЙНИМ ВИМІРЮВАЛЬНИМ МОСТОМ ТА МІКРООММЕТРОМ**

### *5.1. Мета роботи*

Отримати практичні навички по використанню подвійного вимірювального моста постійного струму. Вивчити методику вимірювання двійним вимірювальним мостом типу Р329 та мікроометром типу М246. Навчитися вимірювати різні малі опори за допомогою вказаних приладів.

### *5.2. Обладнання*

Комбінований одинарно – двійний міст Р329.

- Мікроомметр М246.

- Шунт 75 мВ

- Зразкова котушка опору з параметрами на 0,1 Ом або 0,01 Ом.

- Амперметр типу М4200 з межами вимірювання 30А.

- Резистор змінний на 1 Ом, 30А.

- Лабораторний стенд.

### *5.3. Порядок виконання*

5.3.1. Зібрати електричне коло по схемі (рис 5.1.).

5.3.2. Підготувати до роботи прилад Р329 по схемі двійного моста:

5.3.2.1. Встановити штекерами опір  $R_0=1$  Ом.

5.3.2.2. Встановити штекерами опір  $R_2= R_4=1000$  Ом.

5.3.3. Підключити вимірювальний резистор  $R_x$  до клем

$T_1 T_2, +X_{д+}, -X_{д-}$  – моста.

5.3.4. Включити живлення мосту та, зміна положення ручок п'яти декад резисторів  $R_1= R_3$  та коротко часових натискаючи кнопки " грубо" і "точно", добавиться встановлення стрілки гальванометра на 0. При необхідності змінити опір  $R_2= R_4$ . Значення  $R_0, R_1, R_2$  записати в таблицю 5.1.

5.3.5. Зняти полярність джерела живлення.

5.3.6. Підключити до клем  $T_1, T_2, X_{д}$  моста вимірювальний шунт. Встановити штекерами  $R_c=0,001, R_2= R_4=10$  Ом.

5.3.7. Повторити пункти 4, 5.

5.3.8. Розрахувати величину опору резистора та шунта, та записати в таблицю 5.1.

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_0 \quad (35)$$

5.3.9. Розібрати електричні ланцюги.

5.3.10. Зібрати електричний ланцюг по схемі (рис 5.1).

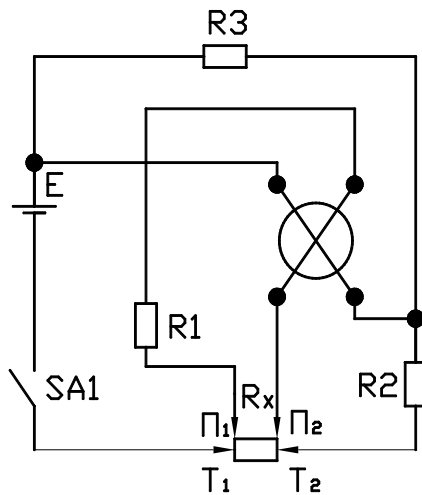


Рис 5.1

### Схема вмикання мікрометра М246

5.3.11. Підготувати до роботи мікрометр М246

5.3.11.1. Перемикач живлення встановити в положення  $\sim 220$  В.

5.3.11.2. Підключити до приладу двохпровідні щупи.

5.3.11.3. Перемикач встановити перед вимірюваннями, відповідній величині опору, вимірює мого в п. 5.3.3., визначити ціну поділки приладу тумблером на лицевій панелі.

5.3.11.4. Включити живлення приладу тумблером на лицевій панелі.

5.3.11.5. Натиснути кнопку захисту логометра.

5.3.12. Гострими кінцями щупів підключити до вимірюваному опору по шкалі приладу та записати в таблицю 5.2.

5.3.13. Вимкнути величину опору шунта, вимірюного в п. 5.3.6-5.3.8, повторити пункти 5.3.11.2., 5.3.11.3., 5.3.11.4., 5.3.11.5., 5.3.12., 5.3.13.

5.3.14. Розрахувати величину опору резистора та шунта.

$$R'_X = r_i \cdot \alpha,$$

де  $\alpha$  – число поділок, на які відклонилася стрілка;  $r_i$  – ціна поділки мікрометра.

5.3.15. Записати в таблицю 5.2.

5.3.16. Розібрати електричні кола.

5.3.17. Розрахувати похибку вимірювальних величин опорів мікроомметрами зрівнюючи з мостом.

$$\Delta R_X = R'_X - R_X \quad (36)$$

$$\gamma_R = \frac{R'_X - R_X}{R_X} \cdot 100\% \quad (37)$$

записати в таблицю 5.2.

#### 5.4. *Зміст звіту*

Найменування та мета роботи.

Таблиця 5.1, зміст перелік приборів, які використовуються в даній роботі.

Схеми включення приладів Р329 та М246.

Таблиця 5.2 з результатами вимірювань та розрахунків.

#### 5.5. *Висновок по робот*

Висновок з вказівками відмінних особливостей схеми двійного вимірювального мосту, які забезпечують необхідну точність вимірювання опорів малої величини, переваг мікро омметра. Необхідно також вказати можливості межі використання вивчених приборів на практиці майбутньої спеціальності студентів.

## Лабораторна робота № 6

# ВИМІРЮВАННЯ ОПОРІВ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ МЕГОММЕТРОМ.

### 6.1. Мета роботи

Навчитися вимірювати великі опори резисторів і опори ізоляції електрообладнання. Вимірювання опорів ізоляції електрообладнання мегомметром.

### 6.2. Обладнання

Логометричний мегомметр типу М4100. Вимірюємо об'єкти: резистори, кабель, двигун.

### 6.3. Порядок виконання

#### 6.3.1. Підготувати прибори до роботи:

6.3.1.1. Підключити провідниками до клем "Л" та "З" мегомметра М 4100. Перемикач поставити в положення "МΩ" замкнути провідники на коротко, обертати рукоятку генератора із швидкістю 120 об/хв, стрілка повинна встановитися на нуль по шкалі "МΩ".

6.3.1.2. Перемикач поставити в положення "КΩ", замкнути провідники накоротко, при обертанні рукоятки генератора стрілка повинна встановитись на нуль по шкалі "КΩ".

6.3.2. Підключити резистор до клем "Л" та "З" мегомметра М 4100 та обертати рукоятку генератора, виміряти величину опору. Записати результати вимірювань в таблицю 6.1.

6.3.3. Виміряти опір ізоляції жил кабелю, підключив прибор згідно схемам (рис.6.1 і рис.6.2)

Результати вимірювань записати в таблицю 6.1.

6.3.4 Виміряти опір ізоляції обмоток електродвигуна відносно корпусу підключив прибор М4100 згідно схемам (рис.6.3). Результати вимірювань записати в таблицю 6.1.

Також виміряти опір ізоляції між обмотками електродвигуна, підключив прибор М4100 згідно схемам (рис.6.4). Результати вимірювань записати в таблицю 6.1.

#### 6.4. Зміст звіту

Найменування та мета роботи.

Таблиця 6.1., яка включає в себе перелік обладнання та приладів.

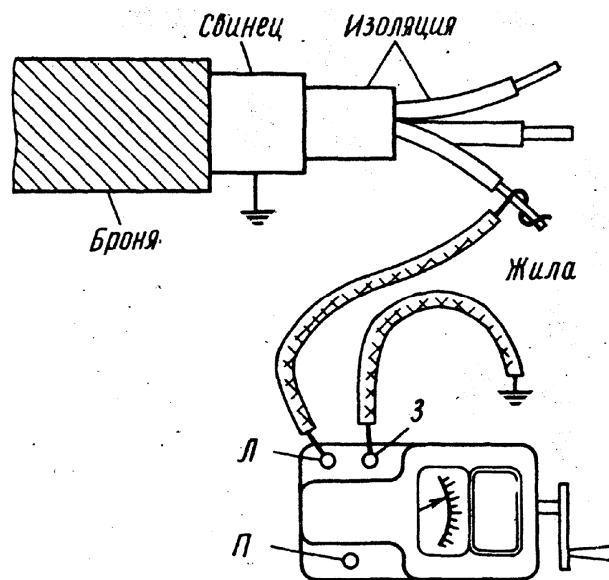


Рис.6.1 Схема вимірювання опору ізоляції жил кабелю відносно землі.



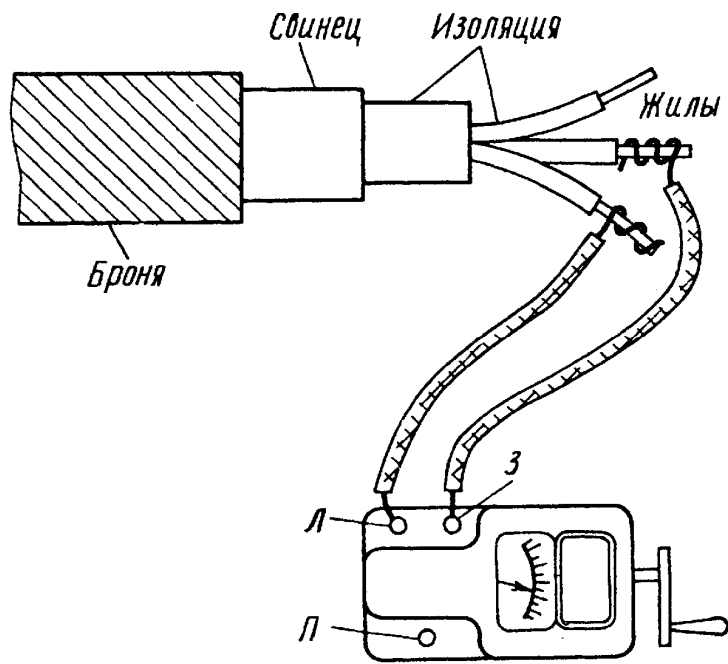


Рис.6.2 Схема вимірювання опору ізоляції між жилами кабелю.

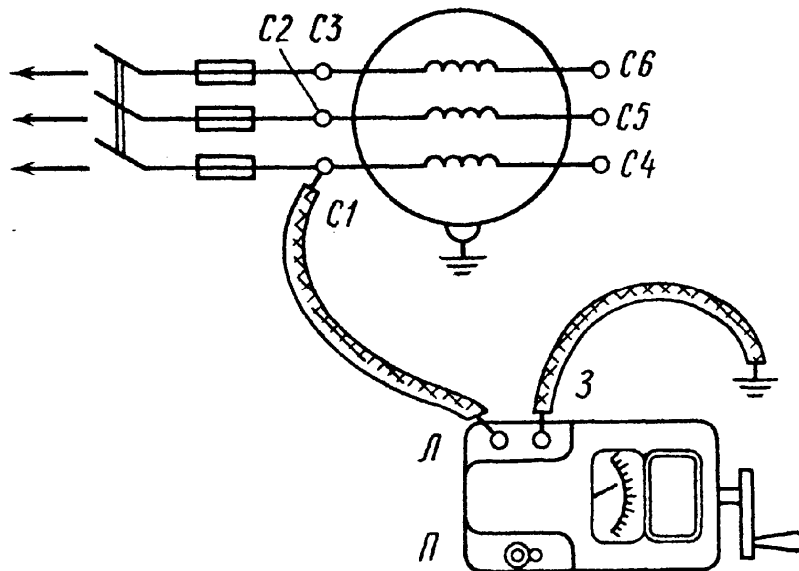


Рис.6.3 Схема вимірювання опору ізоляції. обмоток електродвигуна відносно землі.

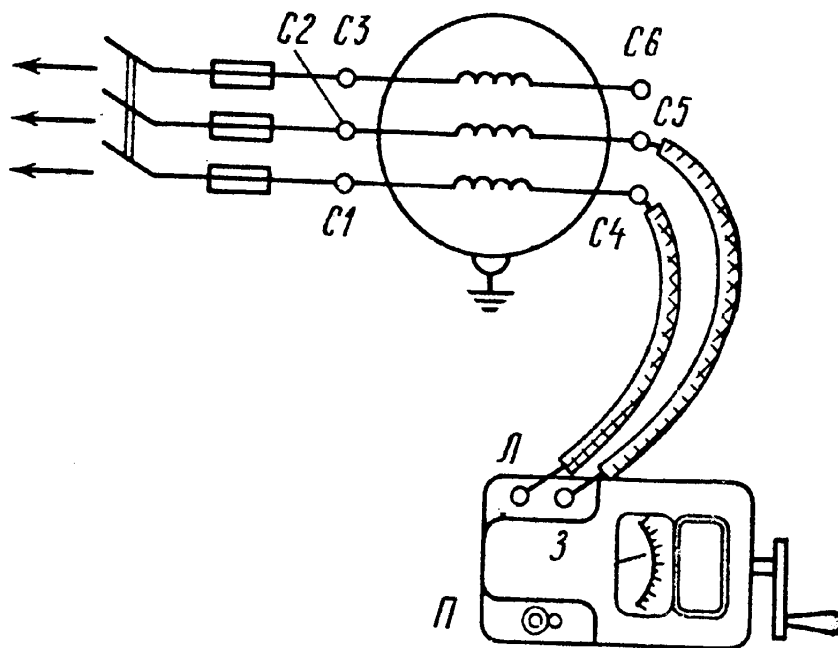


Рис.6.4. Схема вимірювання опору ізоляції між обмотками електродвигуна.

Таблиця 6.1

Опір

Резисторі	Жил кабеля				Обмоток електродвигуна			
	Відносно землі		Між жилами		Відносно корпусу		Між обмотками	
	фаза	$R_{\text{вим.}}$	фаза	$R'_{\text{вим.}}$	обмотка	$R_{\text{вим.д}}$	обмотка	$R'_{\text{вим.}}$
	МОм	МОм		МОм		МОм		МО
	А		А-В		С1		С1-2	
	В		В-С А-С		С2		С2-С3	
	С				С3		С1-С3	

Схеми вимірювання мегомметром М4100. Таблиця 6.1 з результатами вимірювань.

Висновок по роботі – висновок про відповідності величини вимірюваного опору ізоляції електрообладнання вимогам ПУЕ.

## Лабораторна робота №7

### ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ МЕТОДОМ МОСТОВОЇ СХЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНІЙНОГО МОСТА

#### 7.1. Мета роботи

Вивчити метод мостової схеми і визначити невідомі опори цим методом.

#### 7.2. Прилади і обладнання

Відомий опір ( $R=470$  Ом); невідомі опори ( $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$ ,  $R_{x3}$ ), реохорд і гальванометр (нуль - індикатор); джерело постійної напруги.

#### 7.3. Теоретичні відомості

Одним з найбільш точних методів вимірювання опорів є метод моста Уінсона. Схема моста Уінсона зображена на малюнку. Між клемми А і В закріплено калібрований дріт реохорд, що має рухомий контакт  $D$ ;  $1$  - постійна напруга від джерела постійного струму;  $R$  - відомий еталонний опір;  $R_x$  - невідомий опір;  $G$  - гальванометр;  $l_1$  і  $l_2$  - плечі реохорда (довжина дроту).

Метод вимірювання опору при допомозі моста Уінсона засновано на порівнянні невідомого опору з відомим опором. Нехай струм в плечах моста і в діагоналі  $CD$  спрямовані так, як показано на рис.7.1. тоді, згідно правилам Кірхгофа для розгалуженого кола, можна скласти такі п'ять рівнянь з п'ятьма невідомими:

$$\text{для вузла C: } l_x - l - l_r = 0 \quad (40)$$

$$\text{для вузла D: } l_1 - l_2 - l_r = 0 \quad (41)$$

$$\text{для контуру ACDA: } l_x R_x + l_r R_r = l_1 R_1 \quad (42)$$

$$\text{для контуру ABEA: } l_1 R_1 + l_r R_2 = U \quad (43)$$

$$\text{для контуру CBDC: } l R - l_2 R_2 - l_r R_r = 0 \quad (44)$$

де  $R_l$  - опір гальванометра;  $R_1$  і  $R_2$  - опір "плечей"  $l_1$  і  $l_2$  реохорда.

Змінюючи положення рухомого контакту  $D$  реохорда (і таким чином змінюючи співвідношення між  $l_1$  і  $l_2$ ) можливо домогтись того, щоб потенціал точки  $D$  дорівнював би потенціалу точки  $C$  ( $\varphi_0 = \varphi_1$ )

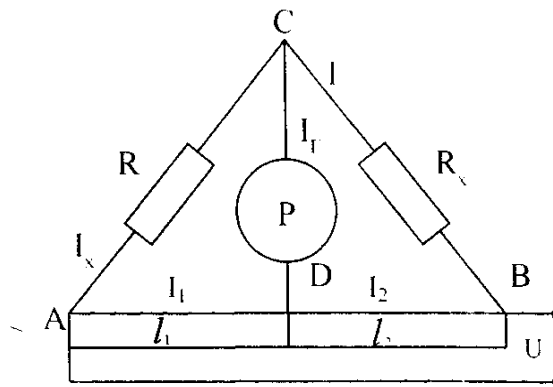


Рис.7.1

В цьому випадку струм через гальванометр не йде (міст збалансовано). Враховуючи це ( $I_r = 0$ ): рівняння (40 – 44) можна спростити:

$$l_x = l_1 \quad (45)$$

$$I_1 = I_2 \quad (46)$$

$$I_x R_x = I_1 R_1 \quad (47)$$

$$I R = I_2 R_2 \quad (48)$$

Поділивши два основні рівняння одне на одне отримаємо:

$$\frac{I_x R_x}{I R} = \frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} \quad (49)$$

Враховуючи співвідношення(45) і (46) вираз (49) можна спростити:

$$\frac{R_x}{R} = \frac{R_1}{R_2} \quad (50)$$

Опір "плечей" реохорда визначають по формулам:

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S}, \quad (51)$$

$$R_2 = \rho \frac{l_2}{S}, \quad (52)$$

де  $\rho$  - питомий опір дроту реохорда;  $S$  - площа поперечного перерізу дроту;

Підставляючи значення  $R_1$  і  $R_2$ , в співвідношення (50) отримаємо формулу для визначення питомого опору:

$$R_x = R \frac{l_1}{l_2} \quad (53)$$

Таким чином, підібравши відповідну довжину "плечей" реохорда  $l_1$  і  $l_2$  знаючи еталонний опір  $R$ , можна знайти  $R_x$

#### 7.4. Виконання роботи

7.4.1. Скласти схему відповідно рис.8.1. з резистором  $R_x$ .

7.4.2. Після перевірки схеми викладачем включити електроживлення. Переміщуючи повзунок (рухомий контакт) реохорда встановити силу струму через гальванометр рівну 0. Виміряти за допомогою шкали довжину "плечей" реохорда  $l_1$  і  $l_2$  записати результати в таблицю вимірів 7.1.

7.4.3. По формулі знайти невідомий опір. Результати занести у таблицю.8.1

7.4.4. Роз'єднати  $R_{x1}$  і підключити замість нього  $R_{x2}$ , потім  $R_{x3}$ , повторити виміри і визначити  $R_{x2}$  і  $R_{x3}$ . Результати занести в таблицю.7.1.

7.4.5. Приєднати до клем А і С три резистори з'єднані послідовно ( $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$ ,  $R_{x3}$ ) і виміряти їх загальний опір згідно пункту 7.4.2 і 7.4.3. Результати занести до таблиці.7.1.

7.4.6. Приєднати до клем А і С три резистори  $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$ ,  $R_{x3}$  з'єднаних паралельно і виміряти їх загальний опір згідно пункту 8.1.2 і 8.1.3. Результати занести до таблиці.8.1

7.4.7. Знаючи величину опорів при  $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$ ,  $R_{x3}$  вирахувати по теоретичним формулам опір при їх паралельному і послідовному з'єднанні. записати результати у таблицю 7.1.

$$R_{заз} = R_1 + R_2 + R_3 \quad R_{заз} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} \quad (54)$$

7.4.8. Знайти похибку метода вимірювання враховуючи що:

$$\frac{\Delta R}{R_{теор}} \times 100\% = 2\%$$

$$\Delta l_1 = \Delta l_2 = 5 \text{ мм}$$

$$\Delta R = R_{теор} - R_{експ}$$

Таблиця 7.1

№	$l_1$	$l_2$	$R_x$	$R_x$	$R_x$	Результат и отримані дослідним шляхом		Теоретичні розрахунки	
						$R_{пар}$	$R_{посл}$	$R_{пар}$	$R_{посл}$
1									
2									
3									
4									
5									

## 7.5. Контрольні питання

7.5.1. Сформулювати і записати правило Кірхгофа.

7.5.2. Запишіть формулу опору довгого провідника.

7.5.3. Що таке питомий опір?

7.5.4. Як визначити повний опір при послідовному і паралельному з'єднанні провідників.

## Лабораторна робота 8

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОДНОФАЗНОГО ЛІЧИЛЬНИКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

#### 1. Мета роботи

Навчитися включати лічильник в коло навантаження та повірити правильність показання лічильника електричної енергії.

#### 2. Прилади та обладнання

Однофазний лічильник електричної енергії типу СО – 5У. Ваттметр зразковий типу Д500/4 класу точності 0,5. Амперметр зразковий типу Д5014 класу точності 0,2. Вольтметр зразковий типу Д5015 класу точності 0,2. Секундомір механічний. Лабораторний стенд.

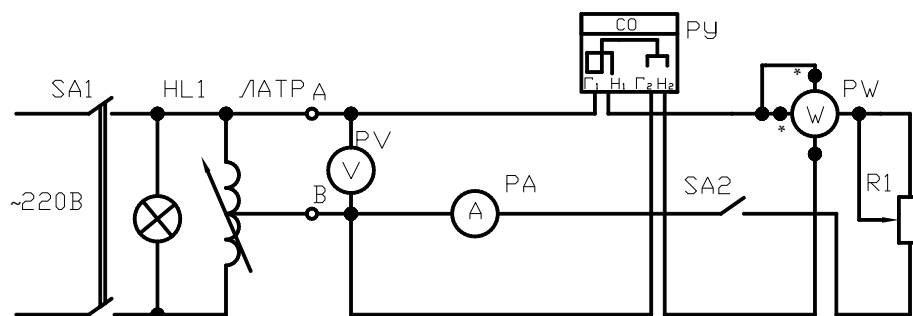


Рис.8.1. Схема перевірки однофазного лічильника.

### 3. Порядок виконання

3.1. Зібрати електричне коло згідно схеми (рис 8.1).

3.2. Технічні данні, характеристики вимірювальних приладів " які вказані на їхніх шкалах ", записати в таблицю.1

3.3. Показати зібрані схеми викладачу для здійснення перевірки.

3.4. Ручку Латра встановити в положення "0".

3.5. Розімкнути тумблер SA2.

3.6. Включити стенд вмикачем SA1, при допомозі Латра встановити напругу  $U=110\%U_{ном}$ . Та впевнитися в відсутності самоходу лічильника.

3.7. Встановити напругу  $U=220$  В

3.8. Замкнути тумблер SA2.

3.9. Вимірюючи опвр R1, встановити струм  $I=40\% I_{ном}$ . та відрахувати ціле число обертів диску n за час який приблизно дорівнює 180 с. Показники приладів записати в таблицю 1

10. Встановити черзі струм  $I=60\%I_{ном}$  , та  $I = 80\%I_{ном}$ . Відрахувати ціле число обертів диску за час рівний 180 сек. Показники записати в таблицю 8.1

Таблиця 8.1

Вимірювальні величини						Обчислюємі величини			
I	U	P	K	t	n	P·	C	C <sub>H</sub>	γс
A	B	Bт	$\frac{об}{кВт}$	с	об.	Bт·с	$\frac{Вт·с}{об}$	$\frac{Вт·с}{об}$	%



3.11. Для кожного спостереження обчислити та записати в таблицю.

3.11.1. Дійсну постійну лічильника.

$$C = \frac{pt}{n} \left[ \frac{Вт \cdot с}{об.} \right] \quad (1)$$

3.11.2. Номінальну постійну лічильника

$$C_H = \frac{W}{N} = \frac{3600 \cdot 1000}{N} \left[ \frac{Вт \cdot с}{об} \right] \quad (2)$$

$$W = 1kВт \cdot t$$

де N – число обертів диска лічильника, приходяться на одиницю енергій яка враховується лічильником.

3.11.3. Відносна похибка.

$$\gamma_c = \frac{c_{ном} - c}{c} \cdot 100\% \quad (3)$$

3.12. По даним таблиці № 16 побудувати графік залежності  $\gamma_c = f(I)$  (рис.8.2)

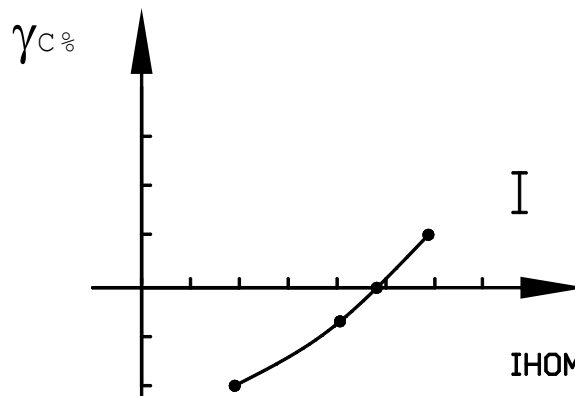


Рис 8.2 Графік залежності  $\gamma_c = f(I)$

4. Зміст звіту

4.1. Найменування та мета роботи.

4.2. Таблиця 8.1., з переліком та технічними даними приладів,

які використовуються в роботі. Схеми повірки однофазного лічильника. Таблиця 8.1.

4.3. Графік залежності  $\gamma_c=f(I)$ .

4.4. Висновок по роботі – чи відповідає лічильник класу, вказаному на його щітку, та можливість використання даного лічильника.

## **Лабораторна робота 9**

### **ВИВЧЕННЯ МАГНІТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФЕРОМАГНІТИКІВ**

#### *9.1. Мета роботи*

Дослідити процеси намагнічування різних феромагнетиків в Зімінних магнітних полях, визначити: криву намагнічування для вуглецевої та трансформаторної сталей, залежність  $\mu(H)$ , роботу перемагнічування; порівняти петлю гистерезиса для різних феромагнітних матеріалів.

#### *9.2. Прилади та обладнання*

Джерело регулюєчюї змінної напруги 0-10В, електронний осцилограф, вольтметр змінної напруги 10В, трансформатор кільцевий з вуглецевої сталі, трансформатор кільцевий з трансформаторної сталі, трансформатор кільцевий з фериту, набір опорів, електроємність, з'єднувальні проводи, калька для копіювання кривих гістерезиса.

#### *9.3. Теоретичні відомості*

Будь-яка речовина, розміщена в магнітному полі (вона називається магнетиком), змінює свої властивості. Магнітні властивості речовин

пов'язані з орбітальним рухом електронів у атомі, з заповненням електронних оболонок у атомі, з магнітними властивостями самих електронів та інших частинок. У переважної більшості речовин магнітні властивості дуже слабкі. До них відносяться діамагнетики та парамагнетики, які при відсутності зовнішнього магнітного поля не намагнічені. Намагніченість кількісно характеризується магнітним моментом одиниці об'єму.

$$\vec{Y} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{\Delta V} \vec{P}_m \quad (58)$$

де  $\vec{Y}$  - намагніченість

$\vec{P}_m$  - магнітний момент молекули,

$\Delta V$  - фізично нескінчений малий момент

У слабких магнітних полях у пара – і діамагнетиках

намагніченість залежить від напруженості зовнішнього поля  $H$ .

$$\vec{Y} = \chi \cdot \vec{H}, \quad (59)$$

де  $\chi$  – магнітна сприйманість речовини, характерна для даного магнетика величина незалежна від  $H$ .

Феромагнетики – це речовини, які у мікроскопічних об'ємах мають магнітно упорядкований стан. Магнітно упорядкований стан речовини виникає в результаті того, що магнітні моменти атомних носіїв магнетизму (спінових магнітних моментів) паралельні у межах деякої області речовини (доменна). Феромагнітна атомна структура кубічної ґратки показана на Рис.9.1. Така орієнтація магнітних моментів атомів приводить до довільної (спонтанної) намагніченості речовин, яка

характеризується вектором намагнічування. Спонтанно намагнічення залежить від температури та зменшується з її зростанням. Характер цієї залежності ілюструється на Рис.9.2. де  $\theta$  - температура, при якій спонтанно намагнічення перетворюється на нуль. Ця температура називається точкою Кюрі. При  $T > \theta$  феромагнітні властивості зникають і речовина стає парамагнетиком. Таким чином, феромагнетики – це речовини в яких встановлюється феромагнітний порядок атомних магнітних моментів. До них відносяться: залізо, нікель, кобальт, гадоліній їх сплави та з'єднання, а також деякі сплави інших елементів. Для феромагнетиків

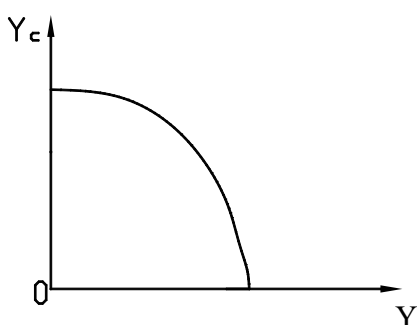


Рис. 9.1

залежність  $Y$  від  $H$  (чи  $B$  від  $H$ ) носить складний характер. На рис.9.1. показано вид цієї залежності від початкового намагніченого феромагнетика (основна та нульова крива намагнічування). З цієї залежності видно, що магнітне сприйняття  $X$  не може служити характеристикою магнітного стану феромагнетика. В цьому випадку як магнітне сприйняття  $X$ , так і магнітна проникність речовини

$$\mu = 1 + X \quad (60)$$

являються функціями напруженості магнітного поля  $H$ . Залежність  $\mu$  від  $H$  для феромагнетикау приведена на рис.9.2. У зв'язку зі складною залежністю  $\mu$  від  $(H)$  вводиться поняття диференціальної магнітної проникності.

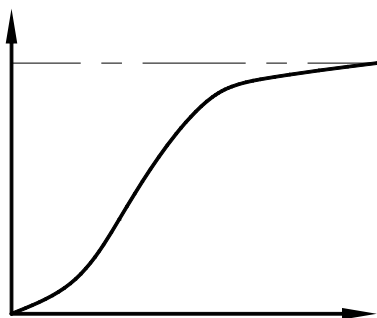


Рис.9.2

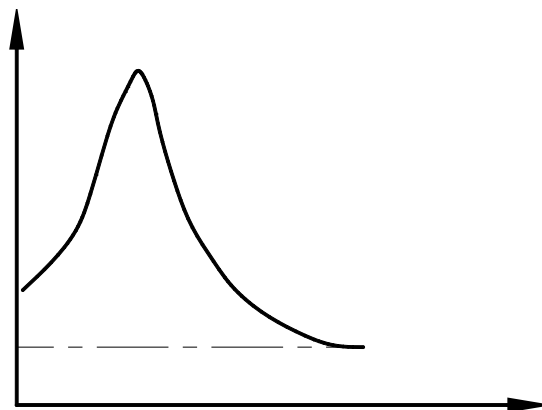


Рис.9.3

$$\mu_{\alpha} = \frac{dB}{dH} \quad (61)$$

Для феромагнетиків характерно виникання насичення намагнічування  $Y_0$  при достатньо високих полях рис.9.3. Магнітна індукція (5) залежить від магнітного поля не лінійно ,але при досягненні насичення  $B = \mu_0 (Y + H) = \mu_0 H + const$  залежність переходить у лінійну. Крім розглянутих особливостей феромагнетиків, існує ще одна, яка полягає в тому, що магнітна проникність  $\mu$  (а виходячи з цього, і  $X$ ) залежать не тільки від миттєвого значення напруженості поля  $H$ , і від попереднього намагнічування зразка. Тому при характеристиці феромагнетикау вказується не величина проникності, а представляється залежність  $B(H)$  у вигляді повного циклу кривої намагнічування

(рис.9.6.), який представляє собою поведінку феромагнетика у змінному магнітному полі. З кривих видно, що для якогось визначеного значення поле  $H$

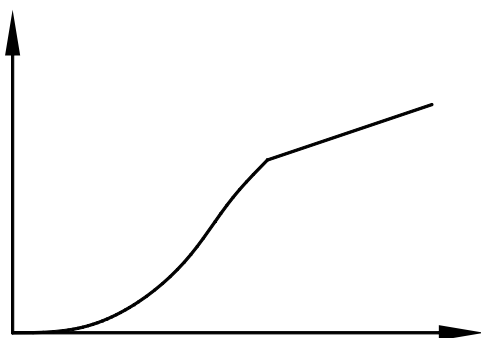


Рис.9.4

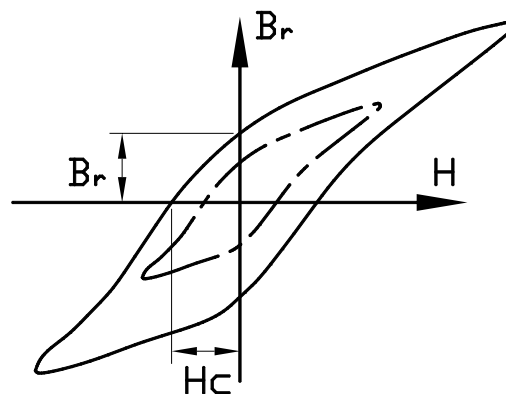


Рис.9.5

Індукція  $B$  не являється однозначною. Явище яке являється в тому, що фізична величина, характеризуючи стан тіла (наприклад, індукція  $B$ ) неоднозначно залежить від фізичної величини яка характеризується зовнішні умови (наприклад магнітне поле  $H$ ), називається гістерезисом. Замкнута крива на рис.9.5. – це петля гістерезиса. Якщо початкову криву намагнічування довести до насичення, то петля гістерезиса буде найбільша, або гранична. На рис.9.5. видно, що при зменшені магнітного поля до нуля  $H = 0$  індукція поля не обертається в нуль, а зображується деяким відрізком на осі ординат. Це означає, що намагнічування зразка  $Y$  не пропадає і йому відповідає так звана залишкова індукція  $B_i$ . За наявності такої залишкової намагніченості пов'язано існування постійних магнітів. Для того, щоб розмагнітити зразок, потрібно приложити певне поле, направлене протилежно початковому намагнічуваному полю  $H_c$ . Це поле - коерцитивна сила

ферромагнетика. Значення залишкового намагнічування та коерцитивної сили для різних ферромагнетиків міняються у широких границях. Для м'якого заліза петля гістерезиса вузька (коерцитивна сила мала), для сталі та матеріалів, їдучих на виробництво постійних магнітів – широка (коерцитивна сила велика).

Завдяки гістерезису перемагнічування ферромагнетиків супроводжується виділенням тепла, називається теплом гістерезиса. Величина втрат пропорційна площі петлі гістерезиса і при розрахунку на один цикл перемагнічування визначається інтегралом

$$Q = \oint \vec{H} d\vec{B} \quad (62)$$

#### 9.4. Опис лабораторної установки

Для отримання петлі гістерезиса в змінному магнітному полі використовується установка, принципіальна схема якої зображена на рис.9.6.

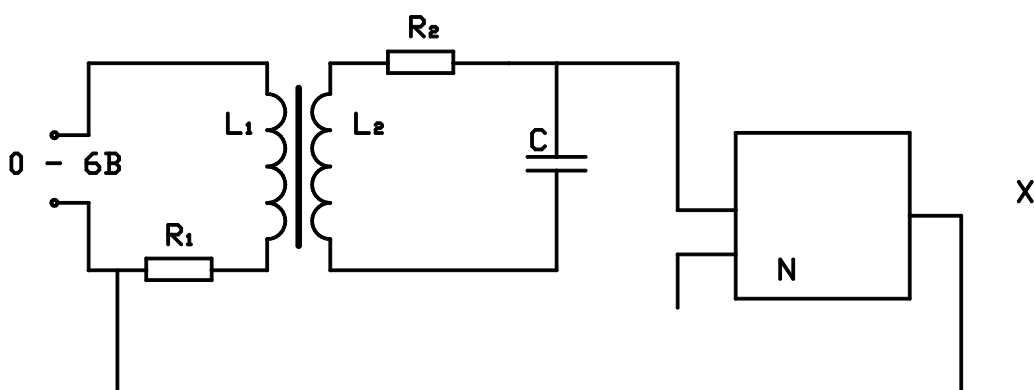


Рис 9.6

В якості досліджуваного ферромагнетика застосовується сердечник трансформатора. Первинна обмотка трансформатора живиться від джерела змінного струму і має кількість витків  $N_1$ .

Ця обмотка трансформатора служить для утворення змінного магнітного поля  $H$ , намагнічене осердя трансформатора.

Зв'язок  $H$  з падінням напруги  $U_x$  на резисторі  $R_l$  у колі первинної обмотки може бути записана на основі закону повного струму та виражається відношенням

$$H = \frac{N_1}{l} \cdot i_1 = \frac{N_1}{l_1} \cdot \frac{U_x}{R_1} = n_1 \cdot \frac{U_x}{R_1} \quad (63)$$

Де  $l_1$  – довжина середньої лінії сердечника трансформатора;

$N_1$  – число витків первинної обмотки;

- число витків на одиницю довжини.

Падіння напруги на резисторі  $R_l$  підключається до входу посилювача горизонтального відхилення. Тому горизонтальне відхилення проміння на екрані пропорційно напруженості магнітного поля  $H$ .

Для вимірювання індукції в феромагнітному сердечнику застосовується метод, який ґрунтується на законі електромагнітної індукції:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\phi}{dt} \quad (64)$$

Оскільки потокозчеплення  $\Psi = \phi N_2 = BSN_2$

де  $S$  – переріз сердечника;

$N_2$  – число витків вторинної обмотки.

Тоді

$$|\varepsilon_i| = - \frac{dB}{dt} \cdot S \cdot N_2 \quad (65)$$

Для того, щоб подати на вхід посилюваного вертикального відхилення напругу, пропорційну  $B$  між вторинною обмоткою і



осцилографом включається інтегруюча лана –  $R_2 - C$  – ячейка (рис.9.6).

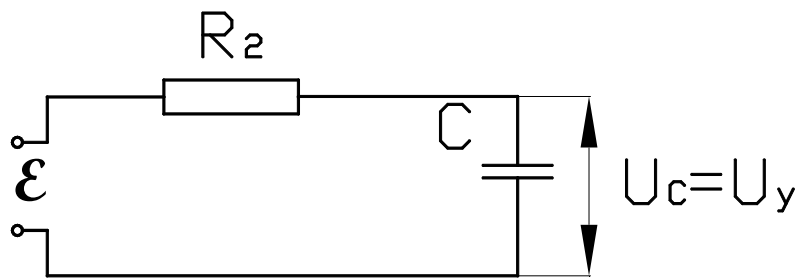


Рис.9.7

враховуючи, що ЕРС самоіндукції мала :

$$\varepsilon = U_0 + I_2 \cdot R_2 \quad (66)$$

Врахуємо, що

$$U_c = U_x = \frac{q}{c} = \frac{1}{c} \int I_2 dt \quad (67)$$

де  $q$  – заряд конденсатора.

З іншої сторони,  $U_c = \frac{I_2}{\omega \cdot c}$ , падіння напруги на резисторі

$R_2 : U_R = I_2 \cdot R_2$ , тоді

$$\frac{U_r}{U_c} = R_2 \omega C \quad (68)$$

При  $R_2 \sim 2 \cdot 10^4$  Ом,  $\omega = 3,14 \cdot 10^2$  с<sup>-1</sup>,  $C = 4 \cdot 10^{-6}$  ф  $\Rightarrow U_R \gg U_c$ .

Тому знехтуємо  $U_c$  в формулі (63). Тоді з урахуванням формул (62) і (63)

$$\varepsilon = I_2 \cdot R_2 = \frac{dB}{dt} \cdot S \cdot N_2 \quad (69)$$

Звідки

$$I_2 = \frac{S N_2}{R_2} \cdot \frac{dB}{dt} \quad (70)$$

Підставивши  $I_2$  в формулу (64), отримаємо напругу, яка подається на вхід Y осцилографа,

$$U_x = U_c = \frac{S N_2}{R_2} \int \frac{dB}{dt} dt = \frac{S N_2}{R_2} B \quad (71)$$

Звідки знайдемо індукцію магнітного поля в ферромагнетика

$$B = \frac{U_x R_2}{S N_2} \quad (72)$$

Таким чином, при подачі напруги  $U_x$  на горизонтально відхилені пластини і  $U_y$  – на вертикальні відбувається складання двох взаємно перпендикулярних коливань. В результаті за новий період коливань промінь відтворює на екрані в деякому масштабі петлю гістерезиса, як це виходе з рівнянь (62) і (67)

### 9.5. Порядок виконання

9.5.1. Зібрати схему з трансформатором з вуглецевої сталі (рис. 9.7.) і включити осцилограф.

9.5.2. Виключити розгортку осцилографа. Ручками управління променем встановити світову пляму в центр екрана.

9.5.3. Подати зміну напругу на первинну обмотку трансформатора і, збільшуючи напругу, встановити струм, необхідний для насичення ферромагнетика. Встановити перемикач " $V_{дел}$ " в таке положення, щоб петля гістерезиса мала максимальний розмір по вертикалі.

9.5.4. Перезняти петлю гістерезиса з екрана на кальку, на якій попередньо нанесена сітка з сантиметровими поділками.

9.5.5 Зменшити напругу на первинній обмотці до нуля і, поступово збільшуючи його, отримаємо криві намагнічування

шляхом фіксації точок частоті петлі гістерезиса, не змінюючи підсилення осцилографа по осі Y.

9.5.6. За допомогою вольтметра провести каліброву каналів X і Y. При цьому звернути увагу на те, що вольтметр показує ефективне значення напруги, а зміщення проміння на екрані осцилографа визначається амплітудним значенням напруги.

9.5.7. Побудувати криву намагнічування  $B = B(H)$  на міліметровому папері. Для визначення H використати формулу (62), а для знаходження B – формулу (67). Дані  $N_1, l_1, R_1, N_2, R_2, S$  приведені на робочому місці. Величини  $U_x$  та  $U_y$  підраховуються через координати точок та чутливість горизонтального та вертикального каналів осцилографа.

9.5.8. Знайти магнітну проникність  $\mu(H)$ , використовуючи співвідношення  $\mu = B / \mu_0 H$ . Побудувати графік  $\mu(H)$ .

9.5.9. Шляхом графічного диференціювання кривої намагнічування обчислити і нанести результати обчислень на попередній графік.

9.5.10. Визначити з найбільшої петлі гістерезиса залишкову індукцію  $B_r$  і коерцитивну силу  $H_c$ .

9.5.11. Розрахувати роботу перемагнічування феромагнетику.

9.5.12. Зняти петлю гістерезиса для трансформаторного заліза і фериту. Обчислити роботу перемагнічення для цих матеріалів.

## 9.6. Контрольні питання

9.6.1. На які види поділяються магнетики?

9.6.2. Що таке вектор намагнічуваності і який його фізичний зміст?

- 9.6.3. Що представляє собою магнітна сприйманість.
- 9.6.4. Що розуміють під феромагнетиками.
- 9.6.5. Охарактеризуйте температуру Кюрі
- 9.6.6. Намалювати криві намагнічування для діа-, пара- і феромагнетиків.
- 9.6.8. Що показує магнітна проникність і який її фізичний зміст?
- 9.6.9. В чому полягає явище гістерезиса? Які види гістерезиса ви знаєте? Як отримують петлю гістерезиса.
- 9.6.10. Яка сутність залишкової індукції і коерцитивної сили?
- 9.6.11. Поясніть, яким чином можна розмагнітити, наприклад годинник.
- 9.6.12. Намалювати схему лабораторної установки і поясніть принцип її дії.
- 9.6.13. Як обчислюється напруженість і індукція магнітного поля у феромагнетику в даній роботі?
- 9.6.14. визначити ціну поділки на екрані осцилографа?
- 9.6.15. Що таке динамічна магнітна проникність і як її визначити в даній роботі.
- 9.6.16. Як обчислити роботу по перемагнічуванню феромагнетику?

## **ПОРЯДОК ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ ПО ДИСЦИПЛІНІ «КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ З ОСНОВАМИ МЕТРОЛОГІЇ»**

Оцінювання здобувачів вищої освіти здійснюється відповідно до Положення про організацію освітнього процесу у Миколаївському національному аграрному університеті, Оцінювання результатів навчання здійснюється за відповідними формами організації освітнього процесу, а саме: поточний та підсумковий контроль знань здобувачів вищої освіти. Порядок зарахування пропущених занять, зокрема: у формі усного опитування (при пропущенні лекції) та виконання індивідуального завдання (при пропущенні лабораторних занять).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бартновский А. Л. Измерения в электротехнических устройствах / А. Л. Бартновский, В. О. Козин, С. А. Кучер. – М. : Транспорт, 1980. – 407 с.
2. Боженко Л. І. Метрологія, стандартизація, сертифікація : навч. підруч. / Л. І. Боженко. – Львів : Афіша, 2006. – 324 с.
3. Головка Д. Б. Основи метрології та вимірювань : навч. посіб. / Д. Б. Головка, К. Г. Реґо, Ю. О. Скрипник. – К. : Либідь, 2001. – 408 с.
4. Электричні вимірювання електричних та неелектричних величин ; під ред. Е. С. Поліщука. - К. : Вища школа, 1978. - 352 с.
5. Измерение электрических и неэлектрических величин : учеб. пособ./ Н. Н. Евтихийев, Я. А. Купершмидт, В. Ф. Папуловский, В. Н. Скугоров ; под ред. Н. Н. Евтихьева. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
6. Кравцов А. В. Электрические измерения / А. В. Кравцов. – М. : Агропромиздат, 1988. -239 с.
7. Левшина Е. С. Электрические измерения физических величин / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 320 с.
8. Основи метрології та вимірювальної техніки : підруч. – у 2 т. – Т. 1. : Основи метрології / М. Дорожовець, В. Мотало, В. Василюк [та ін.] ; за ред. Б. Стадника. – Львів : Львівська політехніка, 2005. – 532 с.

9. Цюцюра В. Д. Метрологія та основи вимірювань : навч. посіб. / В. Д. Цюцюра, С. В. Цюцюра. – К. : Знання, 2003. –180 с.
10. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин ; под ред. Е. Полищука. – К. : Вища школа, 1984. – 360 с.

Навчальне видання

**КОНТРОЛЬНО - ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ З  
ОСНОВАМИ МЕТРОЛОГІЇ**

Методичні рекомендації

Укладач: Садовий Олексій Степанович

Формат 60x84 1/16. Ум.друк. арк. 4,56

Тираж \_\_\_\_\_ прим. Зам. № \_\_\_\_\_

Надруковано у видавничому відділі

Миколаївського національного аграрного університету

54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013р.