

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА

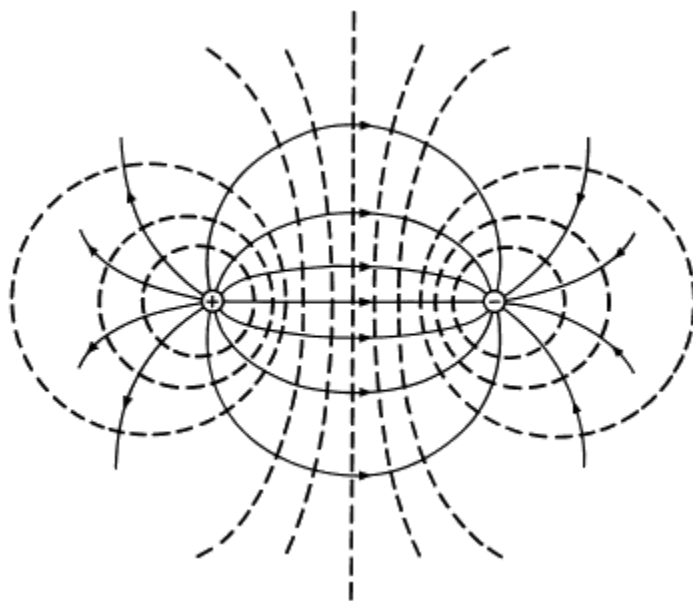


КАФЕДРА ФІЗИКИ

Лабораторний практикум з фізики

Електромагнетизм

для студентів інженерних спеціальностей денної та
заочної (дистанційної) форм навчання



Полтава 2016

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

При підготовці до виконання лабораторної роботи студент повинен: записати в робочий зошит назву роботи, мету, прилади та обладнання, виписати основні формули для обчислення, намалювати таблиці вимірювань.

На початку лабораторного заняття викладач перевіряє якість підготовки студентів. Якщо якість підготовки задовільна, студент одержує дозвіл виконувати лабораторну роботу. В протилежному випадку студент до лабораторного заняття не допускається.

Після виконання роботи результати вимірювань необхідно показати викладачеві з наведенням прикладу обчислень досліджуваної величини і одержати підпис викладача.

Якщо результати неправильні, то вимірювання або обчислення необхідно повторити, врахувавши зауваження викладача, і знову показати йому результати.

До кожної виконаної лабораторної роботи з фізики потрібно:

- скласти письмовий звіт;
- захистити його, відповівши на поставлені викладачем запитання;

Питання для захисту наведені в інструкціях до кожної лабораторної роботи.

Звіт з лабораторної роботи повинен включати:

- назву лабораторної роботи, її номер і дату виконання;
- список приладів та обладнання;
- малюнок або схема лабораторної установки;
- робочі формули;
- таблиці з результатами вимірювання та приклади розрахунків;
- графіки (за необхідності);
- відповідь з вказанням розмірності фізичної величини та похибки вимірювання;
- висновки.

Лабораторна робота № 201
**ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ
ПРИЛАДІВ**

Мета роботи: ознайомитися з роботою основних електровимірювальних приладів, порівняти їх властивості та вивчити правила користування ними.

Прилади та обладнання: електровимірювальні прилади (амперметр, вольтметр тощо).

Теоретичні відомості

Електровимірювальними приладами називаються пристрої, за допомогою яких здійснюється порівняння електричної величини з її одиницею вимірювання.

Усі прилади розподіляють на два класи:

— прилади безпосередньої оцінки, в яких порівняння з мірою здійснюється при градуванні приладу;

— прилади порівняння, в яких вимірювана величина безпосередньо порівнюється.

Електровимірювальні прилади безпосередньої оцінки класифікують за рядом ознак:

- 1) за принципом дії (за системою);
- 2) за видом вимірюваної величини (струм, напруга, потужність, опір та ін.);
- 3) за типом струму, який вимірюється (сталій, змінний однофазний і змінний трьохфазний);
- 4) за ступенем точності (класом точності);
- 5) за характером вимірювання (прилади з безпосереднім відліком та реєструючі);
- 6) за способом монтажу (щитові; пультові; встановлювані на кронштейнах);
- 7) за умовами роботи (стаціонарні, переносні, транспортні);
- 8) за способом захисту від магнітних та електричних полів (екрановані й астатичні).

За принципом дії прилади поділяють на чотири великих групи: електромеханічні; електротеплові, електрохімічні та електронні.

Оскільки найбільша частина електровимірювальних приладів безпосередньої оцінки належить до групи електромеханічних приладів, доцільно спинитись на основних системах цієї групи.

1. Магнітоелектрична система. Робота приладів цієї системи основана на взаємодії магнітного поля сталого магніту та рухомої котушки, по якій протікає вимірюваний струм.

Прилади цієї системи мають високу чутливість (можна вимірювати струми до 10^{-14} А), споживають мало енергії, малочутливі до змін температури,

мають рівномірну шкалу. Недоліки – можливість їх застосування тільки в колах сталого струму та чутливість до перевантажень.

2. Електромагнітна система. Прилади цієї системи містять нерухому котушку та рухомі осердя з феромагнетика, закріпленого на осі приладу. При проходженні струму через обмотку котушки осердя втягується в її неоднорідне магнітне поле та повертає пов'язану із ним стрілку.

Ці прилади надійні в експлуатації, стійкі до перевантажень, можуть застосовуватись для вимірювання струмів та напруги в колах як сталого, так і змінного струмів. Недоліки – нерівномірність шкали, менша точність, ніж у магнітоелектричних приладах, залежність показань від впливу зовнішніх магнітних полів.

3. Електродинамічна система. Принцип дії приладів оснований на взаємодії струмів, що течуть по двох рамках (котушках), з яких одна нерухома, а друга рухома.

Переваги приладів цієї системи – можливість вимірювання як сталих, так і змінних струмів, достатня точність, а їх недоліки – нерівномірність шкали, чутливість до впливу зовнішніх магнітних полів та до перевантажень.






Найсуттєвіші характеристики приладу розміщуються на його шкалі. До них належать:

1. Символ, який указує на вид вимірюваної величини:

A	— амперметр;	V	— вольтметр;
mA	— міліамперметр;	W	— ватметр;
μA	— мікроамперметр;	Ω	— омметр.

2. Символ, який указує на вид струму: сталий (—); змінний однофазний (~) чи змінний трифазний струм (≈).

3. Система приладу:

	магнітоелектрична;
	магнітоелектрична з випрямлячем;
	електродинамічна;
	електростатична;
	електромагнітна.

4. Напруга, якою випробувана ізоляція приладу: 2 кВ; 2 $\frac{1}{2}$, ☆ 2 .

5. Нормальне положення приладу:

↑ або ⊥ – вертикальне;
→ або — – горизонтальне.

6. Клас точності: 0,5; (0,5) , $\sqrt{0,5}$

Важливі характеристики приладу – його межа вимірювання, чутливість та ціна поділки.

Межа вимірювання M – це найбільше значення величини, яке може бути виміряне приладом без його руйнування та із забезпеченням точності, гарантованої для даного приладу. Значення межі вимірювання дорівнює найбільшій цифрі на шкалі приладу з однією межею вимірювання, або вказана на перемикачі діапазонів багатомежного приладу.

Чутливістю S електровимірювального приладу називається відношення лінійного або кутового переміщення покажчика $d\alpha$ до зміни вимірюваної величини dx , яка викликала це переміщення:

$$S = \frac{d\alpha}{dx}.$$

Якщо чутливість стала, то переміщення покажчика пропорційне до вимірюваної величини, тобто шкала приладу рівномірна.

Ціною поділки називають величину, яка дорівнює кількості одиниць вимірюваної величини, що припадає на одну поділку. Для визначення ціни поділки необхідно межу вимірювання розділити на повну кількість поділок шкали:

$$C = \frac{M}{N},$$

де M – межа вимірювання; N – загальна кількість поділок шкали.

Значення вимірюваної величини дорівнює добутку ціни поділки на кількість поділок (відлік за шкалою приладу).

Кожний прилад здійснює вимірювання з деякою похибкою. Розрізняють основну похибку приладу, зумовлену внутрішніми властивостями та якістю приладу за нормальних умов роботи, і додаткові похибки, викликані порушенням нормальних умов роботи під дією зовнішніх факторів.

Зведена похибка – це відношення абсолютної похибки вимірювання до верхньої межі шкали приладу:

$$\gamma = \frac{\Delta X_m}{X_{np.}} \cdot 100\%.$$

Залежно від величини цих похибок електровимірювальні прилади розподіляють за класом точності: 0,05; 0,1; 0,5; 2,0; 1,5; 2,5; 4,0. Клас точності визначає основну зведену похибку даного приладу, яка наводиться за шкалою у відсотках. За класом точності можна визначити максимально допустиму абсолютну похибку:

$$\Delta X_m = \frac{\gamma X_{np.}}{100\%}.$$

Розглянемо застосування деяких електровимірювальних приладів.

Амперметри – прилади, призначені для вимірювання сили струму. При вимірюванні їх умикають у коло послідовно. Для високої точності вимірювання внутрішній опір амперметра повинен бути значно менший, ніж

опір кола. Для вимірювання сили струму, яка перевищує межу вимірювання амперметра, паралельно до нього підключають опір, який називається шунтом. У колах змінного струму це здійснюється за допомогою трансформатора струму.

Вольтметри – прилади, призначені для вимірювання напруги. Вони вмикаються паралельно до ділянки, на якій вимірюється напруга. Опір вольтметра повинен бути набагато більшим, ніж опір ділянки кола. Для розширення меж вимірювання вольтметра необхідно в коло послідовно з ним увімкнути додатковий опір, а в колах змінного струму застосовують трансформатор напруги.

Омметри – прилади, призначені для вимірювання опору, шкала яких проградуєвана в одиницях опору. Омметр являє собою міліамперметр із уміщеним джерелом сталого струму.

Ампервольтметри (авометри) – універсальні вимірювальні прилади, які дозволяють виміряти силу струму, напругу сталого та змінного струму, електричний опір. Для кожного виду вимірів авометри мають декілька меж вимірювання.

Для реєстрації результатів вимірювань використовують самописні прилади.

У наш час усе більше застосування мають цифрові вимірювальні прилади, в яких перетворення сигналу в його числове значення здійснюється аналого-цифровим перетворювачем.

Порядок виконання роботи

3. Для наданого викладачем приладу розшифрувати всі позначення на його передній панелі.
4. Визначити ціну поділки.
5. Визначити чутливість приладу.
6. За завданням викладача виміряти деяку величину даним приладом.
7. Визначити абсолютну та відносну похибки вимірювання.

Контрольні питання

1. Який принцип класифікації електровимірювальних приладів?
2. Що називають чутливістю приладу, ціною поділки шкали ?
3. Яке призначення амперметрів і як їх вмикають в електричне коло?
4. Яке призначення вольтметрів і як їх вмикають в електричне коло?
5. Як розширити межі вимірювання електровимірювальних приладів?
6. Що називають абсолютною та зведеною похибкою приладу?

Лабораторна робота № 221
**ДОСЛІДЕННЯ КОРИСНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ККД СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ**

Мета роботи: вивчити залежність ККД і корисної потужності від зовнішнього опору.

Прилади та обладнання: установка, яка складається з акумулятора, змінного опору, міліамперметра та ключа.

Теоретичні відомості

Електричним струмом називають усякий упорядкований рух електричних зарядів. Для появи й існування електричного струму необхідні:

1. Наявність у середовищі електричних зарядів, які могли б у ньому переміщатись на макроскопічні відстані. В металах такими зарядами є електрони, в електролітах (рідких провідниках) позитивні і негативні іони, у газі – позитивні іони та електрони.

2. Джерело неелектричних (сторонніх) сил, енергія якого витрачалася б на переміщення електричних зарядів.

Електричний струм характеризують: сила струму та густина струму.

Силою струму називають скалярну фізичну величину, яка дорівнює відношенню електричного заряду q , що пройшов через поперечний переріз провідника до часу проходження:

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

Якщо сила струму не змінюється з часом, то такий струм називають постійним.

Густина струму – це вектор, напрямлений вздовж струму, що чисельно дорівнює відношенню сили струму до площі перерізу провідника, проведеної перпендикулярно до напрямку струму:

$$j = \frac{dI}{dS}.$$

Джерелом постійного електричного струму в даній роботі є акумуляторна батарея, в якій робота сторонніх сил переміщення зарядів виконується за рахунок енергії, яка виділяється при хімічних процесах розчинення електродів у електроліті.

Акумулятор характеризується електрорушійною силою (ЕРС) та внутрішнім опором.

Електрорушійна сила дорівнює відношенню роботи сторонніх сил по переміщенню заряду до величини цього заряду. ЕРС вимірюється у вольтах.

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}.$$

Якщо електричний струм постійний, а провідники, що його утворюють, нерухомі, робота сторонніх сил повністю витрачається на нагрівання

провідників. Кількість теплоти що виділяється в провідниках, визначається **законом Джоуля-Ленца**.

Кількість теплоти, що виділяє струм у провіднику, дорівнює добутку квадрата сили струму, опору провідника та часу його проходження:

$$Q = IUt = I^2 Rt.$$

Кількість теплоти, що виділяється в одиниці об'єму провідника за одиницю часу, називають густиною теплової потужності. Її величина визначається **законом Джоуля-Ленца у диференціальній формі**

$$\omega = \gamma E^2 = \frac{1}{\rho} E^2,$$

де γ – питома електропровідність,

E – напруженість електричного поля,

ρ – питомий опір.

Корисна потужність струму, яка виділяється в зовнішній частині кола на опорі R ,

$$P_K = IU = I^2 R.$$

За **законом Ома для замкненого кола** сила струму

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

де ε – ЕРС джерела;

r – внутрішній опір джерела струму,

R – зовнішній опір кола.

Тоді

$$P_K = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}.$$

Потужність джерела струму визначається кількістю теплоти, що виділяється не тільки у зовнішній частині кола, а й у самому джерелі струму.

$$P = I^2 R + I^2 r = I^2 (R + r) \text{ або } P = \frac{\varepsilon^2}{r + R}.$$

Корисна потужність залежить від опору зовнішньої та внутрішньої частини кола. Якщо опір зовнішнього кола дорівнює опору джерела, то корисна потужність найбільша

$$P_K = \frac{\varepsilon^2}{4r^2}.$$

При практичному використанні джерел струму важлива не тільки потужність, а й ККД; оскільки струм проходить у середині джерела, то деяка потужність витрачається некорисно на виділення теплоти у середині джерела. **ККД джерела струму** дорівнює відношенню потужності, що виділяється в зовнішній частині кола, до потужності джерела:

$$\eta = \frac{P_K}{P} \text{ або } \eta = \frac{R}{R + r}.$$

Залежність потужності і ККД від опору R зовнішньої частини кола зображена на рис. 221.1.

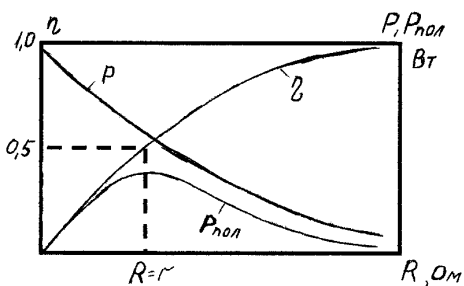


Рис. 221.1

При короткому замиканні ($R=0$) потужність, що віддає джерело, максимальна, але вона витрачається на нагрівання джерела струму, а тому $\eta=0$. При $R=r$ можна отримати найбільшу корисну потужність, що виділяється в джерелі, а тому $\eta=0,5$. Коли ж ККД близький до одиниці, то корисна потужність N мала порівняно з максимальною, яку могло б розвинути дане джерело.

Таким чином, умови отримання найбільшої корисної потужності і найбільшого ККД несумісні.

В електроенергетиці основною вимогою є отримання високого ККД, а для цього необхідно, щоб опір джерела струму був малим порівняно з опором зовнішньої частини кола.

У випадку короткого замикання ($R=0$) уся потужність виділяється у середині джерела.

Це призводить до перегріву внутрішніх частин джерела і виходу його з ладу. Тому короткі замикання потужних джерел (динамо-машини, акумуляторної батареї) недопустимі.

Опис установки

Джерелом струму є два лужних акумулятори (рис. 221.2). Опір акумуляторів малий (такого ж порядку, як і опір провідників, що з'єднують прилади), тому для створення можливості проведення експериментів внутрішній опір джерела струму штучно збільшено шляхом включення між елементами резистора R . Зовнішній опір кола можна змінювати від 0 до 10000 Ом, шляхом перемикавання декадників у магазині опорів R . Струм вимірюється міліамперметром.

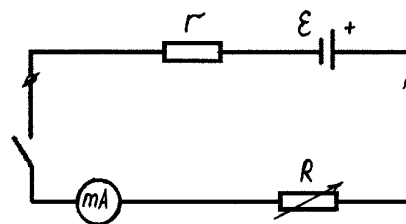


Рис. 221.2

Порядок виконання роботи

1. Підключити прилад до мережі та ввімкнути його.
2. Виміряти силу струму в колі для 10 різних значень зовнішнього опору, починаючи з $R = 0.5r$ з кроком 750 Ом. Результати вимірювань записати у таблицю 221.1.
3. Вимкнути прилад та відключити його від мережі.
4. Обчислити для кожного опору:
 - корисну потужність

$$P_K = I^2 R$$

– ККД

$$\eta = \frac{R}{R + r}.$$

5. Побудувати на одних осях координат графіки залежності корисної потужності $P_K = f(R)$ та ККД системи електроживлення $\eta = f(R)$ від опору навантаження.

Таблиця 221.1

$r =$ _____ Ом				
№ п/п	R , Ом	I , А	P_K , Вт	η
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
Сер.				

6. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте умови існування електричного струму.
2. Назвіть основні характеристики: електричного струму та джерела електричного струму.
3. Яку величину називають ЕРС джерела струму?
4. Сформулюйте і запишіть математично закони Ома й Джоуля-Ленца в диференціальній та інтегральній формах.
5. Запишіть формули потужності, яка виділяється в зовнішній частині кола і в усьому колі.
6. Що називається ККД системи електроживлення?
7. За яких умов досягається максимум корисної потужності системи електроживлення?
8. Накресліть графік залежності ККД і корисної потужності системи електроживлення від величини опору навантаження.

Лабораторна робота № 222
**ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ОПОРУ ПРОВІДНИКІВ МЕТОДОМ
ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Мета роботи: вивчити метод вольтамперметра і з його допомогою визначити питомий опір провідника.

Прилади та обладнання: установка ГР Н-01.

Теоретичні відомості

Німецький фізик Ом дослідним шляхом установив, що струм, який протікає по однорідному провіднику, прямо пропорційний напрузі й обернено пропорційний опору провідника:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1)$$

де I – сила струму, А; U – напруга, В; R – опір, Ом.

Для замкненого кола закон Ома має вигляд

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

де ε – ЕРС,

R – опір зовнішньої частини кола;

r – внутрішній опір джерела струму.

Опір однорідного провідника

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де l – довжина провідника;

ρ – питомий опір матеріалу провідника;

S – площа його поперечного перерізу.

Питомий опір залежить від матеріалу і температури провідника. Це одна з важливих фізичних характеристик речовини, яка зведена у відповідні таблиці, отримані експериментальним шляхом (додаток І). Найменший питомий опір мають платина, срібло, золото, мідь, алюміній. Два останні метали широко застосовуються в техніці в якості електропровідних матеріалів. Відносно високий питомий опір мають вольфрам, залізо та його сплави з нікелем, хромом (ніхром), які застосовуються для прямого перетворення електричної енергії в тепло (спіралі електроламп, нагрівники в електропечах).

Питомий опір провідників лінійно залежить від температури з досить великою точністю і в широкому діапазоні температур:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

де α – температурний коефіцієнт опору;

ρ_0 – питомий опір при температурі 0°C ;

t – температура провідника, $^\circ\text{C}$.

Залежність опору провідників від температури використовується для вимірювання температури, за допомогою термометрів опору (терморезисторів). Це найточніший метод вимірювання температури в діапазоні від -170 до $+660$ градусів за Цельсієм. В якості матеріалу термометрів опору використовують мідь і платину.

Закон Ома був виведений і аналітично в працях Друде і Лоренца. Із застосуванням законів механіки та молекулярно-кінетичної теорії газів для руху електронів у металах під дією електричного поля було отримано **закон Ома в диференціальній формі**

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

де j – густина струму в провіднику,

γ – питома електропровідність провідника,

E – напруженість електричного поля.

Питома електропровідність за класичною теорією провідності металів дорівнює

$$\gamma = \frac{ne^2 \langle \lambda \rangle}{2m \langle u \rangle},$$

де n – концентрація вільних електронів;

e – заряд електрона;

$\langle \lambda \rangle$ – середня довжина вільного пробігу електронів;

m – маса електрона;

$\langle u \rangle$ – середня швидкість теплового руху електрона.

Складні (розгалужені) електричні кола значно легше розрахувати, якщо скористатись правилами Кірхгофа.

Перше правило Кірхгофа, що випливає із закону збереження зарядів: алгебраїчна сума струмів у вузлі дорівнює нулю:

$$\sum_{\kappa} I_{\kappa} = 0.$$

Вузлом називають будь-яку точку розгалуженого кола, в якій збігається більше від двох провідників. Струм, що йде до вузла, вважається позитивним і навпаки.

Друге правило Кірхгофа, що випливає з закону збереження енергії: алгебраїчна сума падінь напруги в контурі дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС у цьому контурі:

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \mathcal{E}_k.$$

Контур – це довільна послідовність ділянок електричного кола, що починається і закінчується в одній точці.

Добуток сили струму в ділянці кола на її електричний опір називають **падінням напруги** на ділянці кола. Падіння напруги вважається позитивним, якщо струм збігається з вибраним напрямком обходу контуру.

Для розрахунків розгалужених електричних кіл потрібно, використовуючи перше та друге правила Кірхгофа, скласти систему рівнянь

необхідної кількості (за кількістю невідомих величин). При цьому перше правило Кірхгофа можливо використати на один раз менше від кількості вузлів у схемі.

Розв'язати систему рівнянь. Якщо виявиться, що окремі струми менші від нуля, то це свідчить про протилежний від вибраного напрям його проходження.

У фізиці й електротехніці широко використовують метод вольт-амперної характеристики (ВАХ). **ВАХ** називають залежність струму в електротехнічному елементі від напруги на ньому: $I = f(U)$. Ця характеристика, як правило, відображається у вигляді графіка, котрий і називають вольт-амперною характеристикою.

Теорія методу

При використанні методу ВАХ виникає потреба у точних вимірюваннях сили струму і напруги безпосередньо на досліджуваному елементі. Для цього використовують два варіанти з'єднання приладів: для точного вимірювання напруги (рис. 222.1, а) і для точного вимірювання струму (рис. 222.1, б).

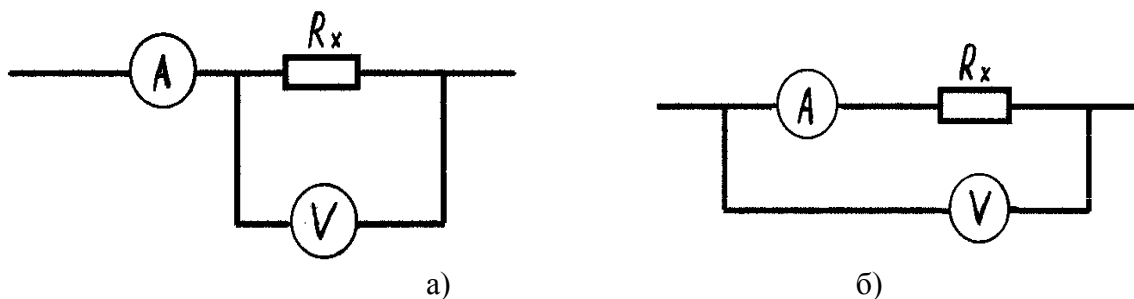


Рис. 222.1

При підключенні за схемою (рис. 222.1, а) точно вимірюється напруга, а виміряний струм дорівнює сумі струмів, що проходять через елемент і вольтметр.

За схемою (рис. 222.1, б) точно вимірюється струм, що проходить через елемент, а виміряна напруга дорівнює сумі падінь напруги на амперметрі та елементі: Якщо опір вольтметра значно більший від опору елемента, а опір амперметра значно менший від опору елемента, то результати будуть достатньо точними без урахування опорів вимірювальних приладів. У деяких випадках ця умова не виконується, тому потрібно підібрати відповідну схему і врахувати реальні опори вольтметра й амперметра.

Знаючи точні значення опору вольтметра R_V та амперметра R_A , можна обчислити дійсну силу струму в елементі за схемою а) і спад напруги на елементі – за схемою б).

На підставі закону Ома опір елемента

$$R = \frac{U_R}{I_R}.$$

При використанні схеми з точним вимірюванням напруги (рис. 222.1, а) опір елемента

$$R = \frac{U}{I} \left(1 + \frac{U/I}{R_V} \right), \quad (1)$$

де R_V – внутрішній опір вольтметра (у приладі $R_V = 2500$ Ом).

U – покази вольтметра,

I – покази амперметра.

При використанні схеми з точним вимірюванням струму (рис. 222.1, б) опір елемента

$$R = \frac{U}{I} \left(1 - \frac{R_A}{U/I} \right), \quad (2)$$

де R_A – внутрішній опір амперметра (у приладі $R_A = 0,15$ Ом).

Без урахування опорів приладів приблизне значення опору

$$R = \frac{U}{I}. \quad (3)$$

Порівнюючи вирази (1), (2) з (3), бачимо, що за схемою з точним вимірюванням напруги приблизне значення опору трохи більше, ніж дійсне, а за схемою з точним вимірюванням струму – трохи менше.

Коли невідомі опори амперметра і вольтметра, доцільно провести вимірювання за обома схемами, а опір визначають як середнє арифметичне з обчислених значень вимірювань за обома схемами.

Опис приладу

Прилад (рис. 222.2) складається з підставки 1, стійки 2, на якій нанесено метричну лінійну шкалу 3, двох нерухомих кронштейнів 6, між якими натягнуто дріт 4. Кронштейн 7 переміщується вздовж стійки і за допомогою рухомого контакту з'єднує провід з електричною схемою вимірювань, умонтовану в блок 8. Цей блок складається з джерела постійного струму з регулятором струму, міліамперметра, вольтметра та кнопки вибору схеми вимірювань. Призначення управляючих кнопок пояснено рисунками на передній панелі блока, які виконані відповідно до міжнародних стандартів. Струм (напруга) регулюється рукояткою потенціометра на передній панелі.

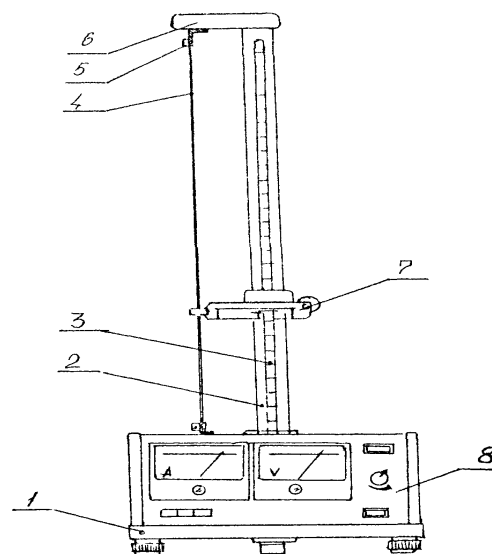


Рис. 222.2

Порядок виконання роботи

1. Записати в таблицю діаметр дроту (вказаний на приладі).
2. Увімкнути прилад, натиснувши клавішу «СЕТЬ» (при цьому загориться неонтова лампочка).
3. Натиснути на ліву кнопку, підключивши дріт до схеми вольтамперметра, при цьому стрілки вимірювальних приладів відхиляються.
4. Пересунути рухомий контакт на 0,5 – 0,7 довжини дроту від підставки, виміряти за шкалою довжину l дроту.
5. Вибрати схему вимірювань: з точним вимірюванням струму, натиснувши центральну кнопку.
6. За допомогою потенціометра (регулятора струму) встановити довільну напругу.
7. Виміряти напругу і струм, а їх значення записати у таблицю.
8. Змінюючи напругу, виконати 3-5 вимірювань для різних значень напруги (бажано змінювати напругу до максимального можливого значення для даної довжини дроту).
9. Змінити схему підключення приладів на точне вимірювання напруги.
10. Повторити пп. 6-8 для схеми з точним вимірюванням напруги.
11. Вимкнути прилад, змінити довжину дроту і виміряти її.
12. Ввімкнути прилад і повторити пп. 5-10 для нової довжини дроту.

Таблиця 222.1

d _____ м.

№ п/п	$l_1 =$ _____ м				$l_2 =$ _____ м			
	$U, В$	$I, мА$	$R, Ом$	$\rho, Ом \cdot м$	$U, В$	$I, мА$	$R, Ом$	$\rho, Ом \cdot м$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
Сер.								

13. Побудувати ВАХ на одних осях координат та зробити висновок.
14. Обчислити точне значення опорів дроту за формулами (1) або (2), залежно від вибраної схеми вимірювань і приблизне значення за формулою (3).
15. Знайти середнє арифметичне значення опору для обох довжин проводу при обох схемах включення приладів.
16. Обчислити питомий опір дроту за формулою

$$\rho = \frac{R_{CP} S}{l}, \text{ де } S = \frac{\pi d^2}{4}.$$

17. Визначити за результатами обчислень середнє значення питомого опору матеріалу і порівняти його з табличними значеннями питомого опору матеріалів, установити, згідно додатку І з якого матеріалу виготовлений дріт.

Контрольні запитання

1. Сформулювати закон Ома для ділянки кола і замкненого кола.
2. Від чого залежить опір дроту?
3. Як залежить питомий опір провідників від температури, та яким чином використовується ця залежність?
4. Записати математично закон Ома в диференціальній формі й пояснити його.
5. Сформулювати правила Кірхгофа, дати визначення контуру, вузла, падіння напруги, показати застосування правил Кірхгофа для обчислення вузлів і контурів.
6. Яким чином можна зменшити похибки вимірювань опорів методом вольтамперметра?

Лабораторна робота № 230
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРЬОХЕЛЕКТРОДНОЇ ЛАМПИ

Мета роботи: визначити параметри трьохелектродної лампи.

Прилади та обладнання: лампа-тріод, установка для визначення параметрів трьохелектродної лампи, два реостати.

Теоретичні відомості

У металах валентні електрони слабо зв'язані з атомами й утворюють своєрідний електронний газ, який заповнює простір між вузлами кристалічної ґратки. Коли електрон виходить із металу, на його поверхні виникає позитивний індукований заряд, унаслідок чого між електроном і металом виникає сила тяжіння, яка перешкоджає віддаленню електрона. Крім того, електрони, які вже вийшли з металу, утворюють електронну хмарку, електричне поле котрої також перешкоджає подальшому виходові електронів з металу. Поблизу поверхні металу утворюються сили, які діють на електрони і напрямлені усередину металу. Таким чином, для виходу електрона з металу у вакуум необхідно виконати роботу, яку називають **роботою виходу**. Робота виходу залежить від природи металу та стану його поверхні. Робота виходу – одна з важливих електрофізичних властивостей матеріалу, визначається експериментально. Її значення зведені у відповідні таблиці. Звичайно в таблицях значення роботи виходу наводиться у електрон-вольтах (eV). $1\text{eV}=1,69\cdot 10^{-19}$ Дж.

Електрон провідності може покинути метал, якщо енергія його теплового руху більша за роботу виходу. При кімнатних температурах електрони практично не виходять з металу, ймовірність їх виходу суттєво зростає з підвищенням температури.

Явище випускання електронів поверхнями нагрітих твердих тіл і рідин унаслідок їх теплового руху називається **термоелектронною емісією**.

Термоелектронну емісію спостерігають і вивчають за схемою (рис. 230.1).

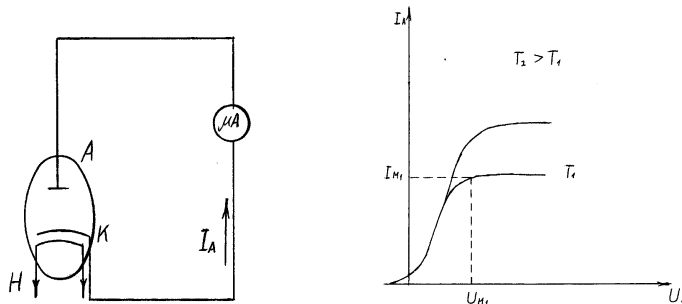


Рис. 230.1

Якщо катод холодний, то струм у колі не виникає, бо у вакуумі відсутні заряджені частинки. Якщо розігріти катод, то з його поверхні почнуть вилітати електрони. При подачі на анод позитивного потенціалу, а на катод –

негативного – в колі виникне струм. При протилежній полярності струм відсутній. Це свідчить про те, що нагріта поверхня катода випромінює негативні заряди – електрони. Таким чином пояснюється принцип дії двоелектродних електронних ламп-діодів для випрямлення змінного струму.

Сила термоелектронного (анодного) струму в колі залежить від різниці потенціалів між катодом і анодом (анодної напруги). Залежність анодного струму в діоді від анодної напруги при сталій температурі катода називається **вольт-амперною характеристикою**. Типовий вигляд такої залежності для різних температур катодів показаний на рис. 230.1 справа.

При малій напрузі не всі електрони, які випускає катод, долітають до анода, частина їх утворює електронну хмарку. Електронна хмарка перешкоджає емісії електронів у їх русі до анода. При збільшенні анодної напруги сила струму збільшується, густина електронної хмарки зменшується, зменшується і її вплив на анодний струм, реалізується друга ділянка вольт-амперної характеристики з пропорційною залежністю між анодною напругою та анодним струмом. Коли потенціал аноду стає настільки великим, що всі електрони, які випускає катод, потрапляють на анод, струм стає максимальним і вже не залежить від напруги. Таке явище називається **насиченням**, а струм – **струмом насичення**. Насичення пояснюється тим, що збільшення анодної напруги, а відповідно і швидкості руху електронів між катодом та анодом, уже не можуть збільшити кількості перенесених зарядів, яка лімітується кількістю електронів що випромінює поверхня катода. Підвищення температури катода збільшує емісію електронів і відповідно силу струму насичення. Це супроводжується певним зростанням анодної напруги, при якій устанавлюється струм насичення.

В електротехніці використовуються багатоелектродні лампи для підсилення струму і генерації електромагнітних коливань, наприклад, тріод (рис. 230.2, а). Введення в двоелектродну лампу третього електрода – сітки – дозволяє регулювати силу струму, що проходить через лампу. В цьому випадку анодний струм є функцією двох напруг (на сітці U_c і на аноді U_A), які можна змінювати незалежно одна від одної. Криві залежності сили анодного струму від напруги на сітці при сталому потенціалі анода називають сітковими характеристиками (рис. 230.2, б).

Використовуючи сіткові характеристики тріода при різних анодних напругах, визначають параметри лампи.

Коефіцієнт підсилення лампи μ – це величина, яка показує, у скільки разів сильніше діє сіткова напруга на анодний струм порівняно з анодною напругою:

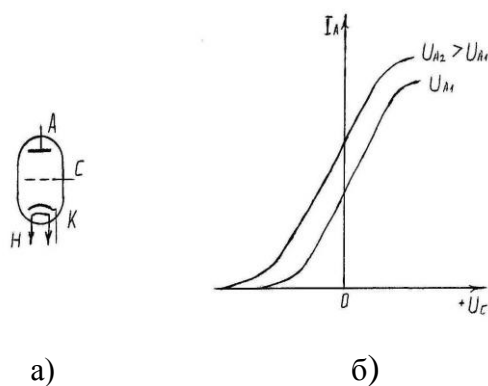


Рис. 230.2

$$\mu = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_c} \quad \text{при} \quad I_A = \text{const} . \quad (1)$$

Величина

$$S = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_c} \quad \text{при} \quad U_A = \text{const} \quad (2)$$

характеризує швидкість зміни анодного струму при зміні потенціалу сітки або **крутизну характеристики**. Крутизна характеристики дорівнює тангенсу кута нахилу сіткової характеристики в розглядуваній точці.

Величина, яка чисельно дорівнює відношенню зміни анодної напруги до відповідної зміни анодного струму при сталому потенціалі на сітці, називається **внутрішнім опором**

$$R = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A} \quad \text{при} \quad U_c = \text{const} . \quad (3)$$

Опис установки

Принципова схема установки зображена на рис. 230.3. Схема має два електричні кола, напруга в яких регулюється за допомогою реостатів, увімкнених як потенціометри. У кожному колі є амперметр і вольтметр відповідної чутливості. Робочим елементом установки є триод, параметри якого досліджуються у даній лабораторній роботі. Анодне коло живиться від високовольтного блока, анодний струм вимірюється міліамперметром, анодна напруга – вольтметром. Величина анодної напруги регулюється потенціометром.

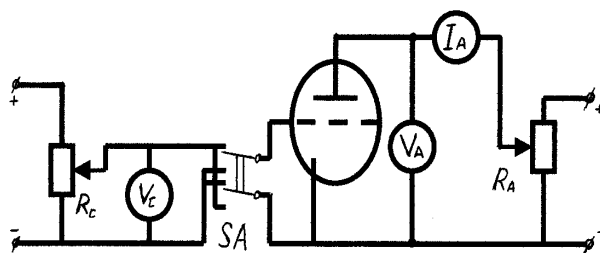


Рис. 230.3. Принципова електрична схема установки

Установка живиться від мережі змінного струму напругою 220 В. На панелях установки розташовані вимикачі електроживлення, прилади для вимірювання напруги на сітці U_c , анодного струму I_A та анодної напруги U_A . У середині установки вмонтована електронна лампа-триод з вольфрамовим катодом.

Порядок виконання роботи

1. Увімкнути установку в мережу 220 В.
2. Отримати у викладача значення двох анодних напруг. Установити значення U_{A1} і підтримувати його сталим.

3. Перемикачем сіткової напруги подати на сітку від'ємний потенціал і, зменшуючи напругу до 0, зняти значення сили струму за міліамперметром в 5 точках.

4. Перемикачем сіткової напруги подати на сітку позитивний потенціал і, збільшуючи його значення, виміряти силу струму в 5 точках.

5. Дані вимірювань записати в таблицю.

6. Повторити пп. 3–5 для значення анодної напруги U_{A2} .

7. За отриманими даними побудувати на одних і тих самих координатних осях дві сіткові характеристики лампи $I_A = f(U_c)$.

Таблиця 230.1

№ п/п	$U_{A1} = \text{--- В}$		$U_{A2} = \text{--- В}$	
	$U_c, \text{В}$	$I_A, \text{А}$	$U_c, \text{В}$	$I_A, \text{А}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

8. Обчислити параметри лампи S , R , μ за формулами (1) – (3).

9. Перевірити правильність визначення параметрів за формулою

$$R = \frac{\mu}{S}.$$

10. Зробити висновок.

Контрольні запитання

1. Що називається роботою виходу електрона з металу? Від чого вона залежить?

2. У чому полягає явище термоелектронної емісії? Накресліть типовий вигляд ВАХ і поясніть залежність термоелектронного струму від анодної напруги.

3. Поясніть природу струму насичення. Назвіть шляхи його підвищення.

4. Опишіть будову і принцип дії діода та тріода.

5. Як впливає сіткова напруга на величину анодного струму?

6. Назвіть основні характеристики тріода.

Лабораторна робота № 240
**ВИЗНАЧЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ
НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ**

Мета роботи: визначити горизонтальну складову напруженості магнітного поля Землі для Полтави.

Прилади та обладнання: тангенс-гальванометр, вольтметр, амперметр, реостат, перемикач напрямку струму.

Теоретичні відомості

Дослідами Ейхенвальда, Ерстеда, Ампера було встановлено, що навколо рухомого заряду, провідника зі струмом завжди існує магнітне поле, яке діє на рухомі електричні заряди, або струм. Дія магнітного поля на провідники зі струмом визначається **законом Ампера**: сила, яка діє на прямолінійний провідник зі струмом, що перебуває в однорідному магнітному полі, прямо пропорційна силі струму I в провіднику, його довжині l , магнітній індукції B і синусу кута α між напрямом струму в провіднику і вектором B :

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$$

Для неоднорідного магнітного поля закон Ампера запишеться так:

$$dF = B \cdot I \cdot dl \cdot \sin \alpha$$

Сила – векторна величина, тому в векторній формі закон Ампера має вигляд:

$$d\vec{F} = I[d\vec{l}, \vec{B}].$$

Напрямок сили Ампера визначається за **правилом лівої руки**: якщо силові лінії магнітного поля входять у долоню, чотири пальці напрямлені за струмом, то тоді великий палець, відхилений на 90° , розміститься вздовж напрямку сили, що діє на провідник.

Основною характеристикою магнітного поля є вектор магнітної індукції. Магнітне поле графічно зображують за допомогою ліній магнітної індукції – ліній, дотична до яких у кожній точці збігається з напрямом вектора \vec{B} у цих точках поля.

Напрямок ліній індукції магнітного поля визначається за **правилом свердлика**: якщо вгвинчувати свердлик за напрямом струму в провіднику, то напрям обертання його рукоятки покаже також напрям ліній магнітної індукції.

Поряд з індукцією магнітного поля введена інша векторна характеристика – **напруженість магнітного поля \vec{H}** , яка вимірюється в Амперах на метр (А/м). напруженість пов'язана з індукцією магнітного поля співвідношенням:

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}.$$

де μ – відносна магнітна проникність середовища; μ_0 – магнітна стала ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м).

Індукція магнітного поля, що створюється ділянкою dl провідника зі струмом I , визначається **законом Біо-Савара-Лапласа**:

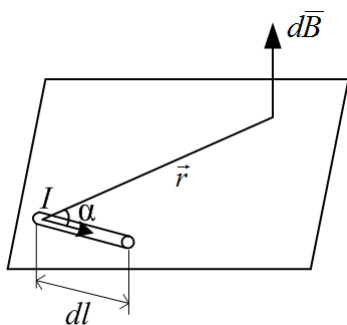


Рис. 240.1

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Idl}{r^2} \cdot \sin \alpha$$

або у векторній формі

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r^3} [d\vec{l}, \vec{r}].$$

На рис. 240.1 зображені всі величини, які входять у формулу закону Біо-Савара-Лапласа. Відповідно до принципу суперпозиції магнітна індукція \vec{B} у будь-якій точці поля дорівнює векторній сумі елементарних магнітних полів:

$$\vec{B} = \int_l d\vec{B}$$

(інтегрування ведеться по всій довжині провідника). На підставі цього закону і принципу суперпозиції можна визначити напруженість магнітного поля, яке створюється провідником зі струмом, користуючись таблицею 240.1.

Таблиця 240.1

Провідник	Напруженість
Прямий, нескінченно довгий	$H = \frac{I}{2\pi R}$
Прямий кінцевої довжини	$H = \frac{I \cdot (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)}{4\pi R}$
Коловий:	
— у центрі кола радіуса R	$H = \frac{I}{2R}$
— на висоті h від центра цього кола	$H = \frac{IR^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}$

Планета Земля має власне магнітне поле, яке утворює магнітну сферу радіусом 70...80 тис. км, що впливає на життя на Землі. Північний магнітний полюс Землі лежить поблизу південного географічного полюсу, і навпаки. На екваторі магнітне поле горизонтальне, біля полюсів – вертикальне. В інших точках Земної поверхні магнітне поле направлене під кутом α до горизонту.

Проекція напруженості магнітного поля Землі на горизонтальну площину називається **горизонтальною складовою напруженості магнітного поля Землі H_H** . Напрямок цієї складової береться за напрям магнітного меридіану. Кут між магнітним і географічним меридіаном називається **кутом схилення**.

Магнітна стрілка, яка може обертатись навколо вертикальної осі, буде відхилятися в горизонтальній площині тільки під дією горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі і збігатися з площиною магнітного меридіану. Ця властивість магнітної стрілки вже більше ніж 2 тисячі років використовується для орієнтації за допомогою магнітного

компаса. Для визначення горизонтальної складової магнітного поля Землі використовують тангенс-гальванометр.

Опис приладів та методу вимірювань

Тангенс-гальванометр (рис. 240.2) складається з круглої вертикальної рамки радіуса R , на яку намотано n витків ізолюваного дроту, через які проходить постійний струм. У центрі цієї рамки міститься компас.

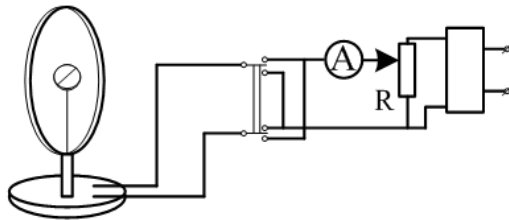


Рис. 240.2

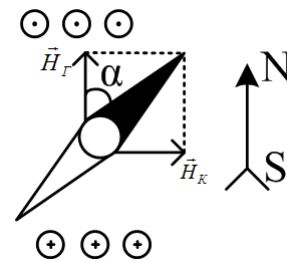


Рис. 240.3

При відсутності струму в рамці вісь стрілки компаса знаходиться у площині магнітного меридіана. Повертаючи рамку навколо вертикальної осі, можна встановити її паралельно площині магнітного меридіана; якщо після цього по рамці пропустити струм, то магнітна стрілка відхилиться на деякий кут α (рис. 240.3).

Пояснюється це тим, що на магнітну стрілку будуть діяти два поля: магнітне поле постійного струму в рамці H_k і горизонтальна складова магнітного поля Землі H_G . Магнітна стрілка займає таке положення, при якому її напрям збігається з напрямом сумарного магнітного поля. Із рис. 240.3 видно, що $\text{tg } \alpha = H_k / H_G$, оскільки площина рамки була розташована в площині магнітного меридіана ($H_k \perp H_G$).

Таким чином, $H_G = H_k / \text{tg } \alpha$, де $H_k = \frac{nI}{2R}$ – напруженість магнітного поля колового струму рамки; I – сила струму в рамці.

Щоб похибки вимірювань були найменшими внаслідок неточної установки рамки в площині магнітного меридіана, вимірювання треба проводити при двох протилежних напрямках струму у витках рамки.

Струм від джерела постійного струму і напруга на рамці регулюються реостатом, а напрям струму змінюється за допомогою двохпозиційного перемикача.

Порядок виконання роботи

1. Включити установку в мережу 220 В і виставити движок потенціометра на найменшу напругу.

2. Встановити площину рамки у площині магнітного меридіана, а лімб тангенс-гальванометра повернути так, щоб поділка «0» збігалася з положенням магнітної стрілки.

3. Ввімкнути схему в мережу і встановити такий струм у рамці за допомогою потенціометра, щоб кут відхилення стрілки компаса був близьким до 25...30°.

4. За допомогою перемикача поміняти напрям струму і кут α' відхилення стрілок компаса. Дані вимірювань записати в таблицю 240.2.

5. За допомогою перемикача поміняти напрям струму, що проходить через рамку, виміряти кут відхилення стрілки α'' . Результати вимірювань записати у таблицю 240.2.

6. Зменшуючи силу струму (на 5...10%), повторити пп. 4-5 для п'яти значень сили струму.

7. Записати у таблицю 240.2 значення радіуса R рамки і число витків у ній n .

Таблиця 240.2

$R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}; n = \underline{\hspace{2cm}} \text{ витків}$							
№	$I, \text{ А}$	$\alpha', ^\circ$	$\alpha'', ^\circ$	$\alpha = (\alpha' + \alpha'') / 2, ^\circ$	$\text{tg } \alpha$	$H_{\Gamma}, \text{ А/м}$	$\Delta H_{\Gamma}, \text{ А/м}$
1							
2							
3							
4							
5							
Сер.							

8. За формулою $H_{\Gamma} = \frac{nI}{2R \text{tg } \alpha}$ обчислити горизонтальну складову напруженості магнітного поля Землі для Полтави.

9. Визначити середнє значення $H_{\Gamma c}$ і похибку її вимірювань.

Контрольні питання

1. Назвати характеристики магнітного поля і встановити зв'язок між ними.

2. Сформулювати й записати математично закон Ампера.

3. Записати закон Біо-Саварра-Лапласа.

4. Як визначається напрям індукції магнітного поля та сили Ампера у будь-якій точці простору?

5. Чому дорівнює індукція магнітного поля прямолінійного і колового струму?

Лабораторна робота № 242
**ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ В
ЗМІННИХ МАГНІТНИХ ПОЛЯХ**

Мета роботи: дослідити явище електромагнітної індукції в змінних магнітних полях.

Прилади та обладнання: соленоїд, знижувальний трансформатор, дві циліндричні котушки різного діаметра з різною кількістю витків, мілівольтметр.

Теоретичні відомості

Будь-який контур, по якому тече електричний струм, пронизується магнітним полем, створеним цим струмом. Якщо сила струму в контурі змінюється, то змінюється і магнітний потік, тому внаслідок явища електромагнітної індукції в контурі виникає ЕРС. Виникнення ЕРС в контурі при зміні сили струму в ньому називається самоіндукцією. Відповідно до **закону електромагнітної індукції** величина ЕРС індукції ε_i у контурі пропорційна і протилежна за знаком швидкості зміни магнітного потоку Φ_m крізь поверхню, обмежену контуром

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_m}{dt}.$$

За визначенням, **потік вектора магнітної індукції** (або **магнітний потік**) $\Delta\Phi$ через малу елементарну площу ΔS , яку можна вважати плоскою, і в околі якої магнітне поле можна вважати однорідним, дорівнює добутку вектора індукції на площу виділеного елемента поверхні і косинус кута між вектором індукції і нормаллю до поверхні:

$$\Delta\Phi = BS\cos\alpha.$$

За одиницю магнітного потоку в системі одиниць СІ прийнятий вебер (Вб). 1 Вб – це магнітний потік через поверхню площею 1 м^2 , розташовану в однорідному магнітному полі перпендикулярно вектору індукції \vec{B} , рівному по модулю 1 Тл: $1\text{ Вб} = 1\text{ Тл} \cdot 1\text{ м}^2$.

Магнітний потік, як і потік вектора напруженості електричного поля, можна вважати рівним числу магнітних силових ліній, які перетинають дану поверхню. Магнітне поле є вихровим, тобто його лінії магнітної індукції замкнені. Тому замкнута поверхня, вміщена в магнітне поле, пронизує лініями магнітної індукції так, що будь-яка лінія, що входить в цю поверхню, виходить з неї. Отже, повний магнітний потік через довільну замкнену поверхню дорівнює нулю. Це твердження носить назву **теорема Остроградського-Гаусса** для магнітних полів. Математично,

$$\oint_S \vec{B}d\vec{S} = 0$$

З теорема випливає, що:

1. В магнітному полі немає аналога електричного заряду, тобто немає

магнітних монополей (будь-яка частинка речовини має і північний полюс і південний і вони нероздільні).

2. Магнітні силові лінії замкнуті (не мають початку і кінця).

3. Кількість магнітних силових ліній, що втікають всередину замкнутої поверхні дорівнює кількості силових ліній, що витікають з неї.

Теорія методу

Для котушки, що містить N витків, розташованої в магнітному полі соленоїда, значення магнітного потоку Φ_m дорівнює сумі потоків Φ_{mi} пронизуючих її окремі витки

$$\Phi_m = \sum_{i=1}^N \Phi_{mi} = N\Phi_{m1}.$$

Магнітний потік крізь поверхню, обмежену одним витком контуру Φ_{m1} , дорівнює добутку проекції вектора \vec{B} на напрямок нормалі \vec{n} до площини витка $B_n = B \cos \alpha$ на величину площі цієї поверхні S :

$$\Phi_{m1} = B_n S.$$

Якщо витки котушки, поміщеної в середину соленоїда, перпендикулярні до його осі, то виконується умова $B_n = B$, де B – модуль вектора \vec{B} поля соленоїда, і виникаюча в котушці ЕРС дорівнює

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -N \frac{d\Phi_{m1}}{dt} = -NS \frac{dB}{dt}.$$

На осі довгого соленоїда в середній його частині індукція магнітного поля

$$B = \mu \mu_0 n I,$$

де μ_0 – магнітна постійна ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м);

μ – магнітна проникність середовища,

n – число витків, що припадають на одиницю довжини соленоїда,

I – сила струму, що протікає по витках соленоїда.

Тоді

$$\varepsilon_i = -NS \frac{dB}{dt} = -NS \mu \mu_0 n \frac{dI}{dt}.$$

Оскільки соленоїд живиться змінним струмом із частотою 50 Гц ($I = I_0 \cos \omega t = I_0 \cos 2\pi \nu t$, де I_0 – амплітудне значення струму), то

$$\frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} (I_0 \cos 2\pi \nu t) = -2\pi \nu I_0 \sin 2\pi \nu t$$

та

$$\varepsilon_i = N \cdot S \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot n \cdot 2\pi \cdot \nu \cdot I_0 \cdot \sin 2\pi \nu t.$$

Максимальне (амплітудне) значення ЕРС, індукованої в котушці, визначається формулою

$$\varepsilon_i^{\max} = N \cdot S \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot n \cdot 2\pi \cdot \nu \cdot I_0,$$

або

$$\varepsilon_i^{\max} = N \cdot S \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot n \cdot 2\pi\nu \cdot \frac{U_0}{R},$$

де U_0 – амплітудне значення напруги, що живить соленоїд.

R – опір витків соленоїда.

У даній лабораторній роботі матеріал котушки – дерево ($\mu = 1$), $\nu = 50$ Гц. Тоді розрахункова формула набуває вигляду:

$$\varepsilon_i^{\max} = 4 \cdot 10^{-4} NSn \frac{U_0}{R}. \quad (1)$$

Необхідно пам'ятати, що всі електровимірювальні прилади градууються за діючим чи ефективним значенням струму I_{ef} , напруги U_{ef} та ε_{ef} . Для гармонічних струмів існує зв'язок

$$I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}; \quad U_{ef} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}; \quad \varepsilon_{ef} = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{2}}.$$

Опис приладу

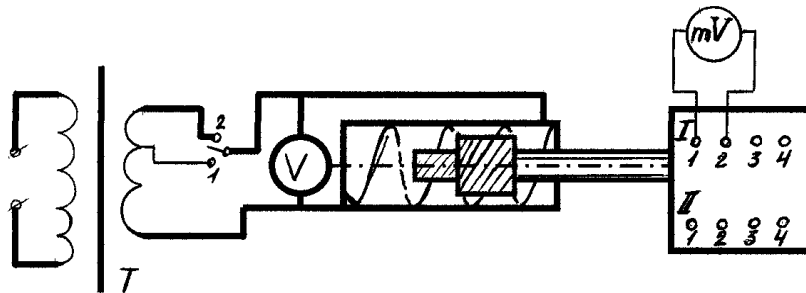


Рис. 242.1

Установка (рис. 242.1) включає в себе соленоїд, знижувальний трансформатор, дві циліндричні котушки різного діаметра з різною кількістю витків, вольтметр із великим входним опором та кількома межами вимірювання.

Порядок виконання роботи

1. Підключити схему живлення соленоїда в мережу 220 В (рис. 242.1).
2. Подати на соленоїд живлення напругою $U_0 = 24$ В (або 21,5 В).
3. Виміряти напругу між клемми: 1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4, 3-4 першої котушки ($d_1 = 44$ мм) і записати їх у таблицю.

Таблиця 242.1

$U_0 =$ ___ В	ε_b В	$\varepsilon_{i.об}$ В	ε_b В	$\varepsilon_{i.обч}$ В	ε_b В	$\varepsilon_{i.обч}$ В	ε_b В	$\varepsilon_{i.обч}$ В	ε_b В	$\varepsilon_{i.обч}$ В	ε_b В	$\varepsilon_{i.обч}$ В
$d_1 =$ ___ мм	$N_{1-2} =$		$N_{1-3} =$		$N_{1-4} =$		$N_{2-3} =$		$N_{2-4} =$		$N_{3-4} =$	
$d_2 =$ ___ мм	$N_{1-2} =$		$N_{1-3} =$		$N_{1-4} =$		$N_{2-3} =$		$N_{2-4} =$		$N_{3-4} =$	

4. Зробити такі ж виміри для другої котушки (діаметр $d_2 = 33$ мм) і записати в таблицю.

5. Обчислити площі витків ($S = \frac{\pi d^2}{4}$) у квадратних метрах. Опір соленоїда $R = 95$ Ом; $n = 3200$ витків/метр.

6. Обчислити $\varepsilon_{i.обч}$ за формулою (1) і результати записати в таблицю.

7. Порівняти експериментальні та обчислені значення величин електрорушійних сил.

8. Зробити висновок.

Контрольні питання

1. У чому полягає явище електромагнітної індукції? Наведіть приклади.

2. Сформулюйте основний закон електромагнітної індукції.

3. Що таке магнітний потік? Сформулюйте теорему Остроградського-Гаусса для магнітного поля.

4. Від яких величин залежить індукція магнітного поля в точці, що лежить на осі соленоїда? Як спрямований вектор індукції магнітного поля?

5. Довести, що електричне поле, збуджене змінним магнітним полем, є вихровим.

Лабораторна робота № 250
**ВИЗНАЧЕННЯ ІНДУКТИВНОСТІ КОТУШКИ МЕТОДОМ
ВОЛЬТ-АМПЕРМЕТРА**

Мета роботи: визначити індуктивність котушки методом вольтамперметра.

Прилади та обладнання: джерело струму, амперметр, вольтметр змінного струму, змінний опір, котушка індуктивності, омметр, ключ, залізне осердя.

Теоретичні відомості

Дослідним шляхом доведено, що при русі контуру в магнітному полі або при знаходженні нерухомого контуру в змінному за часом магнітному полі у контурі виникає електричний струм.

Струм, який виникає в замкненому контурі, вміщеному у змінне магнітне поле, називають **індукційним**, а саме явище виникнення струму в змінному магнітному полі – **електромагнітною індукцією**.

Явище електромагнітної індукції відкрив Фарадей. Воно полягає а тому, що в замкненому контурі при зміні магнітного потоку Φ , який проходить через площину, обмежену контуром, виникає ЕРС індукції ε_i . Дослідження індуктивного струму в контурах різної форми й розмірів дали змогу Фарадею сформулювати закон: *ЕРС електромагнітної індукції ε_i у контурі пропорційна швидкості зміни магнітного потоку Φ через поверхню, обмежену цим контуром:*

$$\varepsilon_i \sim \frac{d\Phi}{dt}.$$

Напрямок індукційного струму визначається за **законом (правилом) Ленца**. Згідно з цим правилом, *індукційний струм у замкненому провіднику завжди має такий напрям, що створюваний цим струмом власний магнітний потік протидіє тим змінам зовнішнього магнітного потоку, які збуджують індукційний струм.*

Закони Фарадея і Ленца можна об'єднати в **єдиний закон електромагнітної індукції**

$$\varepsilon_i \sim -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (1)$$

ЕРС індукції в замкненому контурі дорівнює швидкості зміни магнітного потоку через площу, обмежену контуром, і протилежна їй за знаком.

Знак « \rightarrow » у (1) показує, що ЕРС індукції напрямлена так, що магнітне поле індукційного струму перешкоджає зміні потоку магнітної індукції.

Самоіндукцією називають виникнення ЕРС індукції у провіднику, в якому змінюється сила струму. Магнітний потік самоіндукції, що перетинає поверхню, обмежену контуром зі струмом, пропорційний струму в контурі $\Phi = LI$, де L – **коефіцієнт самоіндукції**, або **індуктивність** контуру, що

залежить від форми контуру, його розмірів і відносної магнітної проникності середовища, в якому він знаходиться.

Одиницею індуктивності є *Генрі* (Гн) – індуктивність такого контуру, магнітний потік самоіндукції якого при струмі 1А становить 1 вебер (Вб): $1\text{Гн} = 1\text{Вб/А}$.

Виходячи з основного закону електромагнітної індукції, при зміні струму в контурі виникає **ЕРС самоіндукції**:

$$\varepsilon_{ci} = -L \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

Знак «-» у (2) означає, що при зростанні струму ЕРС самоіндукції напрямлена проти струму, і, навпаки, при зменшенні струму ЕРС самоіндукції підтримує струм, напрямлена по струму.

Вимірювання індуктивності котушки базуються на тому, що котушка має опір змінному струму Z :

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}, \quad (3)$$

де R – активний опір;

ωL – реактивний опір котушки змінному струму;

$\omega = 2\pi\nu$ – циклічна частота змінного струму.

Тоді з (3) дістанемо формулу для обчислення індуктивності котушки по вимірюваному значенню повного і активного опорів котушки змінному струму:

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi\nu}. \quad (4)$$

Опис приладу

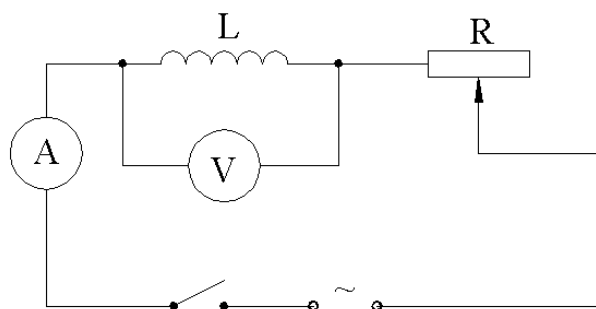


Рис. 250.1

Прилад складається з послідовно з'єднаних амперметра A , котушки індуктивності L , реостата R (рис. 250.1). Паралельно котушці ввімкнено вольтметр V , ключ K . Схема включається в мережу напругою 220 В.

Порядок виконання роботи

1. Ввімкнути прилад в мережу.
2. Записати в таблицю значення активного опору котушки індуктивності (вказане на котушці).

3. Замкнути ключем коло і виміряти силу струму та напругу для трьох різних значень опорів (значення опорів вказує викладач). Дані вимірювань записати до таблиці 250.1.

Таблиця 250.1

$$R_{акт} = \text{___ Ом}; (R_1 = \text{___ Ом}; R_2 = \text{___ Ом}; R_3 = \text{___ Ом})$$

№	Без осердя						З осердям					
	U, В	I, А	Z, Ом	L, Гн	ΔL , Гн	ε , %	U, В	I, А	Z, Ом	L, Гн	ΔL , Гн	ε , %
1												
2												
3												
Сер.												

4. Обчислити повний опір Z котушки $\left(Z = \frac{U}{I} \right)$ та її індуктивність за формулою (4).

5. Визначити похибки вимірювань індуктивності котушки.

6. Помістити залізне осердя в котушку, виконуючи пп. 3-4, визначити індуктивність котушки з осердям. Результати вимірювань і обчислень записати у таблицю.

Примітка. При виконанні роботи ключ K необхідно тримати розімкнутим, умикаючи тільки на момент вимірювань показів приладів, оскільки котушка при проходженні по ній струму нагрівається і її опір змінюється.

Контрольні запитання

1. У чому полягають явища електромагнітної індукції, самоіндукції?
2. Сформулюйте закон Фарадея–Ленца.
3. Який напрям індукційного струму?
4. Від яких величин залежить коефіцієнт самоіндукції? Які одиниці його вимірювання?
5. Від яких величин залежить індуктивний опір?

ДОДАТОК І. Таблиця питомих опорів деяких провідників при температурі 20⁰С

Речовина	Питомий опір, Ом·м	Речовина	Питомий опір, Ом·м
Алюміній	$2,8 \cdot 10^{-8}$	Ніхром	$1,12 \cdot 10^{-6}$
Вольфрам	$5,5 \cdot 10^{-8}$	Олово	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Графіт	$8,0 \cdot 10^{-6}$	Платина	$1,07 \cdot 10^{-7}$
Залізо	$1,0 \cdot 10^{-7}$	Ртуть	$9,6 \cdot 10^{-7}$
Золото	$2,2 \cdot 10^{-8}$	Свинець	$2,08 \cdot 10^{-7}$
Іридій	$4,74 \cdot 10^{-8}$	Сірий чугун	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Магній	$4,4 \cdot 10^{-8}$	Срібло	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Мідь	$1,78 \cdot 10^{-8}$	Сталь	$1,3 \cdot 10^{-7}$
Молібден	$5,4 \cdot 10^{-8}$	Цинк	$5,9 \cdot 10^{-8}$
Нікель	$8,7 \cdot 10^{-8}$		

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	3
Лабораторна робота № 201.	
ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ	4
Лабораторна робота № 221.	
ДОСЛІДЕННЯ КОРИСНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ККД СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ	8
Лабораторна робота № 222.	
ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ОПОРУ ПРОВІДНИКІВ МЕТОДОМ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ	12
Лабораторна робота № 230.	
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРЬОХЕЛЕКТРОДНОЇ ЛАМПИ	18
Лабораторна робота № 240.	
ВИЗНАЧЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ	22
Лабораторна робота № 242.	
ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ В ЗМІННИХ МАГНІТНИХ ПОЛЯХ	26
Лабораторна робота № 250.	
ВИЗНАЧЕННЯ ІНДУКТИВНОСТІ КОТУШКИ МЕТОДОМ ВОЛЬТ-АМПЕРМЕТРА	30
ДОДАТОК І	33