

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Фізика”

для студентів спеціальностей

192 - “Будівництво та цивільна інженерія”,

193 - “Геодезія та землеустрій”

усіх форм навчання

Частина 2

Обговорено і рекомендовано
на засіданні кафедри
промислового і цивільного
будівництва
Протокол №9 від 23.03.2018 р.

Чернігів ЧНТУ 2018

Електрика і магнетизм. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Фізика” для студентів спеціальностей 192 – “Будівництво та цивільна інженерія”, 193 – “Геодезія та землеустрій” усіх форм навчання. Частина 2 / Укл. : Ситников О.П. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – 34 с.

Укладач: Ситников Олександр Павлович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри промислового і цивільного будівництва

Відповідальний за випуск: Савченко Олена Віталіївна, завідувач кафедри промислового і цивільного будівництва, кандидат технічних наук, професор

Рецензент: Завацький Сергій Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри промислового і цивільного будівництва Чернігівського національного технологічного університету

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ІНСТРУКЦІЯ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ ФІЗИКИ.....	5
2. Лабораторна робота № 7 РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРЮВАННЯ АМПЕРМЕТРА І ВОЛЬТМЕТРА	6
3. Лабораторна робота № 8 ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ПРОВІДНИКІВ МІСТКОМ УІТСТОНА	10
4. Лабораторна робота № 9 ВИЗНАЧЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ.....	13
5. Лабораторна робота № 10 ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОНА МЕТОДОМ МАГНЕТРОНА	18
6. Лабораторна робота № 11 ЗАКОН ОМА І ЗСУВ ФАЗ МІЖ СТРУМОМ ТА НАПРУГОЮ В КОЛІ ЗМІННОГО СТРУМУ	23
7. Лабораторна робота № 12 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТУХАЮЧИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КОЛИВАНЬ у КОЛИВАЛЬНОМУ КОНТУРІ.....	27
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	34

ВСТУП

Дисципліна «Фізика» є нормативною і належить до циклу науково-природничої та професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр” галузі знань 19 – “Архітектура та будівництво” напрямів підготовки 192 – “Будівництво та цивільна інженерія”, 193 – “Геодезія та землеустрій”.

Предметом вивчення дисципліни є найбільш загальні закономірності явищ природи, властивості та будова матерії і закони її руху.

Відповідно до вимог кваліфікаційної характеристики фахівця з означеної галузі знань «Фізика» є базовою для вивчення таких дисциплін, як «Теоретична механіка», «Опір матеріалів», «Електротехніка в будівництві», «Будівельна механіка», «Радіоелектроніка», «Геодезичні прилади», «Метрологія і стандартизація». Набуті знання та вміння застосовуються під час вивчення спеціальних дисциплін.

Обов'язковою умовою викладання дисципліни є проведення лабораторного практикуму з використанням сучасного обладнання.

Метою викладання навчальної дисципліни «Фізика» є формування у майбутніх фахівців знань, що стосуються фундаментальних законів, за якими відбуваються процеси і явища навколишнього світу та теоретичної бази для вивчення спеціальних дисциплін.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Фізика» є теоретична та практична підготовка студентів з розділів: фізичні основи механіки, молекулярна фізика і термодинаміка, електрика і магнетизм, коливання і хвилі, оптика, атомна та ядерна фізика.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні

знати:

- 1) методи і засоби фізичних вимірювань;
- 2) визначення та одиниці виміру фізичних величин;
- 3) фізичні явища;
- 4) закони фізики;

вміти:

1) використовуючи фізичні основи механіки, електрики та магнетизму, хвильових процесів, термодинаміки, оптики, атомної та ядерної фізики, давати фізичну оцінку явищ та процесів під час розв'язку прикладних задач;

2) на основі випробувань і вимірювань, використовуючи відповідні методики, давати фізичну оцінку геодезичним та геоінформаційним задачам;

3) в умовах професійної діяльності працювати з електровимірювальними, оптичними, радіологічними приладами та розуміти принцип їх дії.

1. ІНСТРУКЦІЯ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ ФІЗИКИ

1. На робочих столах підведена напруга змінного струму 220 В. Тому до роботи в лабораторії допускаються лише студенти, які вивчили інструкцію з правил техніки безпеки. Вивчивши зміст інструкції, студент ставить підпис в журналі інструктажу з техніки безпеки і несе повну відповідальність за її виконання.

2. Перед тим, як приступити до виконання роботи, ретельно вивчить її зміст, продумайте хід її виконання.

3. Збирати і розбирати електричне коло, вмикати додаткові прилади або замінювати їх можна лише при вимкненій напрузі.

4. Усі вимірювальні прилади, а також пристрої керування необхідно розмістити так, щоб можна було зручно спостерігати за їх роботою і керувати ними, щоб не перегинатись через провідники і прилади.

5. Під час складання електричного кола слідкуйте, щоб з'єднання провідників з клемми були міцними.

6. Якщо в схемі є послідовно і паралельно сполучені прилади, то, збираючи коло, рекомендується сполучити в першу чергу ті, що потребують послідовного з'єднання. Перевіривши правильність цього з'єднання, приступають до паралельного.

7. Якщо електровимірювальний прилад має декілька меж вимірювання, то його вмикання слід починати з найбільшої.

8. Збираючи електричні кола, реостат слід ставити на найбільший опір. Потенціометр джерела живлення треба встановити так, щоб напруга на клеммах під час вмикання джерела дорівнювала нулю.

9. Вмикати електричну напругу і розпочинати виконання лабораторної роботи можна лише з дозволу викладача після перевірки електричного кола.

10. Виконуйте спостереження і вимірювання обережно, щоб не доторкнутись до оголених провідників.

11. Під час вимірювання струм в колі слід вмикати тільки на той проміжок часу, протягом якого робиться відлік на приладах.

12. Забороняється лишати без нагляду електричне коло під напругою.

13. Виконуючи лабораторну роботу, студенти мають справу з обладнанням і приладами, в яких проходить електричний струм. Слід пам'ятати, що легковажність, неакуратність в користуванні ними, а також неправильні з'єднання в електричному колі можуть викликати коротке замикання, що приводить до враження електричним струмом, виводу із ладу апаратури.

2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

2.1. РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ВИМІРЮВАННЯ АМПЕРМЕТРА І ВОЛЬТМЕТРА

Для вимірювання сили струму в колі використовують амперметри, які вмикають у коло послідовно, а для вимірювання різниці потенціалів – вольтметри, які вмикають паралельно до досліджуваної ділянки кола. Незважаючи на те, що амперметри і вольтметри вимірюють різні величини і неоднаково вмикаються в коло, принципової різниці в будові цих приладів немає: відхилення рухомої частини приладу обумовлено проходженням електричного струму через котушку, яка має певний опір (за винятком приладів електростатичної системи). Опір котушки називають *внутрішнім опором* приладу. Включення вимірювального приладу в коло завжди призводить до певного перерозподілу струмів та напруг. Щоб цей перерозподіл зробити менш помітним, внутрішній опір амперметра мусить бути малим, а опір вольтметра – великим у порівнянні з опором досліджуваного кола або його ділянки.

Часто необхідно розширювати межі вимірювання амперметра або вольтметра, коли вимірюваний струм або напруга перевищують у n разів значення, на які розраховані прилади. Розширення меж вимірювання амперметра досягається вмиканням паралельно до амперметра *шунта* $R_{ш}$. Розрахунок опору шунта виконується за формулою:

$$R_{ш} = \frac{R_0}{n-1}, \quad (2.1)$$

де R_0 – внутрішній опір амперметра; n – число, яке показує, в скільки разів повинна бути розширена верхня межа вимірювання сили струму (коефіцієнт розширення шкали).

Розширення меж вимірювання вольтметра досягається вмиканням послідовно до вольтметра *додаткового опору* R_d . Розрахунок додаткового опору виконується за формулою:

$$R_d = R_0(n-1), \quad (2.2)$$

де R_0 – внутрішній опір вольтметра; n – число, яке показує, в скільки разів повинна бути розширена межа вимірювання напруги.

Під час проходження струму через амперметр стрілка приладу відхиляється на N поділок і сила струму обчислюється за формулою:

$$I = CN, \quad \text{де } C = \frac{I_0}{N_0}. \quad (2.3)$$

У цих формулах C – ціна поділки приладу, яка дорівнює значенню сили струму при відхиленні стрілки на одну поділку шкали; I_0 – верхня межа вимірювання амперметра, яка дорівнює силі струму при відхиленні стрілки до максимальної поділки шкали приладу; N_0 – максимальна кількість поділок шкали. Ціна поділки зашунтованого приладу в n разів більша за C :

$$C' = nC. \quad (2.4)$$

Тоді значення сили струму в колі можна визначити:

$$I' = C'N = nI, \quad (2.5)$$

де $I = CN$ – сила струму, яку показує амперметр.

Для вольтметра з розширеними межами вимірювання ціна поділки дорівнює:

$$C' = nC, \quad \text{де} \quad C = \frac{U_0}{N_0}, \quad (2.6)$$

U_0 – верхня межа вимірювання вольтметра, N_0 – максимальна кількість поділок шкали.

Тоді спад напруги на будь-якому опорі можна розрахувати за формулою:

$$U' = C'N = nU, \quad (2.7)$$

де $U = CN$ – напруга, яку показує вольтметр.

Мета роботи: освоїти методику розширення меж вимірювання амперметра і вольтметра.

Прилади: міліамперметр-мілівольтметр типу М-252 з внутрішнім опором $R_0 = 10$ Ом, джерело постійного струму Б5-29, зразковий амперметр типу М1104, зразковий вольтметр типу В-1500/5, два магазини опорів типу Р33.

2.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

2.2.1. Зібрати електричне коло за схемою (рис. 2.1). На магазині опорів R встановити захисний опір $R = 200$ Ом. На рис. 2.1 mA_0 – міліамперметр, межі якого треба розширити, A – зразковий амперметр.

2.2.2. У межах $2 \leq n \leq 21$ вибрати кілька значень коефіцієнта розширення шкали n і за формулою (2.1) розрахувати опір шунта $R_{ш}$. Установити на магазині опорів Р33 розраховане значення опору шунта. Увімкнути перемикачем “СЕТЬ” джерело струму Б5-29 і його потенціометром встановити відхилення N стрілки приладів у правій частині шкали. На зразковому амперметрі вимірювання слід починати з верхньої межі $I_0 = 150$ mA. Зробити

розрахунки за формулами (2.3) – (2.5) і визначити відхилення шуканої сили струму від значення, одержаного за допомогою зразкового амперметра в міліамперах: $\Delta I = |I_{зр} - I'|$ (mA) і у відсотках: $\frac{\Delta I}{I_{зр}}$ (%).

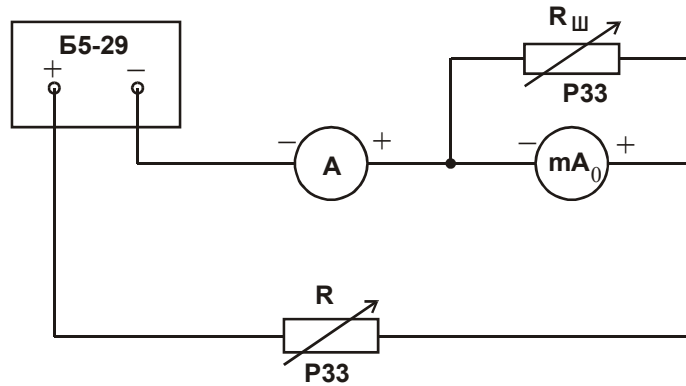


Рис. 2.1. Схема електричного кола для розширення меж вимірювання амперметра

Одержані результати занести до таблиці:

№ виміру	n	$R_{ш},$ Ом	$N,$ под.	$C,$ $\frac{mA}{под}$	$I,$ mA	$C',$ $\frac{mA}{под}$	$I',$ mA	$I_{зр},$ mA	$\Delta I,$ mA	$\frac{\Delta I}{I_{зр}}, \%$
1										
2										

2.2.3. Вимкнути джерело струму Б5-29 і його потенціометр встановити в ліве крайнє положення.

2.2.4. Зібрати електричне коло за схемою (рис. 2.2). На магазині опорів R встановити захисний опір $R = 200$ Ом.

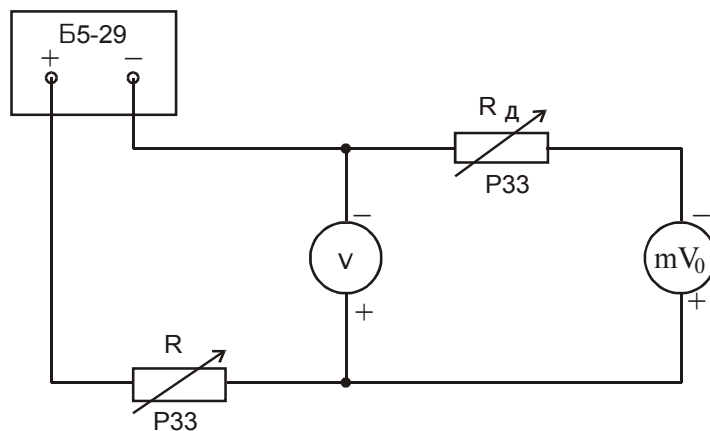


Рис. 2.2. Схема електричного кола для розширення меж вимірювання вольтметра

2.2.5. У межах $81 \leq n \leq 201$ вибрати кілька значень коефіцієнта розширення шкали n і за формулою (2.2) розрахувати додатковий опір R_d . Установити на магазині опорів P33 розраховане значення додаткового опору. Потенціометром джерела Б5-29 встановити відхилення N стрілки приладів у правій частині шкали. На зразковому вольтметрі усі вимірювання виконати для верхньої межі $U_0 = 1,5\text{В}$. Зробити розрахунки за формулами (2.6) – (2.7) і визначити відхилення шуканої напруги від значення, одержаного за допомогою зразкового вольтметра в мілівольтах: $\Delta U = |U_{зр} - U'|$ (mВ) і у відсотках: $\frac{\Delta U}{U_{зр}}$

(%). Одержані результати занести до таблиці:

№ виміру	n	R_d , Ом	N , под.	C , $\frac{\text{mВ}}{\text{под}}$	U , mВ	C' , $\frac{\text{mВ}}{\text{под}}$	U' , mВ	$U_{зр}$, mВ	ΔU , mВ	$\frac{\Delta U}{U_{зр}}$, %
1										
2										

2.2.6. Вимкнути джерело струму Б5-29 і його потенціометр встановити в ліве крайнє положення.

2.2.7. Проаналізувати одержані результати. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Як вмикаються в електричне коло амперметри і вольтметри?
2. Що таке ціна поділки і як її можна змінити на шкалі амперметра, вольтметра?
3. Записати формулу для розрахунку опору шунта.
4. Записати формулу для розрахунку додаткового опору.
5. Що називають класом точності електровимірювального приладу?
6. Навести приклад обчислення абсолютної похибки амперметра, вольтметра за класом точності.
7. Чому вимірювання за допомогою приладів є більш точними під час відхилення стрілки саме в праву частину шкали?
8. Чому амперметр не можна приєднувати до джерела струму без споживача?

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

3.1. ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ПРОВІДНИКІВ МІСТКОМ УЇТСТОНА

Класичним методом вимірювання опору провідників є метод містка постійного струму. На рис. 3.1 зображено схему найпростішого містка, який називається *містком Уїтстона*.

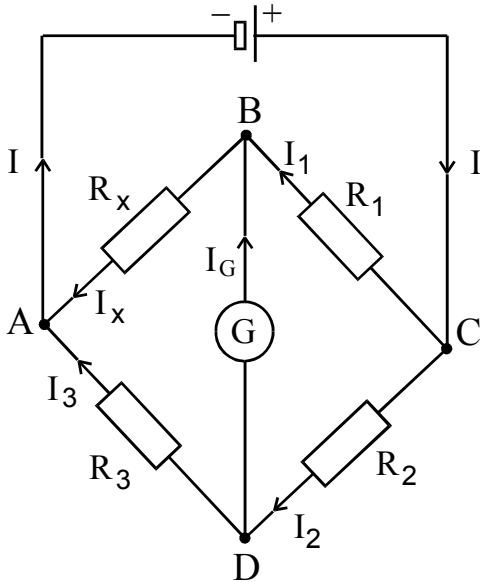


Рис. 3.1. Схема містка Уїтстона

Чотириплечний контур $ABCD$ містить провідники з опорами R_1, R_2, R_3 , і R_x , які утворюють так звані плечі містка. Протилежні вершини чотирикутника з'єднують діагоналями, до однієї з яких приєднано гальванометр, до другої – джерело постійного струму.

Застосовуючи друге правило Кірхгофа до простих контурів $BADB$ і $BDCB$ (обхід проти годинникової стрілки), одержимо рівняння:

$$\begin{cases} I_x R_x + I_G R_G - I_3 R_3 = 0, \\ I_1 R_1 - I_2 R_2 - I_G R_G = 0. \end{cases} \quad (3.1)$$

Застосовуючи до вузлів B і D перше правило Кірхгофа, одержимо рівняння:

$$\begin{cases} I_x = I_G + I_1, \\ I_2 = I_G + I_3. \end{cases} \quad (3.2)$$

Якщо струм через гальванометр не проходить ($I_G = 0$), то рівняння систем (3.1) та (3.2) набудуть вигляду:

$$\begin{cases} I_x R_x = I_3 R_3, \\ I_1 R_1 = I_2 R_2. \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\begin{cases} I_x = I_1, \\ I_2 = I_3. \end{cases} \quad (3.4)$$

З розв'язку систем (3.3) та (3.4) маємо:

$$R_x R_2 = R_1 R_3. \quad (3.5)$$

Співвідношення (3.5) відповідає *умові рівноваги* містка. Таким чином, рівновага містка настає тоді, коли добутки опорів протилежно взятих плечей дорівнює одне одному.

Розглянута схема дозволяє визначити невідомий опір провідника R_x , коли опори інших провідників R_1, R_2, R_3 – відомі:

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}. \quad (3.6)$$

Ділянка BC з опором R_1 називається **плечем порівняння**, а ділянки з опорами R_2 і R_3 – **плечами відношення**. Розглянутий місток Уїтстона називають магазинним, якщо опори R_1, R_2, R_3 встановлюються за допомогою магазинів опорів. Для зрівноважування містка ретельне регулювання виконується лише в плечі порівняння за умови, що $R_3 = R_2$.

Мета роботи: ознайомитися з містковим методом вимірювання опору провідників;

експериментально перевірити формули розрахунку опору послідовного і паралельного з'єднання провідників.

Прилади: джерело постійного струму Б5-47; два магазини опорів типу Р34; два магазини опорів типу Р33; нуль-гальванометр типу М122; набір шуканих опорів; захисний опір гальванометра $R_5 = 10$ кОм, вимикач.

3.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

3.2.1. Зібрати електричне коло за схемою (рис. 3.2), приєднавши до клем " R_x " один із досліджуваних провідників. Вимикач S розімкнутий.

3.2.2. Встановити однаковий опір плечей відношення $R_2 = R_3$. Встановити опір $R_4 = 90000$ Ом.

3.2.3. Увімкнути джерело струму і потенціометром джерела встановити напругу $U = 1$ В.

3.2.4. Замкнути вимикач S . Зменшуючи або збільшуючи опір плеча порівняння, домогтися, щоб струм через гальванометр не проходив (стрілка показує на 0). Зменшити опір R_4 до нуля і більш точно встановити стрілку гальванометра на нуль. При цьому чутливість гальванометра зростає, що дає можливість більш точно визначити шуканий опір. Якщо $R_2 = R_3$, то $R_x = R_1$.

3.2.5. Вимикач S розімкнути, вимкнути джерело струму і приєднати до клем " R_x " інший провідник. Виконати п. 2, 3. Результати занести до таблиці.

3.2.6. Виконати п. 2, 3, 4 для послідовного з'єднання провідників і визначити $R_{x(посл)}$.

3.2.7. Виконати п. 2, 3, 4 для паралельного з'єднання провідників і визначити $R_{x(пар)}$.

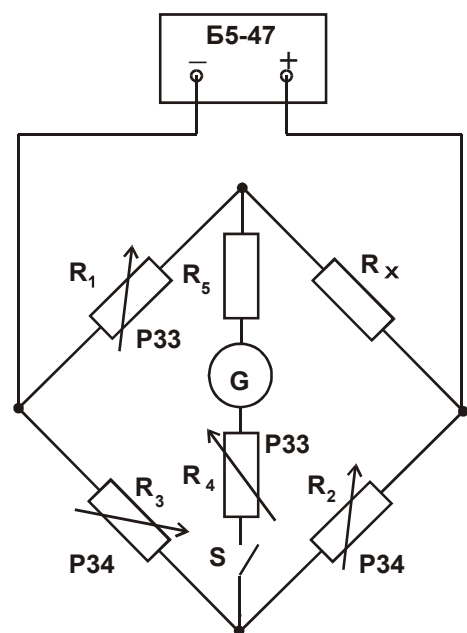


Рис. 3.2. Схема електричного кола для визначення опору провідника

Для кожного виміру оцінити систематичну відносну та абсолютну похибки. Систематична відносна похибка вимірювання опорів R_1, R_2, R_3 під час використання магазину опорів розраховується за допомогою формули:

$$\frac{\Delta R_i}{R_i}(\%) = \gamma + 6 \cdot 10^{-6} \left(\frac{R_{\max}}{R} - 1 \right),$$

де $i = 1, 2, 3$; γ – клас точності магазину опорів; R – значення встановленого на магазині опору плеча порівняння; R_{\max} – максимальний опір магазину (для магазину типу Р33 $R_{\max} = 99999,9$ Ом; для магазину типу Р34 $R_{\max} = 900$ Ом).

3.2.8. Розрахувати за теоретичними формулами $R'_{x(\text{посл})}$ і $R'_{x(\text{пар})}$, використовуючи для цього одержані за допомогою містка значення опору провідників із урахуванням абсолютної похибки.

3.2.9. Проаналізувати одержані результати, зробити висновки.

	експеримент				теор. розрахунок	
	$R_2 = R_3, \text{ Ом}$	$R_x, \text{ Ом}$	$\frac{\Delta R_x}{R_x}, \%$	$\Delta R_x, \text{ Ом}$	$R'_x, \text{ Ом}$	
					min	max
$R_{x()}$						
$R_{x()}$						
$R_{x(\text{посл})}$						
$R_{x(\text{пар})}$						

Контрольні запитання

1. Що являє собою місток Уїтстона?
2. Записати умову рівноваги містка Уїтстона.
3. Як пояснити опір провідника електричному струму?
4. Від яких факторів залежить опір провідника?
5. Записати закон Ома для ділянки і повного кола.
6. Сформулювати правила Кірхгофа.

4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

4.1. ВИЗНАЧЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ

Земля має власне *магнітне поле*, яке в першому наближенні можна уявити як поле однорідно намагніченої кулі з полюсами, розташованими поблизу географічних полюсів (рис. 4.1). Походження магнітного поля Землі

пов'язують із конвекційними потоками електропровідної рідкої речовини в земному ядрі під час обертання Землі навколо своєї осі. З інших планет, крім Землі, лише Сатурн і Юпітер мають власне магнітне поле.

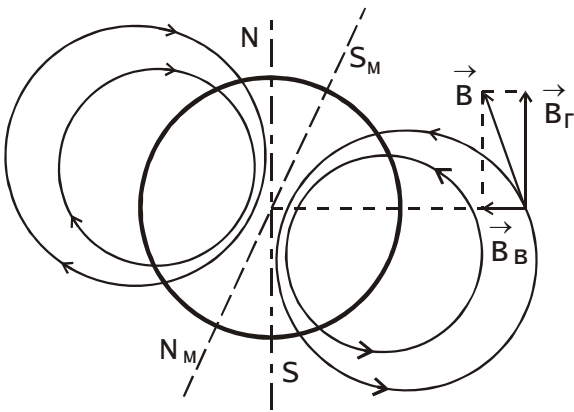


Рис. 4.1. Модель магнітного поля Землі

Південний магнітний полюс Землі знаходиться за кілька сот кілометрів від берегів Північної Америки, *північний* магнітний полюс знаходиться в Антарктиді. Магнітні полюси з часом дрейфують. Через точки, що розташовані на половині віддалі між магнітними полюсами, проходить *магнітний екватор*.

Існування магнітного поля Землі безпосередньо підтверджується відхиленням *магнітної стрілки* при її вільному підвісі. При цьому вона встановлюється в напрямі дотичної до лінії індукції магнітного поля Землі. Середнє значення індукції \vec{B} магнітного поля біля поверхні Землі дорівнює $5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Внаслідок незбігання магнітних і географічних полюсів між площиною *магнітного меридіана* (в цій площині встановлюється магнітна стрілка) і площиною географічного меридіана завжди для будь-якого місця на Землі існує певний кут φ , який називається *кутом схилення*. Крім точок магнітного екватора магнітна стрілка встановлюється не горизонтально до поверхні Землі, а під деяким кутом, який називають *кутом нахилу* Θ (рис. 4.2).

Повну індукцію магнітного поля Землі в будь-якій точці магнітосфери можна подати як векторну суму *вертикальної* (\vec{B}_V) і *горизонтальної* (\vec{B}_H) складових:

$$\vec{B} = \vec{B}_V + \vec{B}_H, \quad (4.1)$$

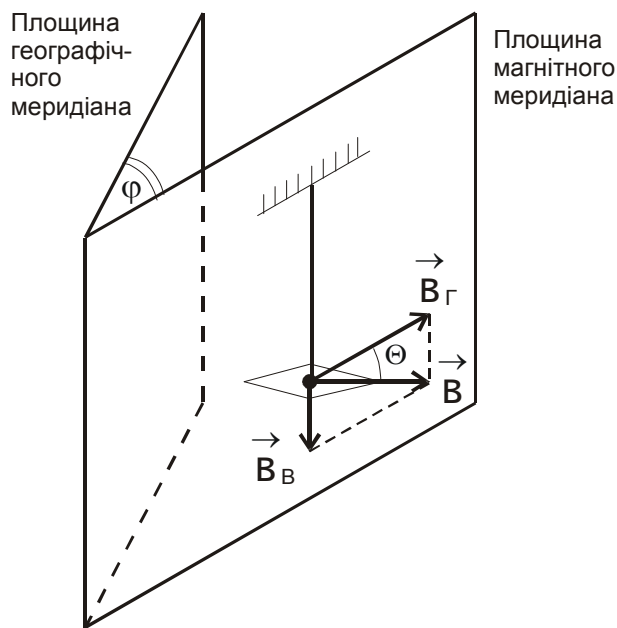


Рис. 4.2. Розташування магнітної стрілки в магнітному полі Землі

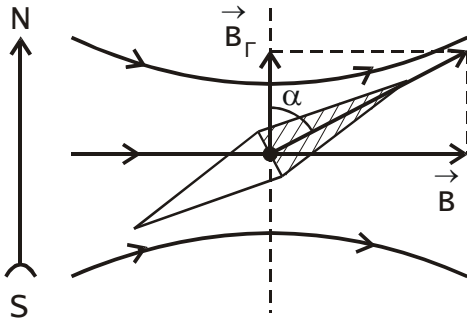
де вертикальна складова \vec{B}_v напрямлена до центру Землі; горизонтальна складова \vec{B}_r лежить в горизонтальній площині (рис. 4.2). На магнітних полюсах кут нахилу $\Theta = \pm 90^\circ$, тому повна індукція і вертикальна складова магнітного поля мають однакові значення – магнітна стрілка встановлюється у вертикальному положенні. На магнітному екваторі $\Theta = 0^\circ$, тому повна індукція і горизонтальна складова дорівнюють одна одній – магнітна стрілка встановлюється в горизонтальному положенні. Якщо відомі горизонтальна складова і кут нахилу, то завжди можна знайти вертикальну складову:

$$B_v = B_r \cdot \operatorname{tg} \Theta. \quad (4.2)$$

Горизонтальна складова B_r , кут схилення φ і кут нахилу Θ є **основними параметрами** магнітного поля Землі. Усі вони зазнають періодичних коливань із добовим і річним ходом, а також вікових коливань. Відхилення в розподілі параметрів земного магнетизму на певній ділянці земної поверхні від деякого середнього теоретичного розподілу, прийнятого за нормальний, називається **магнітною аномалією**.

Кут нахилу визначають за допомогою **інклінометра**, який являє собою магнітну стрілку, що вільно обертається навколо горизонтальної осі. Значення горизонтальної складової \vec{B}_r визначають за допомогою приладу, який називається **тангенс-гальванометром**. Він складається з колової рамки, розміщеної вертикально в площині магнітного меридіана. У центрі рамки на вертикальній осі закріплено невелику магнітну стрілку, яка може вільно обертатись тільки в горизонтальній площині.

Під час пропускання струму через рамку магнітна стрілка зазнає дії двох магнітних полів, а саме – магнітного поля Землі (йдеться про горизонтальну складову \vec{B}_r , оскільки вертикальна складова \vec{B}_v врівноважується реакцією опори стрілки) і магнітного поля струму з індукцією B , що проходить через рамку тангенс-гальванометра. Під дією цих полів магнітна стрілка встановлюється остаточно в певному напрямі під кутом α до напрямку горизонтальної складової \vec{B}_r (рис. 4.3), який визначається співвідношенням:



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B}{B_r}. \quad (4.3)$$

Індукція магнітного поля в центрі колового струму дорівнює:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2R}, \quad (4.4)$$

Рис. 4.3. Магнітна стрілка в магнітному полі Землі і в магнітному полі колового провідника із струмом

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ – магнітна стала, I – сила струму, N – кількість витків рамки, R – радіус рамки.

Використовуючи формули (4.3) і (4.4), одержимо:

$$B_r = \frac{B}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2R \operatorname{tg} \alpha} = \frac{2\pi \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot N}{R \operatorname{tg} \alpha}. \quad (4.5)$$

Метод дає найбільшу точність для $\alpha = 45^\circ$ ($\operatorname{tg} 45^\circ = 1$).

Тоді $B_r = B$, тобто

$$B_r = \frac{2\pi \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot N}{R}. \quad (4.6)$$

Мета роботи: ознайомитися з основними кількісними характеристиками магнітного поля Землі й способами їх вимірювання;

визначити горизонтальну складову індукції магнітного поля Землі в місці розташування лабораторії.

Прилади: тангенс-гальванометр, джерело постійного струму ЛІПС П-10, амперметр типу М1104, реостат, двополюсний перемикач.

4.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

4.2.1. Зібрати електричне коло за схемою (рис. 4.4).

4.2.2. Повертаючи підставку тангенс-гальванометра, встановити рамку в площині магнітного меридіана. При цьому один із полюсів магнітної стрілки знаходиться проти нульової поділки шкали. Вивести повзунок реостата на максимальний опір. Перемикач S замкнути в положення 1-1.

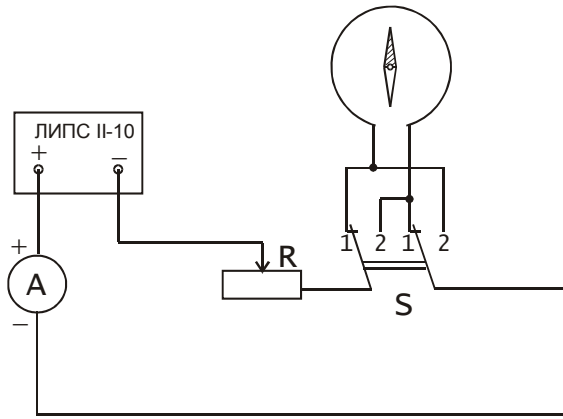


Рис. 4.4. Схема електричного кола для визначення горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі

4.2.3. Увімкнути джерело струму ЛІПС II-10 та, збільшуючи напругу його потенціометром, домогтися, щоб стрілка повернулась на кут 45° . Більш точно кут відхилення встановити повзунком реостата R . Зафіксувати значення сили струму I' . Одержані дані занести до таблиці.

4.2.4. Для зміни напрямку струму замкнути перемикач S у положення 2-2. Регулюючи напругу, знову домогтися, щоб стрілка повернулась на кут 45° в іншому секторі шкали. Зафіксувати значення струму I'' . Одержані дані занести до таблиці.

4.2.5. Всього зробити по три виміри сили струму під час відхилення стрілки на кут 45° в лівому та правому секторі шкали. Горизонтальну складову B_r магнітної індукції розрахувати за формулою (4.6). Оцінити випадкову, систематичну, повну відносні похибки та абсолютну похибку. Вважати відносну похибку вимірювання радіуса витків тангенс-гальванометра рівною $0,23\%$.

4.2.6. Проаналізувати одержані результати, зробити висновки.

№ виміру	α , град	N	R , м	I'		I''		B_r , Тл	ΔB_r , Тл	$\left(\frac{\Delta B_r}{B_r}\right)_{\text{вип}}$, %	$\left(\frac{\Delta B_r}{B_r}\right)_{\text{сист}}$, %	$\left(\frac{\Delta B_r}{B_r}\right)_{\text{пов}}$, %		
				под	А	под	А							
1	45	5	0,107			—	—							
2				—	—									
3						—	—							
4				—	—									
5						—	—							
6				—	—									
сер.														

Контрольні запитання

1. Дати означення індукції магнітного поля.
2. Яка природа магнітного поля Землі?
3. Які характеристики є основними параметрами земного магнетизму?
4. Чому дорівнює кут нахилу на геомагнітному екваторі та геомагнітному полюсі?
5. Записати закон Біо-Савара-Лапласа.
6. Для чого змінюють напрям електричного струму під час визначення кута відхилення магнітної стрілки?
7. Де знаходиться північний та південний магнітні полюси Землі?

5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

5.1. ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОНА МЕТОДОМ МАГНЕТРОНА

Магнетроном називають двохелектродну електронну лампу, струм в якій регулюється зовнішнім магнітним полем. Двохелектродна лампа являє собою скляний вакуумний балон, усередині якого нитка розжарення (катод) розташована вздовж осі циліндричного анода (рис. 5.1). При цьому електричне поле між катодом та анодом має радіальний напрям.

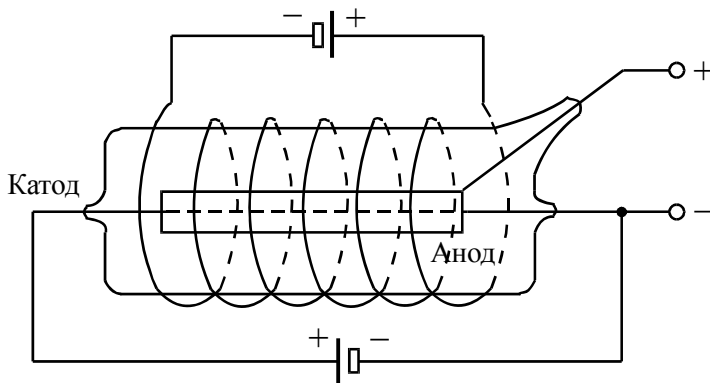


Рис. 5.1. Будова магнетрона

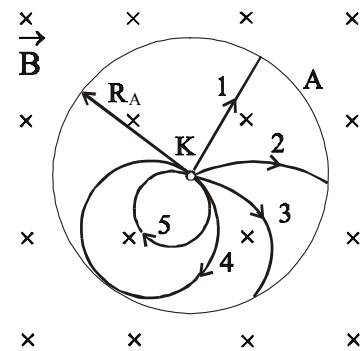


Рис. 5.2. Траєкторії електронів у магнетроні

Електричний струм у котушці, яка охоплює лампу, створює всередині лампи й поза нею магнітне поле. При відсутності магнітного поля електрони, що вилітають із катода завдяки явищу термоелектронної емісії, під дією електричного поля рухаються по радіусах до анода (траєкторія 1 на рис. 5.2).

У магнітному полі електрони під дією сили Лоренца відхилятимуться від прямолінійної траєкторії руху (траєкторії 2-5 на рис. 5.2). З підсиленням магнітного поля зростає кривизна траєкторії електронів. Для деякого критичного значення індукції магнітного поля $\vec{B}_{кр}$ траєкторії викривляються так, що електрони повертатимуться назад до катода (траєкторія 4 на рис. 5.2), а це призводить до зменшення сили струму в лампі. Таким чином, за допомогою зовнішнього магнітного поля можна регулювати силу струму в магнетроні.

На електрон, що рухається зі швидкістю \vec{v} в магнітному полі з індукцією \vec{B} , діє *сила Лоренца*: $\vec{F}_л = e \left[\vec{v} \times \vec{B} \right]$ або $F_л = evB \sin \alpha$, де e – заряд електрона,

α – кут між напрямом швидкості електрона \vec{v} і вектором індукції магнітного поля \vec{B} . Якщо $\vec{v} \perp \vec{B}$, то $\sin \alpha = 1$ і силу Лоренца можна розрахувати за формулою:

$$F_{\perp} = e\upsilon B.$$

Оскільки вектор сили Лоренца \vec{F}_{\perp} завжди перпендикулярний до вектора швидкості руху електрона $\vec{\upsilon}$, то вона роботи не виконує і значення швидкості електрона не змінює. Сила Лоренца змінює лише напрям швидкості електрона й змушує електрон описувати криволінійні траєкторії, тобто вона відіграє роль доцентрової сили:

$$e\upsilon B = \frac{m\upsilon^2}{r}, \quad (5.1)$$

де m – маса електрона, r – радіус кривизни траєкторії електронів у магнітному полі.

Якщо $B = B_{\text{кр}}$, то траєкторією електронів є коло радіусом $r = \frac{R_A}{2}$, де R_A – радіус анода (траєкторія 4 на рис. 5.2). Тоді з формули (5.1) знайдемо питомий заряд електрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{2\upsilon}{B_{\text{кр}} R_A}. \quad (5.2)$$

Робота по переміщенню електронів силами електричного поля $A = eU_A$, де U_A – різниця потенціалів між катодом і анодом. За законом збереження енергії ця робота йде на збільшення кінетичної енергії електронів:

$$eU_A = \frac{m\upsilon^2}{2}. \quad \text{Звідки} \quad \upsilon = \sqrt{\frac{2eU_A}{m}}. \quad (5.3)$$

Із співвідношень (5.2) та (5.3) одержимо формулу для розрахунку значення питомого заряду електрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_A}{B_{\text{кр}}^2 R_A^2}. \quad (5.4)$$

Залежність сили анодного струму I_A від індукції магнітного поля \vec{B} при сталому струмі розжарення катода та сталій анодній напрузі, називається **скидною характеристикою** магнетрона, яка в ідеальному випадку має вигляд штрихової лінії 1 (рис. 5.3).

Внаслідок того, що електрони під час руху від катода до анода, мають різні швидкості, зменшення анодного струму відбувається поступово і практично одержувані скидні характеристики зображуються кривою 2 на рис. 5.3.

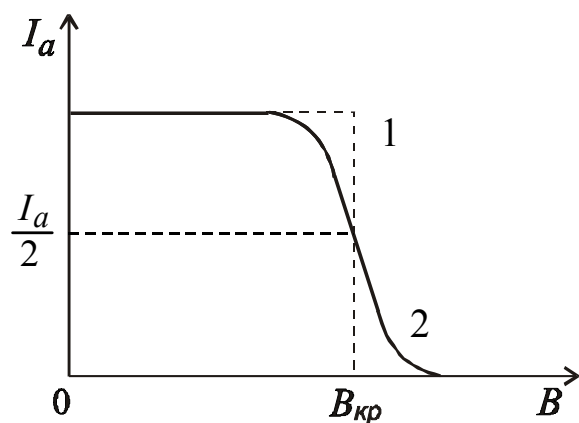


Рис. 5.3. Скидна характеристика магнетрона

Точка перегину кривої 2 відповідає значенню $B_{кр}$. Для різних сталих значень анодної напруги U_A одержуються відповідні криві залежності $I_A = f(B)$.

Мета роботи: ознайомитися з методом магнетрона для визначення питомого заряду електрона;
визначити питомий заряд електрона.

Прилади: вакуумний діод 1Ц11П, джерело постійного струму ВС-24М, джерело постійного струму ТЕС-88, джерело живлення катоду (ДЖК), котушка, мікроамперметр типу М906, амперметр типу ФЭП, вольтметр типу В7-16А.

5.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

5.2.1. Зібрати електричне коло за схемою (рис. 5.4).

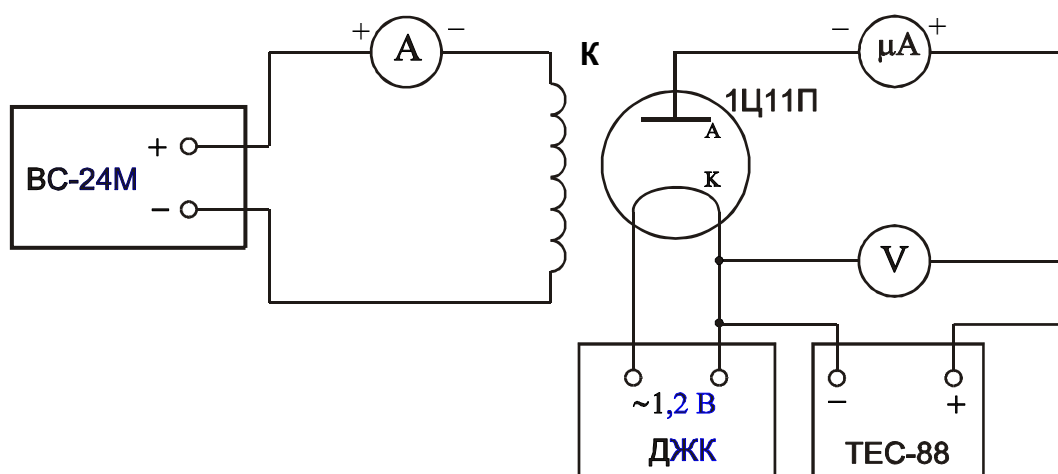
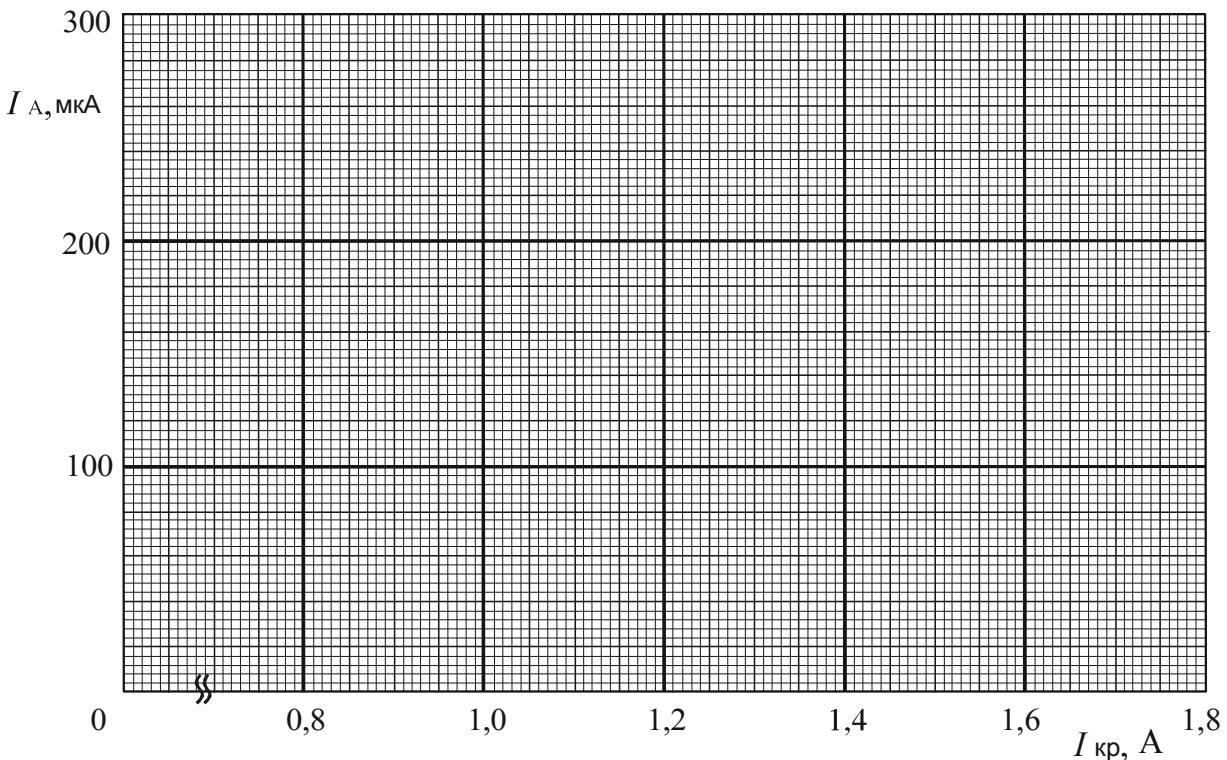


Рис. 5.4. Схема електричного кола для визначення питомого заряду електрона

5.2.2. У межах 5-7 В вибрати три значення анодної напруги і зняти залежність анодного струму I_A від струму в котушці I_k . Результати занести до таблиці:

I_k, A		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$U_{A(1)} =$	В	$I_{A(1)}, \text{мкА}$									
$U_{A(2)} =$	В	$I_{A(2)}, \text{мкА}$									
$U_{A(3)} =$	В	$I_{A(3)}, \text{мкА}$									

5.2.3. За даними таблиці побудувати графіки залежності $I_A = f(I_k)$ та визначити $B_{кр}$. Для цього відповідно до рис. 5.3 знайти точку перегину кривих із координатами $\left[I_{A(кр)} = \frac{1}{2} I_A, I_k = I_{кр} \right]$, де $I_{A(кр)}$ і $I_{кр}$ відповідно значення анодного струму та струму в котушці, коли індукція магнітного поля набуває значення $B_{кр}$. За величиною $I_{кр}$ з рівняння $B_{кр} = 2,2 \cdot 10^{-3} I_{кр}$ (Тл) визначити критичну індукцію магнітного поля $B_{кр}$.



5.2.4. Питомий заряд електрона розрахувати за формулою (5.4). Радіус анода лампи 1Ц11П $R_A = 5 \cdot 10^{-3}$ м. Обчислити середнє значення питомого заряду, оцінити абсолютну та відносну похибки. Результати занести до таблиці:

№ виміру	$U_A, В$	$I_{кр}, А$	$B_{кр}, Тл$	$\frac{e}{m}, \frac{Кл}{кг}$	$\Delta \frac{e}{m}, \frac{Кл}{кг}$	$\frac{\Delta \frac{e}{m}}{\frac{e}{m}}, \%$
1						
2						
3						
сер.						

5.2.5. Порівняти одержане значення питомого заряду з табличним. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Що являє собою магнетрон?
2. Що називають скидною характеристикою магнетрона?
3. Які сили діють на електрон, що рухається в магнетроні? Як визначити напрям дії цих сил?
4. Записати формулу для визначення сили Лоренца у векторному і скалярному вигляді.
5. Який вигляд має траєкторія руху електрона, що влітає в однорідне магнітне поле з постійною швидкістю \vec{v} , якщо: а) $\vec{v} \perp \vec{B}$, б) $\vec{v} \parallel \vec{B}$, в) вектори \vec{v} і \vec{B} утворюють певний кут?
6. Що є джерелом магнітного поля?

6. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

6.1. ЗАКОН ОМА І ЗСУВ ФАЗ МІЖ СТРУМОМ ТА НАПРУГОЮ В КОЛІ ЗМІННОГО СТРУМУ

Якщо до нерозгалуженої ділянки кола, яка має послідовно з'єднані резистор з активним опором R , котушку індуктивністю L і конденсатор ємністю C , прикласти змінну напругу $U = U_0 \sin \omega t$, то в колі виникає змінний струм тієї самої частоти $I = I_0 \sin(\omega t + \varphi)$, де U, I – значення напруги і струму в момент часу t (миттєві значення), U_0, I_0 – амплітудні значення напруги і струму, $\omega = 2\pi\nu$ ($\nu = 50$ Гц) – циклічна частота коливань напруги і струму, φ – **зсув фаз** між струмом та напругою.

Для змінного струму, значення якого змінюється від нуля до амплітудного (максимального) існує еквівалент постійного струму, який встановлюється по тепловій дії струму. Якщо виміряти кількість тепла, яка виділяється за деякий час при проходженні через провідник постійного струму силою 1А, а потім підібрати таку силу змінного струму, яка за той самий час в цьому провіднику виділяє таку саму кількість тепла, то обидва струми є еквівалентними, тобто вони обидва дорівнюють 1А. Таке еквівалентне значення змінного струму називають ефективним.

Отже, ефективне значення сили змінного струму дорівнює силі такого постійного струму, що в даному колі за той самий проміжок часу виділяє таку саму кількість тепла, як і даний змінний струм. Електровимірювальні прилади електромагнітної системи градуують в ефективних значеннях.

Закон Ома для ділянки кола змінного струму виконується для **миттєвих**, **амплітудних** та **ефективних** значень струму і напруги:

$$I = \frac{U}{Z}, \quad I_0 = \frac{U_0}{Z}, \quad I_{\text{еф}} = \frac{U_{\text{еф}}}{Z}, \quad (6.1)$$

де $I_{\text{еф}}, U_{\text{еф}}$ – ефективні значення струму і напруги, Z – **повний опір** кола змінного струму. Амплітудні значення сили струму і напруги пов'язані з ефективними значеннями сили струму і напруги співвідношеннями:

$$I_{\text{еф}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}, \quad U_{\text{еф}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}. \quad (6.2)$$

Для послідовного з'єднання резистора, котушки і конденсатора повний опір кола знаходиться за формулою:

$$Z = \sqrt{(R + R_L)^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}, \quad (6.3)$$

де $R + R_L$ – **активний опір** кола (R – активний опір резистора, R_L – активний опір котушки). Величини $X_L = \omega L$ та $X_C = \frac{1}{\omega C}$ мають розмірність опору і носять назву **реактивних опорів**. Величини Z , $R + R_L$ і $X = X_L - X_C$ геометрично зв'язані правилом прямокутного трикутника, який називають **трикутником опорів** (рис. 6.1).

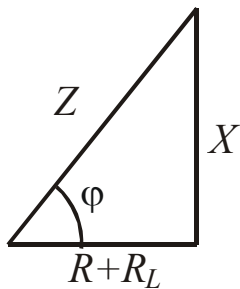


Рис. 6.1. Трикутник опорів

За відомими значеннями ємності конденсатора C , індуктивності котушки L , активних опорів R та R_L , можна розрахувати не тільки повний опір Z , але й зсув фаз φ між струмом в колі і напругою, прикладеною до кола. З трикутника опорів зсув фаз φ визначається відношенням реактивного опору до активного:

$$\varphi = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R + R_L}. \quad (6.4)$$

Мета роботи: перевірити виконання закону Ома для ділянки кола змінного струму.

Прилади: трансформатор, вольтметр типу В7-16А, амперметр типу Э59, реостат, магазин опорів, батарея конденсаторів, котушка, магазин опорів, перемикач.

6.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

6.2.1. Зібрати електричне коло за схемою (рис. 6.2):

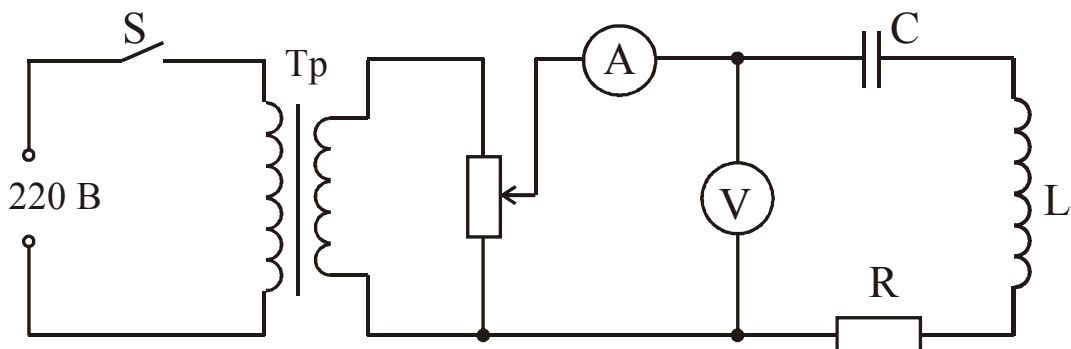


Рис. 6.2. Схема електричного кола для визначення повного опору кола

6.2.2. Увімкнути перемикачем “Сеть” вольтметр В7-16А. Через 10 хвилин впевнитись, що на табло вольтметра підтримуються нульові значення напруги.

6.2.3. Перемикачем S замкнути коло. Для п’яти положень повзунка потенціометра одержати покази вольтметра і амперметра та занести їх до таблиці:

№ виміру	$U, В$	I		$Z, Ом$	$\Delta Z, Ом$	$\left(\frac{\Delta \bar{Z}}{\bar{Z}}\right)_{\text{вип}}, \%$	$\left(\frac{\Delta Z}{Z}\right)_{\text{сист}}, \%$	$\left(\frac{\Delta Z}{Z}\right)_{\text{пов}}, \%$
		под.	А					
1								
2								
3								
4								
5								
сер.								

6.2.4. За формулою (6.1) визначити повний опір кола. Оцінити відносні випадкову, систематичну та повну похибки. Відносна похибка виміру напруги вольтметром В7-16А складає $\frac{\Delta U}{U} = 1\%$. Оцінити абсолютну похибку ΔZ і подати результат у вигляді: $Z = \bar{Z} \pm \Delta Z$.

6.2.5. Використовуючи відомі значення R, R_L, L і C , за формулою (6.3) розрахувати значення повного опору Z' і за формулою (6.4) – значення зсуву фаз між струмом та напругою. Результати занести до таблиці:

$R, Ом$	$R_L, Ом$	$L, Гн$	$C, Ф$	$Z', Ом$	$\varphi, град$

6.2.6. Порівняти результати вимірювань з теоретичним розрахунком. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Який електричний струм називають змінним?
2. Як розрахувати повний опір кола змінного струму?
3. Чим пояснити зсув фаз між струмом та напругою в колі змінного струму?
4. Записати закон Ома та формулу, за якою визначається зсув фаз для ділянки кола змінного струму, що має:
 - а) активний опір; б) ємність; в) індуктивність; г) активний опір і ємність;
 - д) активний опір та індуктивність; е) ємність та індуктивність.
5. Яка різниця між омичним і активним опорами?
6. Яке значення сили змінного струму називають ефективним?

7. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

7.1. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТУХАЮЧИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КОЛИВАНЬ У КОЛИВАЛЬНОМУ КОНТУРІ

Коливальним контуром називають електричне коло, яке складається з послідовно з'єднаних конденсатора ємністю C і котушки індуктивністю L . У такому контурі можуть виникати електромагнітні коливання, які включають періодичну зміну електричних величин, а саме заряду q і, відповідно, напруги U на обкладках конденсатора та струму I в колі. Зі зміною заряду конденсатора і сили струму в котушці пов'язані взаємні перетворення енергії електричного і магнітного полів. Розглянемо ідеальний коливальний контур.

Якщо конденсатор зарядити від зовнішнього джерела, то в момент часу $t = 0$ будемо вважати, що між його обкладками зосереджено електричне поле з

енергією $W_{\text{ел}} = \frac{q^2}{2C}$, де C – ємність конденсатора (рис. 7.1,а).

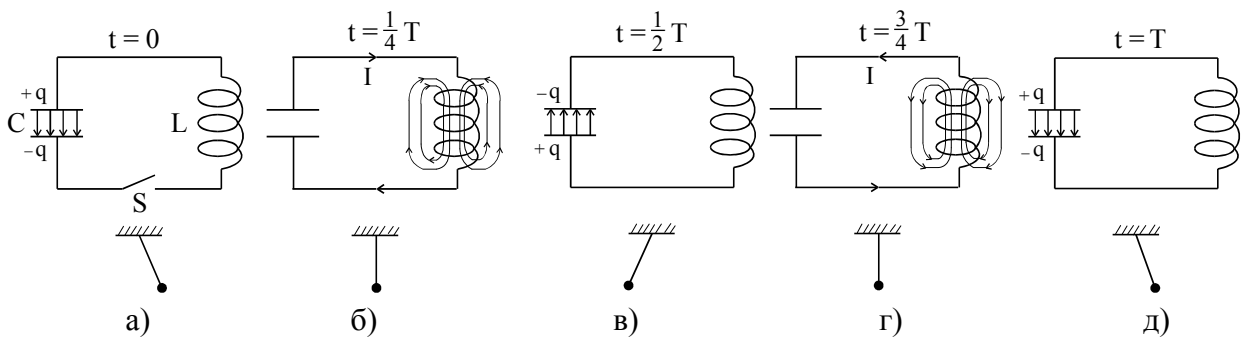


Рис. 7.1. Електромагнітні коливання в коливальному контурі

Після замикання кола перемикачем S у контурі виникне змінний в часі розрядний струм, який не відразу набуває максимального значення. Причиною цього є вихрове електричне поле, що виникає в котушці й за правилом Ленца послаблює електричне поле наростаючого розрядного струму I . Через час $t = \frac{1}{4} T$ конденсатор розряджається ($q = 0$), а струм у котушці стає

максимальним $I = I_{\text{max}}$. У цей момент енергія електричного поля повністю перетворюється на енергію магнітного поля $W_{\text{маг}} = \frac{L I_{\text{max}}^2}{2}$, а вихрове електричне поле зникає (рис. 7.1,б). Саме з цього моменту розрядний струм I у колі починає зменшуватися разом із магнітним полем. Знову виникає вихрове електричне поле, яке тепер за правилом Ленца підсилює електричне поле розрядного струму в котушці. Спадання струму стає більш повільним і конденсатор встигає перезарядитися. У момент часу $t = \frac{1}{2} T$ струм у колі

дорівнюватиме нулю, а між обкладками конденсатора знов існуватиме електричне поле, але протилежного напрямку (рис. 7.1,в). Це означає, що енергія магнітного поля котушки повністю перетворюється на енергію електричного поля конденсатора.

Наступний розряд конденсатора проходитиме аналогічно (рис. 7.1, г, д). Так у контурі відбувається періодичний рух електронів від однієї обкладки конденсатора до іншої і навпаки з частотою, яка залежить від *параметрів* контура L, C . Разом із рухом електронів у контурі періодично змінюються всі електричні і магнітні величини, тобто відбуваються електромагнітні коливання.

У реальному коливальному контурі треба враховувати ще один параметр – його опір R , тому що частина енергії електричного поля витрачається на нагрівання провідників і електромагнітні коливання стають *затухаючими*. Нехай q – заряд конденсатора в даний момент часу, U – напруга на його обкладках. Тоді

$$q = CU, \quad I = -\frac{dq}{dt} = -C \frac{dU}{dt}. \quad (7.1)$$

Знак “мінус” показує, що зростанню струму в колі відповідає зменшення заряду на обкладках конденсатора і навпаки. Згідно із законом Ома для повного кола:

$$I = \frac{U + \mathcal{E}_c}{R} = \frac{U - L \frac{dI}{dt}}{R}, \quad (7.2)$$

де $\mathcal{E}_c = -L \frac{dI}{dt}$ – електрорушійна сила самоіндукції. Підставляючи співвідношення (7.1) в формулу (7.2), матимемо:

$$\begin{aligned} -RC \frac{dU}{dt} &= U - L \frac{d}{dt} \left(-C \frac{dU}{dt} \right) = U + LC \frac{d^2U}{dt^2} \\ \text{або } LC \frac{d^2U}{dt^2} + RC \frac{dU}{dt} + U &= 0. \end{aligned} \quad (7.3)$$

Поділимо рівняння (7.3) на LC і введемо позначення:

$$\frac{d^2U}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dU}{dt} + \frac{1}{LC} U = 0 \quad \text{або} \quad \frac{d^2U}{dt^2} + 2\beta \frac{dU}{dt} + \omega_0^2 U = 0, \quad (7.4)$$

де $\beta = \frac{R}{2L}$ – коефіцієнт затухання, $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ (ω_0 – циклічна частота гармонічних коливань).

Розв’язок диференціального рівняння (7.4) є рівнянням затухаючих коливань:

$$U = U_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (7.5)$$

де U_0 – початкова амплітуда затухаючих коливань, φ_0 – початкова фаза, $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ – циклічна частота затухаючих коливань. Графік рівняння (7.5) наведений на рис. 7.2.

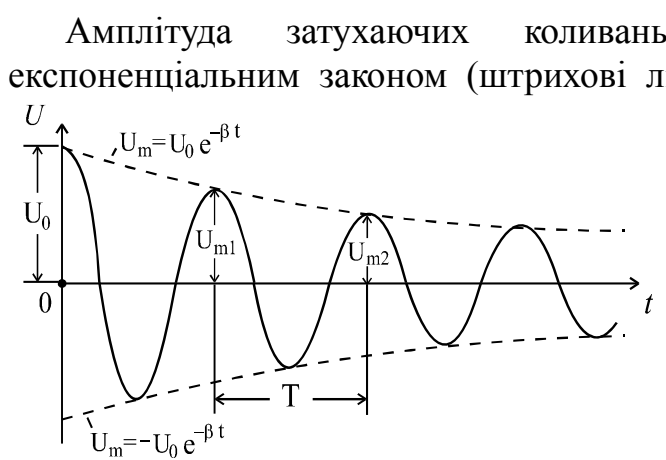


Рис. 7.2. Графік затухаючих коливань в коливальному контурі

Амплітуда затухаючих коливань $U_m = U_0 e^{-\beta t}$ зменшується за експоненціальним законом (штрихові лінії), тому розглядувані коливання не можна вважати гармонічними або періодичними. У зв'язку з цим поняття періоду для затухаючих коливань набуває умовного змісту, згідно з яким під періодом розуміють проміжок часу між двома послідовними максимумами досліджуваної фізичної величини. Коли швидкість затухання коливань досить мала, то умовний період розраховують за формулою:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}. \quad (7.6)$$

Швидкість затухання коливань можна оцінювати **часом релаксації** τ , протягом якого амплітуда коливань U_m зменшується в e разів:

$$\frac{U_0}{U_m} = e^{\beta \tau}. \text{ Якщо } \tau = \frac{1}{\beta}, \text{ тоді } \frac{U_0}{U_m} = e, \text{ де } e = 2,7.$$

За час релаксації фізична величина встигає здійснити N_e коливань:

$$N_e = \frac{\tau}{T} = \frac{1}{\beta T}. \quad (7.7)$$

Швидкість затухання коливань також оцінюють **декрементом затухання**, який дорівнює відношенню двох послідовних амплітуд через проміжок часу в один період:

$$D = \frac{U_{m1}}{U_{m2}} = \frac{U_0 e^{-\beta t}}{U_0 e^{-\beta(t+T)}} = e^{\beta T}.$$

Він показує, в скільки разів зменшується амплітуда коливань за один період. Але найчастіше використовують **логарифмічний декремент затухання**, який визначається як натуральний логарифм відношення двох послідовних амплітуд:

$$\delta = \ln \frac{U_{m1}}{U_{m2}} = \ln \frac{U_0 e^{-\beta t}}{U_0 e^{-\beta(t+T)}} = \beta T. \quad (7.8)$$

З формул (7.7) і (7.8):

$$\delta = \frac{1}{N_e}.$$

Отже, для величин β , τ , N_e і δ , які характеризують затухаючі коливання, виконується рівність:

$$\beta = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{N_e T} = \frac{\delta}{T}. \quad (9)$$

Поступове зростання опору контура R супроводжується ще більшими тепловими втратами енергії електричного поля, що призводить до більш швидкого затухання коливань. При цьому період затухаючих коливань збільшується і при $\beta = \omega_0$ він прямує до нескінченності. Це означає, що змінна фізична величина асимптотично наближається до нуля, коли час $t \rightarrow \infty$. Такий процес не є коливальним, його називають **аперіодичним розрядом**. Графік аперіодичного розряду наведений на рис. 7.3. Опір, при якому виникає аперіодичний розряд, називають **критичним опором** ($R_{кр}$). Його можна визначити з умови:

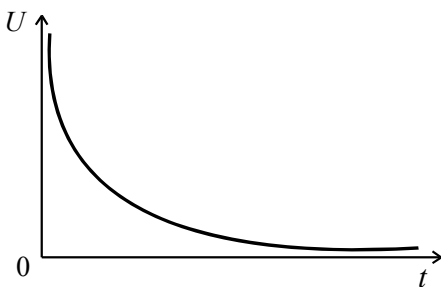


Рис. 7.3. Графік аперіодичного розряду

$$\beta = \omega_0, \quad \frac{R_{кр}}{2L} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

$$\text{Звідки } R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (7.10)$$

Отже, під час аперіодичного розряду вся енергія електричного поля, що нагромаджена в конденсаторі, витрачається за короткий час на нагрівання провідників і конденсатор не перезаряджатиметься. При цьому електромагнітні коливання в контурі не виникатимуть.

У даній роботі для збудження коливань у контурі конденсатор заряджається поодинокими імпульсами від блока синхронізації осцилографа. Оскільки ці імпульси є синхронізуючими (генератор розгортки працює з частотою повторення імпульсів синхронізації), то на екрані осцилографа з'являється нерухоме зображення затухаючих коливань.

Мета роботи: ознайомитися з процесами, які відбуваються в коливальному контурі;

дослідити вплив параметрів коливального контура L , C , R на характеристики затухаючих коливань T , δ , $R_{кр}$, порівнюючи експериментальні та теоретично розраховані результати.

Прилади: електронний осцилограф ОЕШ-70, котушки, магазин опорів типу Р33, блок конденсаторів.

7.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

7.2.1. Зібрати електричне коло за схемою (рис .7.4).

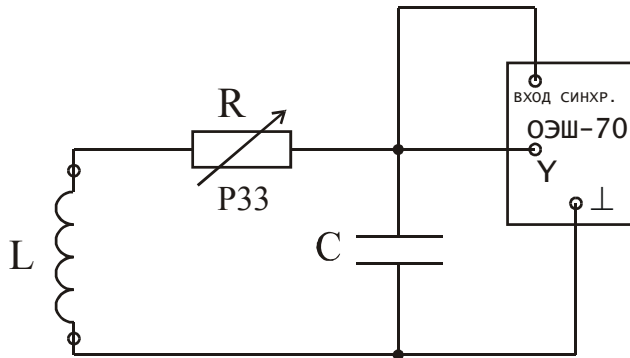


Рис. 7.4. Схема електричного кола для визначення характеристик затухаючих коливань

7.2.2. На осцилографі перемикач **СИНХРОНИЗАЦІЯ** встановити в положення **ВНІШ.**, перемикач **ОСЛАБЛЕНИЕ** в положення **1:1**, перемикач **ДИАПАЗОНЫ** встановити біля позначки **500**, а регулятор **ЧАСТОТА ПЛАВНО** в крайнє ліве положення. При цьому частота розгортки $V_{розг} = 1230$ Гц, тобто промінь пробігає все зображення затухаючих коливань за час, що дорівнює $\frac{1}{1230}$ с. Увімкнути осцилограф в мережу.

7.2.3. Вибрати параметри контура в межах: індуктивність $0,013\text{Гн} \leq L \leq 0,049\text{Гн}$, ємність $1,5 \cdot 10^{-8} \text{Ф} \leq C \leq 4,7 \cdot 10^{-8} \text{Ф}$, опір $6 \text{ Ом} \leq R \leq 112 \text{ Ом}$, де $R = R_{P33} + R_L$ (R_{P33} – опір, що встановлюється магазином опорів Р33 R_L – омичний опір котушки). Регуляторами **УСИЛЕНИЕ Y** і **УСИЛЕНИЕ X** підібрати на екрані осцилографа зручний для спостереження розмір зображення кривої затухаючих коливань.

Дослідження впливу індуктивності котушки на характеристики контура. Не змінюючи ємності контура змінювати його індуктивність і визначити період коливань T та критичний опір $R_{кр}$.

Для визначення періоду підрахувати кількість повних коливань n , які вміщуються в зображення кривої затухаючих коливань. Тоді

$$T = \frac{1}{1230 \cdot n} \quad (7.11)$$

Для визначення критичного опору поступово збільшувати опір R і визначити момент, коли затухаючі коливання переходять до аперіодичного розряду. На магазині опорів Р33 зафіксувати величину критичного опору $R_{кр}$.

Провести теоретичні розрахунки. Період затухаючих коливань $T_{теор}$ розрахувати за формулою (7.6), критичний опір $R_{кр(теор)}$ за формулою (7.10). Одержані дані занести до таблиці:

$$C = \quad \cdot 10^{-8} \Phi, \quad R_{P33} = \quad \text{Ом.}$$

$L, 10^{-2} \text{ Гн}$	1,3	1,8	4,9
	$R_L=6,0 \text{ Ом}$	$R_L=7,6 \text{ Ом}$	$R_L=12,0 \text{ Ом}$
n			
$T, \text{с}$			
$T_{теор}, \text{с}$			
$R_{кр}, \text{Ом}$			
$R_{кр(теор)}, \text{Ом}$			

Дослідження впливу ємності конденсатора на характеристики контура. Не змінюючи індуктивності контура змінювати його ємність і визначити період коливань T за формулою (7.11) та критичний опір $R_{кр}$.

Провести теоретичні розрахунки. Період затухаючих коливань $T_{теор}$ розрахувати за формулою (7.6), критичний опір $R_{кр(теор)}$ – за формулою (7.10). Одержані дані занести до таблиці:

$$L = \quad \cdot 10^{-2} \text{ Гн}, \quad R_L = \quad \text{Ом}, \quad R_{P33} = \quad \text{Ом.}$$

$C, 10^{-8} \Phi$	1,5	2,2	3,0	4,7
n				
$T, \text{с}$				
$T_{теор}, \text{с}$				
$R_{кр}, \text{Ом}$				
$R_{кр(теор)}, \text{Ом}$				

Дослідження впливу опору контура на логарифмічний декремент затухання коливань. Не змінюючи індуктивності і ємності контура змінювати його опір за допомогою магазину опорів Р33. За зображенням кривої виміряти в поділках шкали екрана амплітуду двох сусідніх коливань і визначити

логарифмічний декремент $\delta = \ln \frac{U_{m1}(\text{поділки})}{U_{m2}(\text{поділки})}$ (рис. 7.2). Для зменшення

похибки слід вимірювати амплітуди коливань в тому ж самому місці екрану (в центрі), переміщуючи зображення кривої регулятором осцилографа **СМЕЩЕНИЕ X**. Одержані дані занести до таблиці:

$$C = \quad \cdot 10^{-8} \text{ Ф}, \quad L = \quad \cdot 10^{-2} \text{ Гн}, \quad R_L = \quad \text{ Ом}$$

$R, \text{ Ом}$				
δ	$\ln \frac{\quad}{\quad} =$	$\ln \frac{\quad}{\quad} =$	$\ln \frac{\quad}{\quad} =$	$\ln \frac{\quad}{\quad} =$

7.2.4. Проаналізувати одержані результати, зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Що називається коливальним контуром?
2. Що являють собою електромагнітні коливання в коливальному контурі?
3. Що є параметрами коливального контуру?
4. Яка різниця між ідеальним і реальним коливальними контурами?
5. Якими величинами характеризуються затухаючі коливання і як вони зв'язані між собою?
6. Записати формулу періоду гармонічних і затухаючих коливань у коливальному контурі.
7. Що називають логарифмічним декрементом затухання?
8. Як залежить логарифмічний декремент затухання від опору контура R ?
9. Що являє собою аперіодичний розряд?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Денисов А. Е., Потапенко Г. Д. Физика в прикладной геодезии : учебник. Киев : Вища школа, 1991. 351 с.
2. Чолпан П. П. Основы фізики : підручник. Київ : Вища школа, 1995. 488 с.
3. Кучерук І. М., Горбачук І. Т. Загальна фізика. Електрика і магнетизм : підручник. Київ : Вища школа, 1990. 399 с.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. В 5 томах. Том 3. Электричество : учебник. М. : Физматлит, МФТИ, 2004. 656 с.
5. Калашников С. Г. Электричество : учебник. М. : Физматлит, 2003. 624 с.
6. Савельев И. В. Общий курс физики. В 5 томах. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика : учебник. М. : Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1985. 496 с.
7. Ситников О. П. Основы електродинаміки. Лабораторний практикум: навч. посібник. Чернігів : ЧДІЕУ, 2011. 48 с.
8. Оселедчик Р. С., Самойленко П. И., Точилина Т. Н. Физика. Модульный курс для технических вузов : учебное пособие. М. : Юрайт-Издат., 2012. 568 с.
9. Рохманов М. Я. Авотин С. С. Фізика : навч. посібник для самостійної роботи студентів. Харків : ХНАУ, 2015. 283 с.