

ЕЛЕКТРОМАГНІТИЗМ

ЕЛЕКТРОМАГНІТИЗМ

Лабораторна робота ЕМ-1

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ІНДУКТИВНОЇ КОТУШКИ

Мета роботи: вивчення залежності магнітної індукції в центрі котушки від величини струму та дослідження розподілу індукції магнітного поля вздовж її осі.

Індукція магнітного поля, що створюється циліндричною індуктивною котушкою скінченної довжини l на осі OA в точці M , обчислюється за формулою

$$B = \mu \mu_0 \frac{In}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \tag{1.1}$$

де I – сила струму у витках котушки, А; n – кількість витків на одиницю довжини котушки, вит./м; μ – відносна магнітна проникність; μ_0 – магнітна стала, Гн/м; α_1, α_2 – кути, під якими з точки M видно радіуси кінців котушки (рис. 1.1).

Контрольні запитання

- У яких одиницях вимірюється RC ? Який її фізичний зміст?
- Як визначити час у довільний момент зарядки чи розрядки?
- Самостійно отримати з формули (11.3) формулу (11.5).
- Користуючись графіком розрядки і зарядки конденсатора, визначити величину періоду прямокутного імпульсу.

Рекомендована література

- Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. – К.: Либідь, 1997. – С. 349–362.
- Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики: В 2 т. – М.: Наука, 1972. – Т. 2. – С. 282–305.
- Савельев И.В. Курс общей физики: В 3 т. – М.: Наука, 1978. – Т. 2. – С. 146–154, 169–173.

Рис. 1.1

Для вимірювання магнітної індукції всередину котушки вводять спеціальний шток, у який вмонтовано датчик Хола. Якщо однорідну металеву або напівпровідникову пластинку помістити перпендикулярно до ліній індукції зовнішнього магнітного поля і в напрямку 1–2 (рис. 1.2) пропустити електричний струм, то між гранями 3–4 пластинки виникне різниця потенціалів. Це явище отримало назву *ефект Хола*. Воно виникає внаслідок дії сили Лоренца на рух носіїв струму в пластинці. Вважати-

3

Розробити викладачі кафедри фізики:
Ж.Ю. Бурячина (ЕМ-2), Н.І. Коваль (ЕМ-4), С.С. Коваль (ЕМ-5),
В.В. Кондратенко (ЕМ-5), А.Д. Кулик (ЕМ-4), О.О. Мочалов (ЕМ-2),
В.П. Ситко (ЕМ-8), Л.І. Стратієнко (ЕМ-3), О.О. Таранчук (ЕМ-6, ЕМ-11), Л.І. Титюченко (ЕМ-1, ЕМ-6), Т.О. Ткаченко (ЕМ-9),
В.І. Тюрін (ЕМ-3), М.В. Ушкаць (ЕМ-7), В.М. Шенкевич (ЕМ-10).

Рецензент канд. фіз.-мат. наук, доц. А.М. Кузнецов.

Призначені для студентів усіх факультетів.

Лекції до виконання лабораторних робіт.
Лекції при електрономному способі контролю за рівнем підготовки студентів при виконанні лабораторних робіт, контрольні запитання, які можуть бути використані для опису установок в цілому і окремих приладів, методик виконання роботи. Кожна лабораторна робота містить короткі теоретичні відомості, опис установок в цілому і окремих приладів, методик виконання роботи при електрономному способі контролю за рівнем підготовки студентів до виконання лабораторних робіт.

Кафедра фізики

Електромagnetизм: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу фізики / Під ред. О.О. Мочалова, В.М. Шенкевича. – Миколаїв: НУК, 2004. – 52 с.

УДК 530

ЗМІСТ

Лабораторна робота ЕМ-1. Дослідження магнітного поля індуктивної котушки.....	3
Лабораторна робота ЕМ-2. Дослідження явища взаємодії дукції.....	6
Лабораторна робота ЕМ-3. Визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі.....	8
Лабораторна робота ЕМ-4. Визначення величини питомого заряду електрона за допомогою магнітного поля.....	11
Лабораторна робота ЕМ-5. Визначення магнітної проницності речовин.....	15
Лабораторна робота ЕМ-6. Визначення точки Кюрі ферромагнітних сплавів металів.....	17
Лабораторна робота ЕМ-7. Вивчення магнітного тістезису.....	25
Лабораторна робота ЕМ-8. Дослідження залежності індуктивності соленоїда від сили струму.....	31
Лабораторна робота ЕМ-9. Визначення добротності коливального контуру.....	35
Лабораторна робота ЕМ-10. Вивчення електричних процесів в простих лінійних контурах під дією гармонічної електротрушної сили.....	39
Лабораторна робота ЕМ-11. Дослідження зарядно-розрядних процесів у конденсаторі.....	46

мемо, що носіями струму є електрони (пластинка металева або напівпровідникова n -типу), які при відсутності магнітного поля будуть рухатись під дією сили F_e в напрямку 2–1. При внесенні пластинки в магнітне поле на електрони починає діяти і сила Лоренца F_l , яка спричиняє їх зміщення в напрямку 3–4 (див. рис. 1.2).

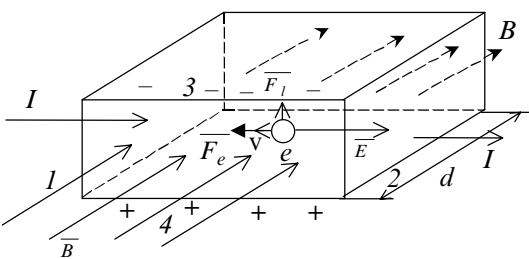


Рис. 1.2

При цьому між гранями 3 і 4 пластинки створюється додаткове електричне поле, дія якого на рух електронів протилежна дії сили Лоренца. При досягненні між гранями 3 і 4 певної різниці потенціалів (ЕРС Хола) можна вважати, що рух електронів знову відбувається лише в напрямку 2–1. Величину різниці потенціалів (ЕРС Хола) можна визначити за формулою

$$U_x = KIB / d,$$

де I – сила струму, що протікає в пластинці; d – товщина пластинки; K – стала Хола; U_x – ЕРС Хола.

З цієї формули видно, що ЕРС Хола лінійно залежить від індукції зовнішнього магнітного поля. Отже, явище Хола можна використати для вимірювання індукції магнітного поля.

До експериментальної установки входять джерело струму, касета і цифровий вольтметр (рис.1.3). На передню панель касети нанесена принципова електрична схема установки. Основною частиною установки є котушка індуктивності, на осі якої розміщено датчик Хола, що може вільно переміщуватись вздовж осі котушки. На стержні, до якого прикріплений датчик, нанесено поділки. Нульова поділка відповідає положенню датчика Хола в центрі котушки.

Якщо через датчик пропускати електричний струм силою 12 мА і в котушці створити магнітне поле, то в датчику виникне ЕРС Хола, пропорційна значенню магнітної індукції в соленоїді. Цю ЕРС вимірюють за допомогою цифрового вольтметра, що підключається до передньої панелі касети.

7. Розрахувати сталу часу для зарядки і розрядки конденсатора для трьох різних моментів часу за формулами

$$R_1C = \frac{t}{\ln \frac{U_0}{U}}, \quad R_2C = \frac{t}{\ln \frac{U_0}{U}}.$$

8. Визначити методом середнього сталу часу зарядки і розрядки конденсатора, похибку цих величин. Отримані значення порівняти з істинними значеннями R_1C і R_2C , які були задані викладачем. Розрахунок проводити, виходячи із таких міркувань:

а) синусоїдальні коливання, які подаються з генератора на касету ФПЕ-09/ПИ, перетворюються на прямокутні імпульси з періодом $T = t_1 - t_0$. Момент часу t_0 розглядаємо як момент замикання ключа K_1 , саме в цей час подається напруга на ділянку R_1C і починається зарядка конденсатора через опір R_1 . Через деякий час напруга на конденсаторі досягне значення U_0 , а електричний струм в колі зникне;

б) в момент часу t_1 ключ K_1 розмикається. Конденсатор починає розряджатись через опір R_2 . У ділянці R_2C виникає електричний струм за рахунок зменшення потенціалу на обкладках конденсатора. Під час зарядки справедлива формула (11.4), а при розрядці – (11.5).

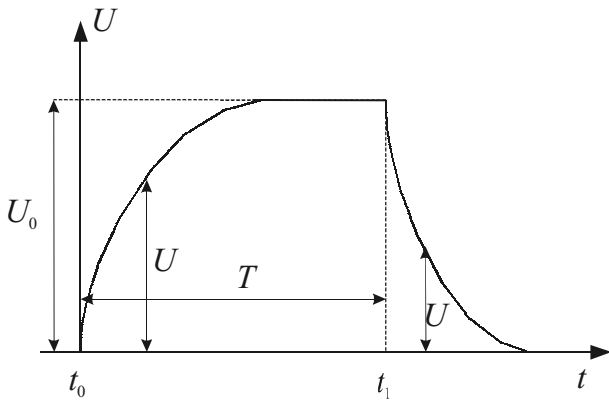


Рис. 11.2

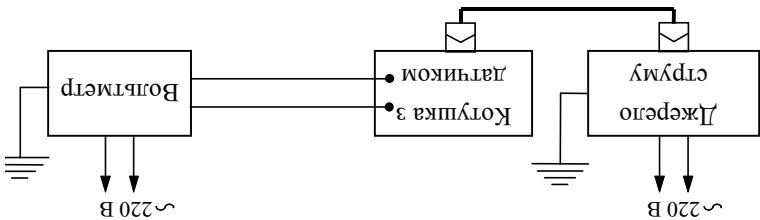
1. Від чого залежить індукція магнітного поля всередині котушки індуктивності? (скінченної довжини)?
2. Чому полягає ефект Хола?
3. Від чого залежить ЕРС Хола?
4. Який вигляд повинен мати графік залежності магнітної індукції від сили струму в центрі соленоїда?

Контрольні запитання

1. Обчислити значення індукції магнітного поля в центрі котушки для всіх значень I_{con} . Дані занести в таблицю. Для обчислень взяти: довжина котушки $l = 165$ мм; діаметр котушки $D = 85$ мм; кількість витків $N = 1700$.
2. Побудувати за даними таблиці графік залежності індукції магнітного поля від ЕРС Хола ($B = f(U_x)$).
3. Користуючись цим графіком і значенням ЕРС Хола (див. п. 5), визначити індукцію магнітного поля. Побудувати графік розподілу індукції магнітного поля вздовж осі соленоїда.
4. Обчислити значення індукції магнітного поля в центрі котушки для всіх значень I_{con} . Дані занести в таблицю. Для обчислень взяти: довжина котушки $l = 165$ мм; діаметр котушки $D = 85$ мм; кількість витків $N = 1700$.
5. Установити задане викладачем значення струму в соленоїді. Змінюючи положення датчика через кожні 10 мм, записати значення ЕРС Хола. Дані занести в таблицю.
6. Розмістити датчик Хола в центрі соленоїда. Змінюючи значення струму в соленоїді через кожні 0,1 А, записати відповідні значення ЕРС Хола. Дані занести в таблицю.
7. Після перевірки установок викладачем увімкнути блок живлення та цифровий вольтметр.
8. Скласти електричну установку згідно з рис. 1.3.

Порядок виконання роботи

Рис. 1.3



Лабораторна робота ЕМ-11

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАРЯДНО-РОЗРЯДНИХ ПРОЦЕСІВ У КОНДЕНСАТОРІ

Мета роботи: експериментальне дослідження процесу зарядки і розрядки конденсатора через резистор за допомогою осцилографа.

Паралельно увімкнені конденсатор і резистор досить часто зустрічаються в практичних електричних колах.

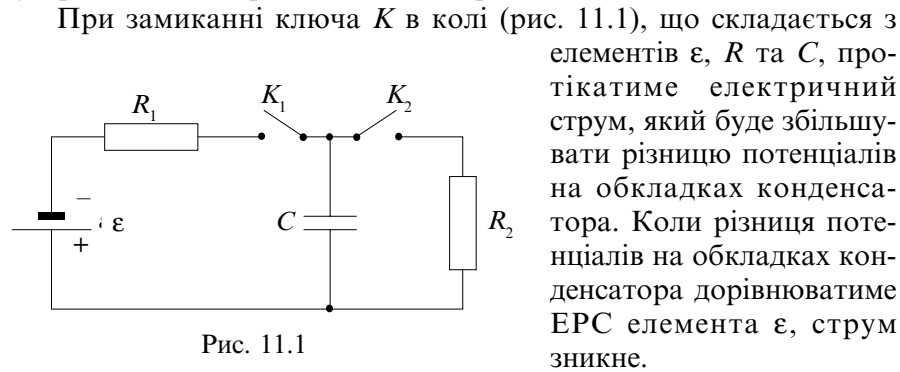


Рис. 11.1

Згідно з другим законом Кірхгофа для розгалуженого кола запишемо

$$\epsilon = IR_1 + \frac{q}{C} \tag{11.1}$$

Оскільки струм $I = \frac{dq}{dt}$, то

$$\epsilon = \frac{dq}{dt} R_1 + \frac{1}{C} q \tag{11.2}$$

або, після простих перетворень,

$$\frac{dq}{q - C\epsilon} = - \frac{dt}{R_1 C} \tag{11.3}$$

Це диференціальне рівняння описує зміну заряду на обкладках конденсатора з часом. Інтегруючи обидві частини рівняння, отримуємо

1. Лабораторна робота проводиться за допомогою установок, що складається з готових блоків: касети ФПЕ-09/ПІ, двох магазинів опорів, магазинна ємностей, джерела струму, генератора звукової частоти, осцилографа. Зібрати схему за рис. 11.1.
2. Увімкнути прилади в коло і дати їм прогрітись 5...10 хв.
3. Набрати на магазині опорів необхідний зарядний опір, а на магазині ємностей – необхідну ємність.
4. За допомогою ручок управління осцилографом домогтися стабільності кривої на екрані (рис. 11.2).
5. Криву, зображену на екрані осцилографа, перенести із збереженням масштабу на міліметровий папір.
6. На отриманому графіку вибрати по три значення на кривих зарядки і розрядки. Виміряти лінійні розміри t , що відповідають вибраним напругам. Час t визначається як добуток лінійного масштабу часу на лінійний розмір.

Порядок виконання роботи

З цієї залежності видно, що при розряджанні конденсатора через резистор R_2 напруга на його обкладках зменшується за експоненціальним законом від U_0 до 0. Величина $R_2 C$ показує, за який час напруга на конденсаторі зменшується в e разів.

$$U = U_0 e^{-\frac{t}{R_2 C}}.$$

З урахуванням $q = CU$ запишемо

$$q = q_0 e^{-\frac{t}{R_2 C}}.$$

Звідки, враховуючи початкові умови, маємо

$$Iq = -\frac{1}{R_2 C} + K,$$

Після інтегрування обох частин рівняння отримаємо

$$\text{Запишемо його у вигляді } \frac{dq}{dt} = -\frac{q}{R_2 C}.$$

Коефіцієнт взаємодукції залежить від магнітних властивостей середовища, геометричних розмірів контурів та їх взаємного розташування у просторі і не залежить від часу. Після підстановки (2.1) у (2.2) отримаємо

$$E_2 = -L_{21} \frac{dI_1}{dt}. \tag{2.3}$$

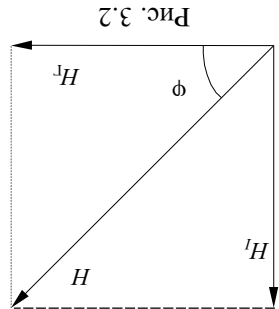
Вираз (2.3) співпадає з виразом для ЕРС самоіндукції, звідси й однаковість розмірностей для коефіцієнтів самоіндукції та взаємодукції L_{21} . Для неферомагнітного середовища (повітря, вода і т. п.) $L_{21} = L_{12}$. У феромагнітному середовищі L_{12} та L_{21} залежать не тільки від геометричних параметрів, а і від магнітної індукції поля, яка, у свою чергу, залежить від сили струму, що протікає по відповідному контуру.

У даній роботі визначається взаємна індуктивність двох контурок: L_1 і L_2 . Схема експериментальної установки зображена на рис. 2.2.

Порядок виконання роботи

1. Перед початком роботи установити перемикачі Π_1 і Π_2 в нейтральне положення.
2. З'єднати за допомогою кабелів генератор ГЗ-102 з виходами PO , а осцилограф С1-72 – з PQ .
3. Установити перемикач Π_1 в положення PQ , а Π_2 – в положення PO .
4. Перемішуючи лінійку L через одну поділку, визначати величину амплітуди E_i з екрану осцилографа.
5. За результатами експерименту побудувати графік $E_i = f(l)$.
6. Повторити експеримент для двох значень частоти, які відрізняються від початкового на ± 50 %.
7. Використовуючи результати експерименту, розрахувати відносну зміну коефіцієнта взаємодукції для різних частот

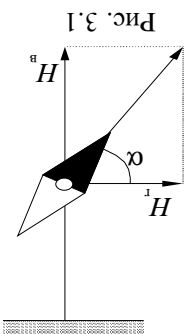
$$\delta = \frac{E_{i\max} - E_{i\min}}{E_{i\max}}.$$



Напруженість магнітного поля у центрі колового струму знаходять за формулою

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{H_r}{H_t}. \quad (3.1)$$

Розміститься вздовж вектора результуючої напруженості $\mathbf{H}$. З рис. 3.2 видно, що певний кут φ відносно площини кільця і дової магнітного поля Землі $\mathbf{H}_r$. Магнітна стрілка повернеться на напруженості магнітного поля струму $\mathbf{H}_r$ і горизонтальної скла- ність магнітного поля в центрі кільця дорівнює геометричній сумі напрямлене перпендикулярно до площини кільця. Певна напруже- пропускання струму через обмотку кільця виникає магнітне поле, під дією горизонтальної складової магнітного поля Землі $\mathbf{H}_r$. При якшо струм в обмотці кільця відсутній, то стрілка перебуває у площині кільця (проти нуля шкали).



а саме так, щоб стрілка була розташована у площині магнітного меридіану, тоно необхідно повернути весь прилад так, щоб кі- тально розташована бусоль (компас). Перед робо- підведені до затискувачів. У центрі кільця горизон- ний площині, намотано N витків дроту, кінці якого феромагнітної речовини і укріплене у вертикаль- бусоль має таку будову: на кільце, зроблене з не- лі знаходяться за допомогою тангенс-бусолі. Тангенс- розташовану складову магнітного поля Зем- дові (рис. 3.1).

Горизонтальну складову магнітного поля Зем- дові (рис. 3.1). Вектор $\mathbf{H}$ можна розкласти на горизонтальну і вертикальну скла- стрілка буде нахилитися під деяким кутом α до горизонту. Тому магнітних полосах – вертикально. В усіх інших місцях земної кулі магнітного екваторі стрілка розташовується горизонтально, а на ного поля Землі, а саме по дотичній до силової лінії цього поля. На вона розташовується у напрямку вектора напруженості $\mathbf{H}$ магніт- ку так, щоб точка підвісу знаходилася у центрі мас стрілки, то зується вектором напруженості $\mathbf{H}$. Якщо підвісити магнітну стрі- Землі. Як і будь-яке силовое поле, магнітне поле Землі характери-

ковий зі струмом фази. З урахуванням (10.13) формула (10.12) має вигляд

$$K = \frac{I_0 R_2}{U_0}. \quad (10.13)$$

З (10.13) видно, що для вимірювання різниці фаз між силою струму в контурі і вхідною напругою досить виміряти її між на- пругами U_0 і U_1 .

Для схем, зображених на рис. 10.2, аналітичні вирази для кое- фіцієнта передачі K і кута зсуву фаз φ отримують з виразів (10.6), (10.7) і (10.13), підставляючи в них відповідні значення опору, на- пруги і сили струму:

а) схема RR ($R = R_1 + R_2$, $X_L = X_C$, $\varepsilon = U_0$):

$$I_0 = \frac{U_0}{(R_1 + R_2)}; \quad (10.14a)$$

$$\varphi = 0; \quad (10.14б)$$

$$K = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}; \quad (10.14в)$$

б) схема RC ($R = R_2$, $X_L = 0$, $X_C = 1/\omega C$, $\varepsilon_0 = U_0$):

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R_2^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \quad (10.15a)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{-1}{R_2 \omega C}; \quad (10.15б)$$

$$K = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \quad (10.15в)$$

в) схема RL ($R = R_2$, $X_L = \omega L$, $X_C = 0$, $\varepsilon_0 = U_0$):

змінювати в межах від 20 до 100 кГц з інтервалом 10 кГц.

лі контуру при різних частотах генератора. Частоту генератора 5. Провести вимірювання амплітуд коливань на вході й вихо- тора.

4. Повторити вимірювання пп. 2, 3 при інших частотах генера- напругою.

3. Визначити різницю фаз між силою струму в колі та вхідною частоті 20 кГц.

2. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при лі касети ФПЕ-09 дільнику з котушкою L .

1. За допомогою кнопочного перемикача підключити на пане- частоті 20 кГц.

і комутуючою індуктивністю

Дослідження електричних процесів в контурі з резистором

10. Результати вимірювань і обчислень записати в таблицю.

результатами безпосереднього вимірювання.

знанень частоти генератора. Порівняти отримані результати з 9. За формулою (10.15б) розрахувати різницю фаз для двох частот.

$$C = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2\pi R_2}. \quad (10.17)$$

мати $\operatorname{tg} \alpha = 2\pi C R_2$. Звідси

чити кут нахилу α лінійного відліка до горизонтальної осі v , отри- (див. (10.15в)) графік описується залежністю $K = 2\pi v C R_2$. Визна- користати його лінійну частину. При відносно низьких частотах 8. За допомогою графіка визначити ємність C . Для цього ви- 7. Побудувати графік залежності $K = f(v)$.

частот.

6. Розрахувати коефіцієнт передачі K для всього діапазону змінювати в межах від 20 до 100 кГц з інтервалом 10 кГц.

лі контуру при різних частотах генератора. Частоту генератора 5. Провести вимірювання амплітуд коливань на вході й вихо- тора.

4. Повторити вимірювання пп. 2, 3 при інших частотах генера- $\varphi = (a/\theta) \cdot 360$.

і період коливань (θ). Різниця фаз розраховується за формулою графа зсуву по горизонтальній осі між графіками двох сигналів (a) напругою. Для цього виміряти в поділках шкали екрана осцило- 3. Визначити різницю фаз між силою струму в колі і вхідною частотою.

Контрольні запитання

1. Куди спрямований північний кінець магнітної стрілки?
2. Чим характеризується магнітне поле Землі?
3. Як розташовується магнітна стрілка, точка підвісу якої співпадає з центром мас?
4. За допомогою якого приладу можна визначити горизон- тальну складову магнітного поля?
5. Чому дорівнює напруженість магнітного поля в центрі кільця, яке складене з N витків?

Рекомендована література

1. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. – К.: Ли- бідь, 1997. – С. 329–336.
2. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцук П.П. Загальний курс фізики: У 3 т. – К.: Техніка, 2001. – Т. 2. – С. 262–263, 270–276.
3. Путилов К.А. Курс фізики: В 2 т. – М.: Фізматгіз, 1963. – Т. 2. – С. 253–261.
4. Савельєв И.В. Курс общей физики: В 3 т. – М.: Наука, 1978. – Т. 2. – С. 131–133.

Лабораторна робота ЕМ-4

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПИТОМОГО ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОНА ЗА ДОПОМОГОЮ МАГНЕТРОНА

Мета роботи: ознайомлення з одним із методів визначення питомого заряду електрона.

Питомим зарядом електрона називають відношення електрич- ного заряду електрона до його маси. У даній роботі використаний найпростіший магнетрон. Він складається з двохелектродної лам- пи з циліндричним катодом і анодом, яка розміщена в магнітному полі соленоїда.

При нагріванні катода з його поверхні вилітають електрони, які скеровуються електричним полем в напрямку анода. Якщо одночасно з електричним за допомогою соленоїда створити й маг- нітне поле, спрямоване вздовж осі діода, то під дією сили Лоренца траєкторія руху електронів буде викривлятися. Сила Лоренца доцентрова, тому для неї можна записати співвідношення

1. Зібрати коло з послідовно увімкнених тангенс-бусолі, амперметра, рєсостата, ключа та джерела струму.
2. Привести бусоль до робочого стану.
3. При виконанні ключі розмістити кільце в площині меридіану.
4. Увімкнути струм, почекати, поки закінчатся коливання стрілки, зробити відлік та записати його у таблицю вимірів (кут повороту магнітної стрілки повинен бути в межах 40...50°).
5. Для зменшення похибки в установленні приладу необхідно змінити напрям струму у витках, для чого кінці провідників поміняти місцями.
6. Дослід виконати, змінюючи кількість витків (що досягається підключенням провідників до різних пар клем) при тому самому струмові або куті відхилення, пропуская струм у прямому й зворотному напрямках. Значення, одержані при прямому та зворотному напрямках струмів, усереднити для даної кількості витків.
7. Дані вимірювань та результати обчислень занести в таблицю. Необхідні дані взяти з приладу.
8. Похибку в обчисленні H_r розрахувати за середнім значенням від трьох значень H_r .

Порядок виконання роботи

$$H_r = \frac{NI}{d \lg \Phi} \quad (3.4)$$

$\lg \Phi = NI / d H_r$, звідси

$$H_r = \frac{NI}{2R} = \frac{d}{NI} \quad (3.3)$$

де I – сила струму в коіл, A ; R – радіус витка, м. Оскільки на кільце намотано N витків, то

$$H_r = \frac{2R}{I} \quad (3.2)$$

3. Контур має лише конденсатор ($R=0$, $L=0$). Тоді

$$Z = \frac{1}{\omega C}, \quad I_0 = U_0 \omega L, \quad \Phi = \frac{-\pi}{2} \quad (10.11)$$

тобто сила струму, що протікає через конденсатор, випереджає напругу на $\pi/2$.

В роботі досліджуються електричні процеси в контурах, які складаються з таких послідовно з'єднаних елементів:

- а) двох резисторів з опорами R_1 і R_2 (рис. 10.2, а, контур RR);
- б) резистора R_2 і конденсатора C (рис. 10.2, б, контур RC);
- в) резистора R_2 і котушки індуктивності L (рис. 10.2, в, контур RL).

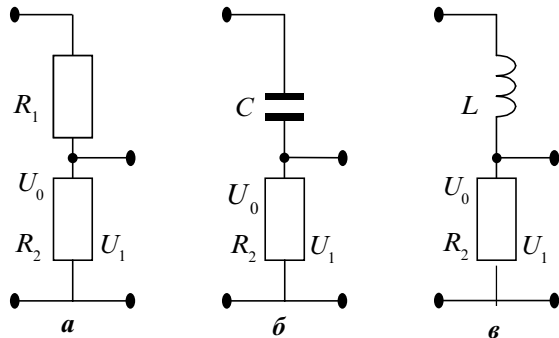


Рис. 10.2

Напруга на вході контуру дорівнює ЕРС генератора, елементи контуру R_1 , R_2 , C , L вважаються ідеальними, а електричні процеси в них – такими, що відбуваються за рівнянням (10.4).

Електричні контури характеризуються коефіцієнтом передачі K , що являє собою відношення амплітуди напруги U_{10} на виході контуру до амплітуди напруги U_0 на вході:

$$K = \frac{U_{10}}{U_0} \quad (10.12)$$

Напруга на виході контуру дорівнює падінню напруги на резисторі R_2 :

$$U_1 = IR_2 \quad (10.13)$$

тобто прямо пропорційна силі струму в коіл і змінюється в одна-

1. За допомогою кнопочного перемикача підключити на панель касети ФПЕ-09 дільник з конденсатором C .
2. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц.
3. За допомогою кнопочного перемикача підключити на панель касети ФПЕ-09 дільник з резистором R_1 .
4. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
5. Використовуючи формули (10.12) і (10.14), визначити опір резистора R_1 , якщо резистор R_2 має опір 75 Ом.
6. Використовуючи формули (10.12) і (10.14), визначити опір резистора R_2 , якщо резистор R_1 має опір 75 Ом.
7. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
8. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
9. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
10. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
11. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
12. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
13. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
14. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
15. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
16. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
17. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
18. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
19. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.
20. Побудувати графік коливань з екрану осцилографа при частоті 20 кГц. Зверніть увагу на різницю фаз коливань.

Порядок виконання роботи

Установка для вимірювання складається з кількох блоків: блок живлення ИП, касета ФПЕ-09 з елементами схеми і комутатором, звуковий генератор PQ , електронний осцилограф PO . При підготовці до роботи необхідно ознайомитися з описом електронного осцилографа і звукового генератора. Генератор, осцилограф і блок живлення підключаються до мережі (220 В), комутатор – до блока живлення (12 В).

$$K = \frac{\sqrt{R_2^2 + (\omega L)^2}}{R_2} \quad (10.16в)$$

$$\lg \Phi = \frac{\omega L}{R_2} \quad (10.16б)$$

$$I_0 = \frac{\sqrt{R_2^2 + (\omega L)^2}}{U_0} \quad (10.16а)$$

$$\frac{mV^2}{R} = BeV \sin \alpha, \quad (4.1)$$

де R – радіус кривизни траєкторії електрона; V – його швидкість у точці з радіусом R ; α – кут між B і V , у даному випадку $\alpha = 90^\circ$; e – заряд електрона; m – його маса.

Із співвідношення (4.1) визначаємо радіус кривизни траєкторії електрона

$$R = \frac{mV}{Be}. \quad (4.2)$$

Електрон отримує свою кінетичну енергію за рахунок роботи сил електростатичного поля. Отже,

$$\frac{mV^2}{2} = eU, \quad (4.3)$$

звідки

$$V = \sqrt{2eU / m}, \quad (4.4)$$

де U – різниця потенціалів між катодом і точкою місцезнаходження електрона в міжелектродному просторі.

Підставивши (4.4) в (4.2), отримаємо

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{e}}. \quad (4.5)$$

Якщо між катодом і анодом створити стаціонарне електричне поле (підтримувати сталу анодну напругу) і поступово збільшувати індукцію магнітного поля, то радіус кривизни траєкторії буде зменшуватись і стане настільки малим, що електрони вже не будуть попадати на анод, а повертатимуться до катода (рис. 4.1). При цьому буде спостерігатися різке падіння анодного струму. Значення B у цьому випадку матиме назву критичної індукції. Гра-

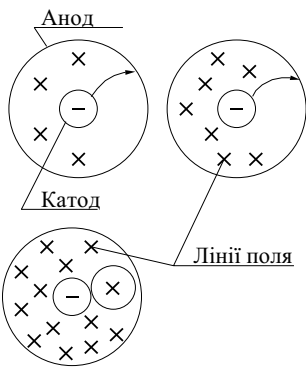


Рис. 4.1

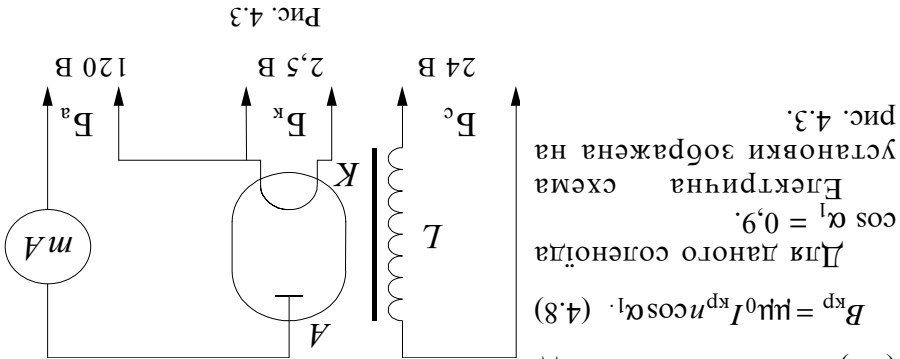


Рис. 4.3

Для даного соленоїда $B_{кр} = \mu \mu_0 I_{кр} n \cos \alpha_1$. (4.8)

Електрична схема устанавки зображена на рис. 4.3.

Для того щоб визначити $B_{кр}$, використаємо формулу для розрахунку індукції соленоїда скінченної довжини

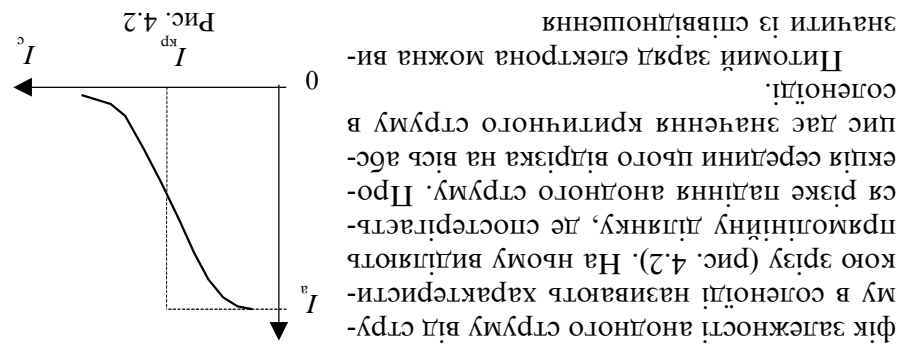
де r_a, r_k – радіуси анода і катода; U_a – різниця потенціалів між катодом і анодом.

Використаємо формулу для розрахунку індукції соленоїда скінченної довжини

де n – кількість витків на одиницю довжини котушки, вит./м; μ – відносна магнітна проникність; μ_0 – магнітна стала, Гн/м; α_1, α_2 – кут між напрямком магнітного поля і відрізками, що з'єднують кінці котушки з її центром. Оскільки $\alpha_2 = 180^\circ - \alpha_1$, то формула

(4.7) $B_{кр} = \mu \mu_0 I_{кр} n (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$

(4.6) $\frac{m}{e} = \frac{B_{кр}^2 \cdot r_a^2 \cdot \left(1 - \frac{r_k^2}{r_a^2}\right)}{8U_a}$



Питомий заряд електрона можна визначити із співвідношення

соленоїди.

Питомий заряд електрона можна визначити із співвідношення

4. Задати опір ($\sim 10^2$ Ом) і ємність (близько 10^{-3} мкФ).
5. Підготувати осцилограф до роботи, для чого виконати наступні операції:
 - а) у зоні "Синхронізація" на панелі осцилографа установити кнопку "Внутр." у положення "I", тумблер " $\rightleftharpoons$ " – у положення " $\rightleftharpoons$ ";
 - б) установити нижній тумблер " S " у положення " I ";
 - в) подати напругу з магазину ємностей (МС) на вхід каналу I (або II) осцилографа, відповідно перемикач роду робіт перевести в положення I (або II);
 - г) установити перемикач виду сигналів у положення " $\rightleftharpoons$ ";
 - г) перевести перемикач "I/под." каналу I (II) у положення "II";
 - д) установити ступеневий перемикач "Час/под." у положення 50...20 мс;
 - е) установити ручки, що розміщені на одній осі зі ступінчастими перемикачами "I/под." і "Час/под." у крайнє праве положення (за годинниковою стрілкою);
 - є) утопити ручку "Авт.";
 - ж) обертанням ручок " S " і " I " домогтися необхідної яскравості і фокусування;
 - з) установити ручками " I " і " I " зображення так, щоб його кінець збігався з горизонтальною середньою лінією екрана.
6. Обертаючи ручку " $\rightleftharpoons$ ", сумістити по черзі вимірювані амплітуди із середньою вертикальною шкалою екрана і виміряти величини амплітуд.
7. Підставити результати вимірювань п. 6 у формулу (9.8) і визначити добротність для декількох пар сусідніх амплітуд.
8. Визначити похибку за середнім.
9. Знаючи R, L, C , за формулою (9.10) підрахувати теоретичну величину добротності.
10. Порівняти отримані результати.

Контрольні питання

1. Що називається добротністю коливальної системи?
2. За яким законом зменшується амплітуда затухаючих коливань?
3. Яким співвідношенням зв'язані логарифмічний декремент затухання і коефіцієнт затухання?
4. Що називається логарифмічним декрементом затухання?

40
 $\pi/2$.

тобто сила струму в індуктивному опорі відстає від напруги на

- 10.10) $Z = \omega L, I_0 = \frac{U_0}{\omega L}, \phi = \frac{\pi}{2}$
2. Контур має лише індуктивний опір ($R = 0, C = \infty$). Тоді
- (10.9) $Z = R, I_0 = \frac{U_0}{R}, \phi = 0$
1. Контур має лише активний опір ($L = 0, C = 0$). Тоді
- Розглянемо окремі види контурів.

що стоїть в знаменнику (10.6), називається повним електричним опором або імпедансом.

Вираз

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

(10.7) $\tan \phi = \frac{\omega L - 1/(\omega C)}{R}$

Сила струму відстає по фазі від напруги на кут ϕ , який залежить від параметрів контуру і частоти:

де

(10.6) $I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$

(10.5) $I = I_0 \cos(\omega t - \phi)$

Розв'язуючи це рівняння, маємо для сили струму в колі

що описує вимушені коливання в контурі.

(10.4) $IR + L \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \int I dt = U_0 \cos \omega t$

рівняння

Співвідношення (10.1)–(10.3) приводять до диференціального

де

(10.3) $U_R = IR; U_L = L \frac{dI}{dt}; U_C = \frac{1}{C} \int I dt$

(10.2) $U = U_R + U_L + U_C$

2. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики: У 3 т. – К.: Техніка, 2001. – Т. 2. – С. 284–290.

3. Савельєв І.В. Курс общей физики: В 3 т. – М.: Наука, 1978. – Т. 2. – С. 141–145, 201–202.

Лабораторна робота ЕМ-5

ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТНОЇ ПРОНИКНОСТІ РЕЧОВИН

Мета роботи: експериментальне визначення магнітної проникності феритів резонансним методом.

Магнітна проникність речовини є найважливішим параметром, що входить в усі формули для розрахунку магнітних характеристик конструкцій, які містять індуктивні елементи.

Відомо, що індуктивність соленоїда визначається за формулою

(5.1) $L = \mu \mu_0 \frac{N^2}{l} S$

де N – число витків соленоїда; l – його довжина; S – площа поперечного перерізу; μ – відносна магнітна проникність; μ_0 – магнітна стала, Гн/м. Звідси магнітна проникність речовини осердя соленоїда

(5.2) $\mu = \frac{Ll}{\mu_0 N^2 S}$

Індуктивність соленоїда можна визначити, використавши явище резонансу напруг в електричному колі. Розглянемо коло, складене з котушки індуктивності та конденсатора. Подамо на кінці цього кола змінну напругу. Умовою виникнення резонансу в цьому колі є рівність частоти вимушених коливань напруги джерела струму ω власній частоті коливань контура ω_0 (за умови малості активного опору котушки):

(5.3) $\omega^2 = \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$

де ω – частота коливань напруги зовнішнього джерела ЕРС; C – ємність конденсатора.

617, 1997. – C. 341–346.

1. Бутшак Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. – К.: Лип-

Рекомендована література

1. Що називають питомим зарядом електрона?
2. Що таке магнетрон?
3. Які сили діють на електрон у магнетроні?
4. Чому сила Лоренца не виконує роботу?
5. Що таке характеристика зрізу?
6. Як визначити I_{kp} ?
7. Як розрахувати B_{kp} ?
8. Чому значення B_{kp} не можна визначити абсолютного точно?
9. Яким є теоретичне значення питомого заряду електрона?

Контроль за питанием

1. До ввімкнення установки виставити ручки "Напруга нагріву", "Струм соленіода" і "Напруга анода" у крайнє ліве положення і натиснути ліву клавішу "Контроль струму".
2. Увімкнути установку.
3. На вольтметрі В7-40 натиснути клавіші "Г" і "АВГ".
4. Дати приладам прогрітись не менше 10 хвилин.
5. Виставити ручкою "Напруга анода" задане викладачем значення напруги (40...100 В).
6. Натиснути праву клавішу "Контроль струму".
7. Змінюючи струм соленіода через 0,1 А від 0,4 до 2,0 А, записати величину анодного струму в міліамперах.
8. Провести дослід для трьох анодних напруг, заданих викладачем.
9. Вивести ручки "Струм соленіода" і "Напруга анода" у крайнє ліве положення, натиснути ліву клавішу "Контроль струму" і вимкнути установку.
10. За отриманими даними побудувати характеристики зросту графіками знайти I_{kp} у кожному випадку.
11. Розрахувати B_{kp} за формулою (4.8).
12. Визначити питомий заряд електрона для трьох значень анодної напруги за формулою (4.6).
13. Визначити похибку вимірювань методом середнього.

Порядок выполнения работ

$$Q = \frac{\pi}{\ln \frac{A(t)}{A(t+T)}}, \quad (9.8)$$

де $A(t)$, $A(t + T)$ – величини амплітуд, узятих через період.

З урахуванням (9.4) формула (9.7) матиме вигляд

$$Q = \frac{\pi}{\beta T}. \quad (9.9)$$

Виразимо коефіцієнт затухання β і період коливань T через параметри коливального контуру $\beta = R/2L$, $T = 2\pi\sqrt{LC}$, де R , L , C – відповідно омичний опір, індуктивність і ємність контуру. Підставимо їхні значення в (9.9), звідки

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (9.10)$$

де $\sqrt{L/C}$ – хвильовий опір контуру.

Таким чином, добротність електричного коливального контуру дорівнює відношенню його хвильового опору до омичного.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати коло за схемою (рис. 9.2), у яку входять такі прилади: генератор сигналів ГЗ-112/І (ГС), підсилювач ГЗ-112/І (УС), магазин опору (MR), котушка індуктивності (L), магазин ємностей (MC), осцилограф (O).

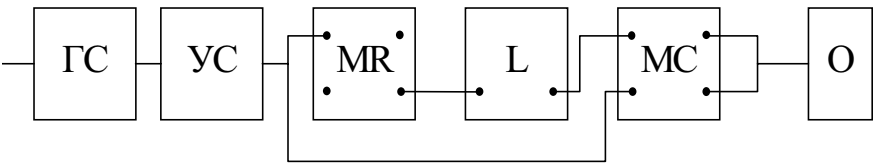
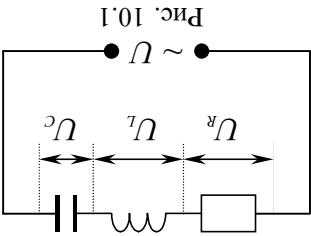


Рис. 9.2

2. Підключити до мережі генератор сигналів, підсилювач і осцилограф, для цього рукоятку на панелі осцилографа відпустити повністю.
3. На панелі ГС задати частоту у кілька сотень герц, перемикач "dB" установити в положення "10".



кожному з елементів контуру R, L, C :

$$(10.1) \quad \text{coset}^0 \mathcal{N} = \mathcal{N}$$

ном синууса або косинуса:

альними рівняннями.

опору комбінацією кількох ідеальних.

Елементи електричного кола поділяються на лінійні та нелінійні. Елемент називають лінійним, якщо його опір не залежить від сили струму в колі чи від прикладеної напруги. Електричні процеси, що протікають у лінійних контурах (рис. 10.1), описують лінійними алгебраїчними чи диференціальними рівняннями.

Якщо в контурі протікає змінний електричний струм, то, крім активного опору, контур має реактивний опір, спричинений наявністю ємності (ємнісний опір) чи індуктивності (індуктивний опір). Реальні елементи контуру мають одночасно як активний, так і індуктивний опір. Якщо активний опір набагато більший від індуктивного, то останній нехтують. Такі елементи кола називають резисторами. Елементи кола, які мають один тип опору, називають ідеальними. Іноді можна вважати реальний елемент

ВІСНИК НАУКОВОЇ І ПРАКТИЧНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Лабораторна робота ЕМ-10

1. *Демидов А. А., Воробей Б. М.* Курс физики. – М.: Наука, 1989. – С. 308.
2. *Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Лушак П. П.* Загальний курс фізики: У 3 т. – К.: Техніка, 2001. – Т. 2. – С. 386–392.
3. *Савельев И. Б.* Курс общей физики: В 3 т. – М.: Наука, 1978. – Т. 2. – С. 255–258.

Рекомендована література

5. Чому порівняне хвильовий опір контуру?
6. Як виражаються коефіцієнт затухання і період затухання через параметри коливального контуру?
7. Чому порівняне добротність коливального контуру?

Отже, у випадку резонансу формула (5.2) матиме вигляд

$$\mu = \frac{l}{\mu_0 \omega^2 C N^2 S}. \quad (5.4)$$

Оскільки L , N та S є сталими для даного соленоїда і можуть бути визначеними, залишається підібрати для деякої ємності C частоту ω , при якій спостерігається резонанс напруг. Це здійснюється за допомогою схеми, основою якої є вимірювач добротності ВМ-560. До його клем підключають котушку індуктивності, намотану на феритове осердя, магнітну проникність речовини якого необхідно визначити. Вимірювач добротності ВМ-560 конструктивно містить у собі генератор змінної ЕРС, частоту якої можна змінювати в широких межах, і конденсатор змінної ємності.

Порядок виконання роботи

1. Скласти установку згідно зі схемою.
2. Встановити довільне цілочисельне значення ємності конденсатора.
3. Змінюючи частоту ЕРС генератора, знайти таке її значення, що відповідає резонансу (визначається за максимальним відхиленням стрілки вольтметра вимірювача добротності).
4. Повторити вимірювання для трьох різних ємностей конденсатора.
5. Визначити резонансну циклічну частоту для кожного випадку.
6. Записати параметри котушки: товщину і ширину феритового кільця, його внутрішній і зовнішній діаметри, кількість витків. Визначити площу поперечного перерізу кільця і середню довжину котушки.
7. Розрахувати за формулою (5.4) числове значення магнітної проникності для кожного вимірювання.
8. Розрахувати похибку методом середнього.

Контрольні запитання

1. Що називають магнітною проникністю речовини?
2. Що таке індуктивність контура?
3. Яке явище називають резонансом?

отже, (9.7) можна записати як

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)},$$

через проміжок часу, що дорівнює періоду коливань, тобто

Логарифмічним декрементом затухання λ називається нагу-

$$\bar{Q} = \frac{\lambda}{\pi}.$$

З урахуванням (9.6) співвідношення (9.5) після перетворення

$$e^{-\beta t} = 1 - \frac{\pi}{2\lambda} = 1 - 2\lambda. \tag{9.6}$$

Розкладемо функцію $e^{-2\lambda}$ в ряд Маклорена і, взявши для до-

$$\bar{Q} = \frac{1 - e^{-2\lambda}}{2\pi}. \tag{9.5}$$

запишемо

$$\lambda = \beta T, \tag{9.4}$$

крементом затухання λ співвідношенням

З огляду на те, що коефіцієнт зату-

$$\bar{Q} = 2\pi \frac{A^2(t)e^{-\beta t}}{A^2(t+T)e^{-\beta(t+T)}} = \frac{1 - e^{-2\beta T}}{2\pi} \tag{9.3}$$

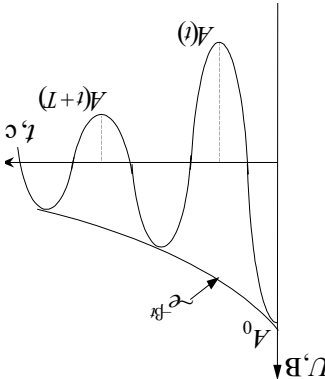
Підставивши (9.1) у (9.2), одержимо

дієть затухання коливань.

Після затухання, що характеризує шви-

де A_0 – початкова амплітуда; β – коэф-

$$A = A_0 e^{-\beta t}, \tag{9.2}$$



рівнює ЕРС індукції, яка виникає в первинному колі. Таким чином,

$$E_1 = i_1 R_1 - U_1. \tag{6.1}$$

З іншого боку,

$$E_1 = - \frac{d\Phi_1}{dt} N_1, \tag{6.2}$$

де Φ_1 – магнітний потік, який пронизує один з витків первинної обмотки; N_1 – число витків первинної обмотки. Магнітний потік, який пронизує кожний з витків вторинної обмотки, $\Phi_2 = k\Phi_1$, де k – коефіцієнт, що враховує різницю перерізів первинної S_1 і вторинної S_2 обмоток.

Для ЕРС індукції вторинної обмотки

$$E_2 = - \frac{d\Phi_2}{dt} N_2 = -k \frac{d\Phi_1}{dt} N_2, \tag{6.3}$$

де N_2 – число витків у вторинній обмотці. Враховуючи вирази (6.2) і (6.3), знаходимо, що

$$E_2 = E_1 k \frac{N_1}{N_2} = k \frac{N_1}{N_2} (i_1 R_1 - U_1). \tag{6.4}$$

З формули (6.4) видно, що, коли температура дослідного зразка досягає точки Кюрі, коефіцієнт самоіндукції, а отже, й індуктивний опір первинної обмотки різко зменшуються і практично дорівнюють нулю. Через це в точці Кюрі $E_2 = 0$.

Температура дослідного зразка вимірюється за допомогою термопари Т (хромель-алюмель) і приладу В7-35 (див. рис. 6.1). Робочий кінець термопари разом із зразком міститься в печі, а вільний кінець знаходиться в посудині Дьюара Д при сталій температурі. Треба пам'ятати, що при температурі вільних кінців термопари вище нульової прилад показує занижену, порівняно з дійсною, температуру зразка. Тому в процесі вимірювання до показань приладу необхідно додавати температуру вільних кінців термопари. Другий прилад В7-35 використовується для визначення струму у вторинній обмотці.

порядок у розміщенні магнітних моментів атомів, руйнуються "до-
При збільшенні температури у ферромагнетик порушується
 B_0 ($\mu > 1$), яка, крім того, не є сталою, а залежить від B_0 .

магнетики, у яких B' має набагато більшу величину порівняно з
має невелике значення, але протилежний напрям ($\mu < 1$); феро-
няно з B_0 і той же напрям ($\mu > 1$); діамagnetики, у яких B' також
три групи: парамagnetики, у яких B' має невелике значення порів-
носно B_0 , а також від значення μ всі речовини можна поділити на
Залежно від величини магнітного поля B' і його напрямку від-
 $B = B_0$).

де μ – відносна магнітна проникність середовища, яка показує, у
скільки разів підсилюється поле в магнетик (для вакууму $\mu = 1$,

$$B = \mu B_0.$$

тика і зовнішнього магнітного поля B_0 .
ції, величина і напрямки якого залежать від властивостей магне-
сума цих полів ($B = B_0 + B'$) називається вектором магнітної індук-
 B' , яке накладається на зумовлене струмами поле B_0 . Векторна
му полі, намагнічується. У ньому виникає додаткове магнітне поле
Будь-який магнетик, що перебуває у зовнішньому магнітно-
ромagnetиків методом електромагнітної індукції.

Мета роботи: експериментальне визначення точки Кюрі фе-

ФЕРОМАГНІТНИХ СПЛАВІВ МЕТАЛІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧКИ КЮРІ

Лабораторна робота EM-6

1. Бутко Г.Ф., Левицький В.В., Шень Г.Ф. Курс фізики. – К.: Лн-
биль, 1997. – С. 369–372, 414–416.
2. Кучерук Л.М., Горбачук Л.Т., Луцук П.П. Заставний курс фізики:
У 3 т. – К.: Техніка, 2001. – Т. 2. – С. 307–315, 366–372.
3. Савельєв И.В. Курс общей физики: В 3 т. – М.: Наука, 1978. – Т. 2. –
С. 182–184, 251–262.

Рекомендована література

4. Що називають власною частотою коливань контура?
5. Які елементи кола змінного струму називають реактивни-

мірюючи при цьому силу струму в колі, визначити величину омич-
ного опору за формулою (8.5). Отримані результати усереднити.

Визначення повного опору котушки

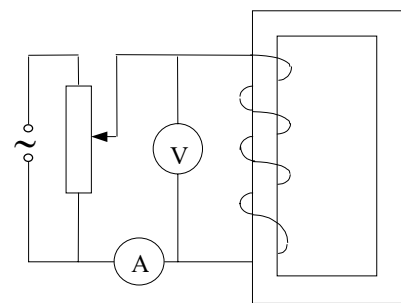


Рис. 8.2

1. Зібрати коло згідно з рис. 8.2. При цьому котушка трансформатора включається в коло змінного струму.
2. За допомогою реостата подавати в коло напругу 5...100 В, кожний раз змінюючи напругу на 5 В. Записувати при цьому відповідну силу струму при кожному значенні напруги до таблиці.

Розрахунок індуктивності соленоїда

1. За даними таблиці визначити всі значення повного опору Z за формулою (8.6).
2. За формулою (8.9) обчислити значення індуктивності і занести до таблиці.
3. Побудувати графік залежності $L_{\text{дин}}(I)$ з показом поля похибок. Похибку розрахувати лише для максимального значення $L_{\text{дин}}$ (у цьому випадку відносна похибка максимальна). Необхідні для цього величини отримати таким чином: похибку обчислення омичного опору визначити за середнім; похибку обчислення Z і $L_{\text{дин}}$ розрахувати методом диференціювання натурального логарифма функції, використовуючи співвідношення (8.6) і (8.9); для знаходження інструментальної похибки при визначенні змінної напруги і сили струму використати формули, записані на стенді в лабораторії. При цьому визначати похибку для значень, що відповідають максимуму $L_{\text{дин}}$.

Контрольні запитання

1. Побудувати векторну діаграму для напруг у повному колі змінного струму.
2. Чому дорівнює повний опір електричного кола змінного струму?
3. Що таке індуктивність?

Амплітуда затухаючих коливань (рис. 9.1) зменшується з ча-
сом за законом

(9.1)
$$\tilde{Q} = 2\pi \frac{A_2(t) - A_2(t+T)}{A_2(t)}$$

рату амплітуди коливань $A(t)$, то
Оскільки енергія $W(t)$ коливної системи пропорційна квад-
 $t + T$; T – період коливань.

де $W(t)$, $W(t+T)$ – енергія коливної системи в моменти часу t і
$$\tilde{Q} = 2\pi \frac{W(t) - W(t+T)}{W(t)}$$

вань:
енергії за проміжок часу, що дорівнює періоду затухаючих коли-
коливної системи в довільний момент часу до зменшення цієї
величина, що дорівнює помноженому на 2π відношенню енергії
Добротність коливної системи називається безрозмірна
то контуру.

Мета роботи: навчитися визначати добротність коливноїно-

ВИЗНАЧЕННЯ ДОБРОТНОСТІ КОЛИВАЛЬНОГО КОНТУРУ

Лабораторна робота ЕМ-9

С. 169–173, 182–184.
3. Савельєв И.В. Курс общей физики: В 3 т. – М.: Наука, 1978. – Т. 2. –
У 3 т. – К.: Техніка, 2001. – Т. 2. – С. 324–331, 352–359, 366–371.
2. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцук П.П. Загальний курс фізики:
бдп, 1997. – С. 357–361, 369–372.
1. Буток Г.Ф., Левицький В.В., Шивень Г.Ф. Курс фізики. – К.: Ли-

Рекомендована література

4. Чому залежність динамічної індуктивності від сили струму
нелінійна?
5. Як отримати формулу для визначення динамічної індуктив-
ності?
6. Як отримати формули для визначення похибок Z і $L_{\text{дин}}^{\text{н}}?$

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему згідно з рис. 6.1.
2. Увімкнути цифрові прилади і дати їм прогрітися протягом
10...15 хвилин.
3. За допомогою автотрансформатора встановити електрич-
ний струм у первинній обмотці (2 А).
4. Зняти показники прилада В7-35 і ЕРС індукції за шкалою
цифрового вольтметра. Коли струм міліамперметра почне змен-
шуватися, відлік проводити через 3...5 с. Нагрівання припинити,
коли струм перестане зменшуватись. Вимкнути установку, розі-
брати коло.
5. Побудувати графік залежності E_2 та температури від часу.
Визначивши момент різкого зменшення струму, за другим графі-
ком визначити температуру Кюрі.

Спосіб 2. За допомогою осцилографа можна спостерігати яви-
ще магнітного гістерезису при перемагнічуванні феромагнітного
зразка. На рис. 6.2 показано установку, яка дозволяє фіксувати
петлю гістерезису безпосередньо на екрані осцилографа. Дослід-

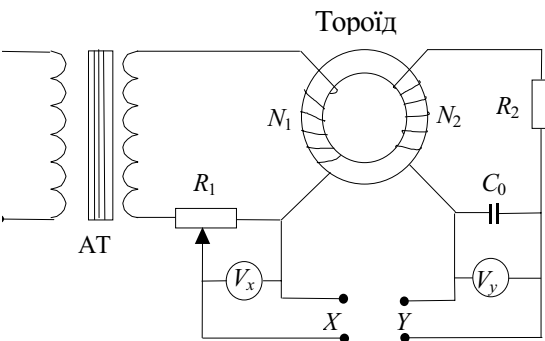


Рис. 6.2

подається з реостата R_1 , а на клеми Y – з вторинної обмотки до-
слідного зразка. Якщо правильно підібрати опір R_2 і ємності кон-
денсатора C_0 , на екрані осцилографа з'явиться петля гістерезису.
Щоб зрозуміти принцип утворення петлі, розглянемо рух елект-
рона в осцилографі. Електрон, який влітає в електричне поле пла-
стин X , буде рухатись по параболі під дією поля.

Позначимо через U_x різницю потенціалів на клеммах X . За за-

де $U_R = i_1 R_1$ – спад напруги на омичному опорі первинної обмотки;
 $U_L = -E_1$ – спад напруги на індуктивному опорі, що чисельно до-

$$U_1 = U_R + U_L$$

ное

Напруга на первинній обмотці, тобто на обмотці печі, дорів-

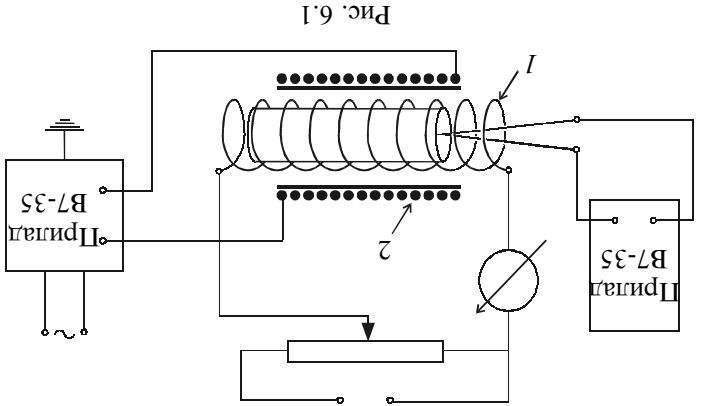


Рис. 6.1

тор, роль осердя у якому відіграє дослідний зразок.
ривалена котушка і дослідний зразок утворюють трансформа-
ринної шаром теплоізоляційного матеріалу. Обмотка печі, вимі-
на цифровий вольтметр. Первинна обмотка відокремлена від вто-
роне змінне магнітне поле. Кінці вимірювальної котушки 2 замкнуті
ка печі I служить одночасно й намагнічуючою обмоткою, яка ство-
рис. 6.1. Трубка зі зразком O розміщується в електронечі. Обмот-
літуди. Визначити точку Кюрі можна за допомогою схеми на
зразок, який перебуває у змінному магнітному полі постійної ам-
електрорушійної сили індукції в котушці, що охоплює дослідний
Спосіб 1. Метод електромагнітної індукції базується на зміні
ри.

ті наводяться два варіанти (способи) визначення цієї температу-
то зразка при нагріванні його до температури Кюрі. У даній робо-
базується на релаксації різкого падіння намагніченості дослідно-
Вільність методів визначення точки Кюрі феромагнетиків
ратура, яка відповідає такому процесу, називається точкою Кюрі.
час свої властивості, перетворюючись на парамагнетик. Темпе-
мени" – області спонтанного намагнічення – і феромагнетик втра-

де U – напруга на кінцях котушки; I – сила постійного струму в
колі.

Повний опір (його інакше називають уявним опором або імпе-
дансом) визначається за формулою

(8.6)
$$Z = \frac{U_{\text{еф}}}{I_{\text{еф}}}$$

де $U_{\text{еф}}$ – ефективна (або діюча) напруга змінного струму; $I_{\text{еф}}$ –
ефективне значення сили змінного струму.

З іншого боку,

(8.7)
$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

де $\omega = 2\pi f$ – циклічна частота; C – ємність контуру; L – індуктив-
ність контуру; $(\omega L - 1/\omega C)$ – реактивний опір контуру; $\omega L = X_L$ –
індуктивний опір; $1/\omega C = X_C$ – ємнісний опір.

Коли в контурі розривів немає, то його C (при частоті $f = 50$ Гц)
можна вважати нескінченною, а ємнісний опір $X_C = 0$. У цьому
випадку рівняння (8.7) має вигляд

(8.8)
$$Z = \sqrt{R^2 + \omega L^2}$$

звідки

(8.9)
$$L_{\text{дин}} = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z^2 - R^2}$$

Порядок виконання роботи

Визначення омичного опору
катушки

1. Згідно з рис. 8.1 зібрати коло з включенням котушки
трансформатора і підключити до джерела постійного струму.
2. Задаючи значення на-
пруги $U = 4; 6; 8; 10; 12$ В і ви-

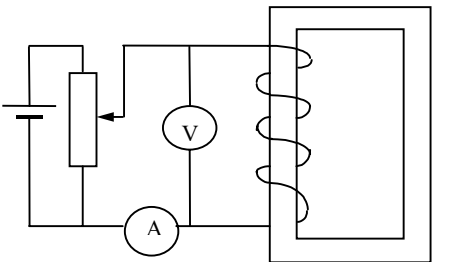


Рис. 8.1

де E_m – ЕРС взаємної індукції обмоток; E_c – ЕРС самоіндукції. Наявність ЕРС вторинної обмотки обумовлює спад напруги на опорі R_2 :

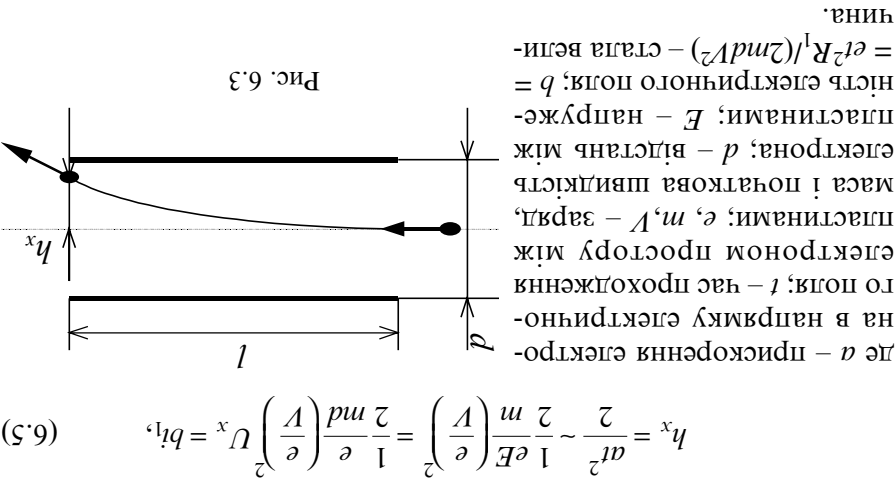
$$U = i_2 R_2$$

де k_1 – коефіцієнт пропорційності.

Розглянемо вторинне коло тороїда. ЕРС вторинної обмотки дослідного зразка визначається рівністю

$$E = E_m + E_c$$

Напруженість магнітного поля у феромагнетика пропорційна силі струму в первинному колі тороїда, тому відхилення h_x електронного променя в осцилографі пропорційно величині напруженості магнітного поля феромагнетика:



де R_1 – опір релостата R_1 ; i_1 – сила струму в первинному колі тороїда.

Відхилення h_x (рис. 6.3) електрона в електронному полі пластини X від прямолинійного шляху визначається рівнянням

$$U_x = i_1 R_1$$

коном Ома

стю до десятої долі великої поділки N_x . Тоді ціна поділки $C_x = U_{x \max} / N_x$.

10. Схематично зобразити петлю гістерезису разом з вертикальними лініями сітки. Кожній точці перетину вертикальних ліній сітки з петлею гістерезису і крайнім точкам петлі присвоїти свої номери.

11. Занести в табл. 1 значення $U_x = C_x k$ (k – номер вертикальної лінії; за нульову прийнята середня).

12. Підводячи ручкою "1" каналу B пронумеровані точки до однієї з горизонтальних ліній (єдиної для всіх точок), записати в таблицю напругу U_y , зняту з цифрового індикатора.

13. Записати всі дані, що стосуються даного тороїда.

14. Повторити всі вимірювання, починаючи з п. 3, з іншим заданим викладачем тороїдом.

15. Обробити дані: відняти середні значення від U_x і U_y , обчислити $n_1/R_1 = N_1/(l_1 R_1)$ і $R_2 C/(N_2 S)$. За формулами (7.5) і (7.6) розрахувати H і B для всіх точок. За цими даними побудувати графік $B = f(H)$. Користуючись ним, визначити залишкову намагніченість $B_{\text{зал}}$, коерцитивну силу H_K і μ для крайніх точок петлі гістерезису.

Додаткове завдання: чисельним інтегруванням визначити площу петлі гістерезису.

Таблиця 1

Матеріал тороїда ...						
$N = \dots ; l_1 = \dots ; R_1 = \dots ; R_2 = \dots ; C = \dots ; N_2 = \dots$						
Номер точки	U_x	U_y	$U_x - U_{x \text{сер}}$	$U_y - U_{y \text{сер}}$	H	B
1						
2						
...						

Контрольні запитання

1. Які речовини належать до феромагнетиків?
2. Чому μ для феромагнетиків велике?
3. Що таке домени? Які їх головні властивості?
4. Які зміни відбуваються з доменом при внесенні феромагнетика в магнітне поле?
5. Що таке гістерезис? Навести приклад немагнітного гістерезису.

$$r = R = \frac{I}{U} \quad (8.5)$$

При живленні котушки трансформатора змінним струмом практичне значення має $L_{\text{дин}}$. У даній роботі визначення $L_{\text{дин}}$ котушки трансформатора іррентується на знаходженні її активної опору r та повного опору Z . Для невеликих частот ($f \sim 50$ Гц) активний опір $r = R$, де R – омичний опір, який визначається за формулою

Якщо осередя котушки зроблене з феромагнітної речовини, то залежність відносної магнітної проникності μ від сили струму I перебізу котушки.

довжини котушки; l – довжина котушки; S – площа поперечного вища; $n = N / l$ – кількість витків, що припадають на одиницю де μ_0 – магнітна стала; μ – відносна магнітна проникність середо-

$$L_{\text{ст}} = \frac{\Psi}{I} = \frac{I}{\Phi N} = \mu \mu_0 n^2 l S,$$

Для феромагнетиків $L_{\text{ст}}$ не дорівнює $L_{\text{дин}}$, оскільки потікочечення не є лінійною функцією від I . Для котушки індуктивності

$$L_{\text{ст}} \approx L_{\text{дин}}$$

Динамічна індуктивність контуру (катушки) чисельно дорівнює ЕРС, що виникає в контурі, якщо сила струму в ньому за одиницю часу змінюється на один ампер. У випадку неферомагнітного середовища

$$L_{\text{дин}} = \frac{E}{(dI/dt)} \quad (8.4)$$

Поряд із статичною індуктивністю контуру або котушки розглядають динамічну індуктивність, яку вираховують за формулою ЕРС самоіндукції

В одиницях СІ індуктивність вимірюється в генрі (Гн).

$$L_{\text{ст}} = \frac{I}{\Psi} \quad (8.3)$$

Статичною індуктивністю $L_{\text{ст}}$ називають відношення потокозчеплення Ψ до струму I для даної котушки або контуру:

$$h_y = k_2 B,$$

де k_2 – коефіцієнт пропорційності.

Таким чином, зміщення світної плями на екрані осцилографа в горизонтальному напрямі пропорційне магнітному полю H , а по вертикалі – індукції магнітного поля B . Отже, електронний промінь буде викреслювати криву залежності $B = f(H)$. За один період синусоїдального струму слід електронного променя опише повну петлю гістерезису на екрані осцилографа, а за кожний наступний період повністю повторить її, петля гістерезису буде нерухомою на екрані.

При температурі, яка дорівнює точці Кюрі, тороїд втрачає феромагнітні властивості. На екрані замість петлі гістерезису буде пряма лінія.

Тороїд з обмотками опускають у хімічний стакан, опущений в інший, більш широкий хімічний стакан, у якому знаходиться мінеральне масло (рис. 6.4). Стакан закривають кришкою, на яку виведені клеми первинної і вторинної обмоток тороїду, і ставлять на електричну плитку. Для того щоб тороїд по перерізу мав однакову температуру, нагрівання проводять досить повільно. Температура тороїда вимірюється термопарою. Кінці термопари виведені на кришку стакана і через ключ з'єднуються з гальванометром. За відхиленням стрілки гальванометра і за градуйованою кривою можна судити про температуру тороїда. Треба пам'ятати, що за відхиленням стрілки гальванометра знаходять різницю температур феромагнетика і навколишнього середовища. Тому до температури, що визначалась за градуйованою кривою, необхідно додавати температуру вільних кінців термопари.

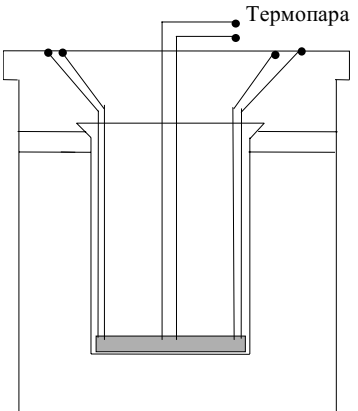


Рис. 6.4

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему згідно з рис. 6.2.
2. Перемикач панелі осцилографа "Діапазон частоти" поста-

вертикалі пропорційно B .
тобто різниця потенціалів U_c на пластині Y пропорційна індукції магнітного поля y зразку відхилення електронного променя по

$$U_c = \frac{C}{q} = \frac{C}{1} \frac{N_2 S}{R_2} B, \tag{6.11}$$

де q – кількість електрики, яка протікає по вторинному колу.
Підставляємо у вираз (6.10) рівняння (6.7) і знаходимо

$$dB = -N_2 \frac{R_2}{S} \int_{i_2}^0 i_2 di = -\frac{N_2^2 S}{R_2} q, \tag{6.10}$$

або

$$dB = -\frac{N_2^2 S}{R_2} i_2 di$$

Із рівняння (6.9) одержимо
ці та індукція магнітного поля в дослідному зразку.
ників вторинної обмотки; Φ і B – відповідно потік магнітної індукції
де N_2 – число витків вторинної обмотки тороїда; S – переріз повід-

$$E_n = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 S \frac{dB}{dt} = i_2 R_2, \tag{6.9}$$

Параметри робочої установки заважди вибираються так, щоб величинами E_c і q/C_0 у виразі (6.8) можна було знехтувати. Тоді

$$E = E_n + E_c = i_2 R_2 + q/C_0. \tag{6.8}$$

Таким чином,
осцилографа X ; q – електричний заряд.

де C_0 – ємність конденсатора вертикально відхиляючих пластин

$$U_0 = \frac{C_0}{q}, \tag{6.7}$$

ках конденсатора C_0
де i_2 – струм у вторинній обмотці. Різниця потенціалів на обклад-

кач під цими ручками в положенні "↔"; ручка "⊖" (під індикатором) зони вимірювань – у крайньому правому (або лівому) положенні і віджата; ручки "⬆" каналів A і B та "↔" – в середньому положенні; перемикач "Час/под." – в положенні "XY"; ручка "Режим роботи" – в положенні "B" або "A і B" (вертикальна розвертка каналів A і B); ручка "плавно" ступінчастого перемикача "Час/под." повинна бути натисненою.

2. Увімкнути осцилограф: підключити в мережу, ручку "Мережа" віджати, при цьому повинні увімкнутись індикатори – цифровий і "B(mB)". Дати прогрітись осцилографу 15 хвилин.

3. Підключити установку з тороїдами до мережі та за допомогою відповідного перемикача підключити до кола один з тороїдів.

4. Для вимірювання напруги U_x підключити кабель каналу "B" до клем "X" і "Земля" установки. Кабель каналу "A" повинен бути відключений від установки. Від осцилографа кабель не відключа-ти.

5. На екрані ЕПТ розвертка U_x буде мати вигляд відрізка вертикальної прямої. Ступеневим перемикачем "V/под." каналу B установити довжину цього відрізка рівною 5...8 великим поділкам вертикальної шкали і, якщо потрібно вивести відрізок на середину екрана ЕПТ, ручками "Θ" і "⚙" встановити оптимальне фокусування і яскравість розвертки.

6. Вибрати одну з горизонтальних ліній сітки екрана ЕПТ (бажано сусідню з середньою) і ручкою "⬆" каналу B підвести до неї верхній, а потім нижній (або навпаки) кінці розвертки (відрізка), записуючи при цьому показники B_v і B_n цифрового індикатора і одиниці вимірювання. Величина напруги на клемі "X" дорівнює $2U_{x\max} = |B_v - B_n|$.

7. Відключивши від кабелю каналу B клеми установки, отримати на екрані одну або дві світні точки. Ручками "⬆" каналів A і B і ручкою "↔" перевести ці світні точки в центр сітки.

8. Приєднати кабель каналу B до клем "X", "Земля"; кабель каналу A до клем "Y", "Земля" установки. Перемикачами "V/под." установити розмір петлі гістерезису в межах сітки (6...10 великих поділок). Ручками "⬆" каналу B і "↔" розмістити петлю гістерезису симетрично до центра екрану.

9. Визначити горизонтальний розмір петлі гістерезису з точні-

$$\psi = N \Phi. \tag{8.2}$$

ковий, то
складається з N витків, а потік, що пронизує кожний виток, одна-
де Φ – магнітний потік, що пронизує один виток. Якщо котушка

$$\psi = \sum \Phi, \tag{8.1}$$

магнітний потік ψ визначається за формулою
браїчна сума магнітних потоків (потокозчеплення, або повний
котушки кожний її виток пронизується магнітним потоком. Аде-
порційний силі струму в контурі. При проходженні струму через
више, в якому знаходиться контур, не феромагнітне, то потік про-
магнітний потік через площу, обмежену контуром. Якщо середо-
При проходженні струму по замкненому контурі утворюється
дуктивності котушки трансформатора.

Мета роботи: експериментальне дослідження динамічної ін-

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНДУКТИВНОСТІ СОЛЕНОІДА ВІД СИЛИ СТРУМУ

Лабораторна робота EM-8

1. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. – К.: Либідь, 1997. – С. 349–362.
2. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики: В 2 т. – М.: Наука, 1972. – Т. 2. – С. 282–305.
3. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцук П.П. Загальний курс фізики: У 3 т. – К.: Техніка, 2001. – Т. 2. – С. 307–316, 324–339.
4. Савельев И.В. Курс общей физики: В 3 т. – М.: Наука, 1978. – Т. 2. – С. 146–154, 169–173.

Рекомендована література

9. Сформулювати закон електромагнітної індукції.
- Питання роботи інтегруючої схеми.
8. Чому на вертикальний вхід осцилографа не подають напруж- безпосередньо зі вторинної обмотки тороїда? Пояснити при- ки та м'які?
7. За якими параметрами феромагнетиків поділяють на жорст- ки та м'які?
6. Як можна пояснити залишкову намагніченість?

вити в положення "Вимк". Увімкнути осцилограф і трансформатор. Дати прогрітись осцилографу протягом 5...10 хвилин.

3. Відрегулювати яскравість і фокус електронного променя, одержати зображення петлі гістерезису в центрі екрана.

4. Замалювати сімейство петель гістерезису (3–5 шт.), одержаних шляхом зміни вихідної напруги автотрансформатора в межах від 50 до 200 В.

5. Визначити температуру точки Кюрі, коли при нагріванні феромагнетика на екрані буде зникати петля гістерезису і переходити в пряму лінію.

6. Оцінити похибку вимірювань точки Кюрі методом середнього значення.

Контрольні запитання

1. Пояснити фізичний смисл температури Кюрі.
2. На які групи поділяються магнетиків?
3. Які властивості мають феромагнетиків?
4. Як враховується кімнатна температура при визначенні точки Кюрі?
5. Пояснити принцип роботи потенціометра.
6. З якою метою в роботі використовується змінне магнітне поле сталої амплітуди?
7. Пояснити призначення посудини Дьюара в даній роботі.
8. Чому ЕРС індукції у вторинній обмотці зменшується при нагріванні дослідного зразка до точки Кюрі?
9. Чому при досягненні температури Кюрі петля гістерезису на екрані осцилографа переходить у пряму лінію?
10. Чому для різних речовин температура Кюрі різна?

Рекомендована література

1. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. – К.: Либідь, 1997. – С. 349–362.
2. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики: В 2 т. – М.: Наука, 1972. – Т. 2. – С. 282–305.
3. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцук П.П. Загальний курс фізики: У 3 т. – К.: Техніка, 2001. – Т. 2. – С. 307–316, 324–339.
4. Савельев И.В. Курс общей физики: В 3 т. – М.: Наука, 1978. – Т. 2. – С. 146–154, 169–173.
5. Физический энциклопедический словарь. – М.: Сов. энцикл., 1984. – С. 336.

1. Початкове положення ручок управління (виставляється латорантом): ручки "00", "0", "Δ", "Δ" – в середньому положенні; ручки "швидко" (каналів A, B та "Час/под.") – у крайньому правому положенні показником проти мітки "▲"; ручка "швидко" каналу A – в положенні "норм.", каналу B – в полож. "інверт."; переми-

Порядок виконання роботи

де V – об'єм зразка, $V = S (l_1 + l_2)$.

$$P = W f V,$$

Врати енергії на перематнічування

$$W^m = W f.$$

Якщо частота змінного струму дорівнює f , то кількість намагнічувань за секунду також дорівнює f ; тоді енергія, що виділя-

$$W = G r^H r^B.$$

При перематніченні фероматнітика частина енергії магнітно-го поля витрачається на переорієнтування домів і виділяється у вигляді тепла. Кількість теплоти, яка виділяється за один цикл в одиниці об'єму фероматнітику, чисельно дорівнює площі петлі гістерезису G , помноженій на масштаб r^H і r^B .

$$(7.5) \quad B = \frac{R_1}{m} U_x, \quad B = \frac{R_2 C}{N_2 S} U_y.$$

З формул можна визначити

Якщо один період синусоїдального струму електронний промінь описує петлю гістерезису на екрані осцилографа, а за кожний наступний період повністю повторить її. Таким чином, петля гістерезису буде заглиблюватися нерухомо на екрані.

На горизонтальній пластині осцилографа подають напругу U_y і отримують вертикальне відхилення променя, пропорційне магнітній індукції B .

де S – площа поперечного перерізу витка вторинної обмотки торо-

Напруженість магнітного поля, створюваного змінним струмом, що протікає по первинній обмотці тороїду,

$$H = n_1 I, \quad (7.2)$$

де n_1 – число витків на одиницю довжини; I – сила струму. Напруга, яку знімають з активного опору R_1 у колі первинної обмотки,

$$U_x = I R_1 = \frac{I R_1}{n_1}. \quad (7.3)$$

Якщо подати цю напругу на горизонтальний вхід осцилографа, то відхилення променя по осі абсцис буде пропорційне силі струму, а отже, і напруженості магнітного поля тороїда.

Електрорушійна сила індукції, яка виникає у вторинній обмотці,

$$\varepsilon_2 = - \frac{d\Phi_2}{dt} N_2 = -k \frac{d\Phi_1}{dt} N_2, \quad (7.4)$$

де N_2 – число витків вторинної обмотки.

Напруга є пропорційна dB/dt . Тому є подають не на вертикальний вхід осцилографа, а на вхід інтегруючої схеми (рис. 7.3). У цій схемі ємність і опір підібрані так, що $Z_C = 1/C\omega \ll R_2$, тобто реактивний опір конденсатора набагато менший від R_2 . Тому, згідно з правилом Кірхгофа,

$$I = \frac{\varepsilon - U_C}{R_2} \approx \varepsilon / R_2.$$

Рис. 7.3

Нехтуючи малою (порівняно з ε) напругою $U_C = I Z_C$, визначимо напругу на виході схеми (напругу на конденсаторі C):

$$U_y = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int_0^t I dt = \frac{1}{R_2 C} \int_0^t \varepsilon dt = - \frac{1}{R_2 C} \int_0^t S \frac{dB}{dt} N_2 dt = \frac{S N_2}{R_2 C} B, \quad (7.5)$$

Якщо фероматнітик був розмагнічений, то при збільшенні напруги до нуля до нуля магнітна індукція буде зменшуватись по кривій OA – основній кривій намагнічування (рис. 7.1). При зменшенні напруги до нуля до нуля магнітна індукція буде зменшуватись по кривій $AB_{\text{зал}}$.

Крива залежності магнітного поля фероматнітику від величини напруженості зовнішнього магнітного поля має вигляд петлі гістерезису. Це пояснюється тим, що домівна намагніченість змінюється не тільки під впливом зовнішнього магнітного поля, але й під впливом внутрішнього магнітного поля, яке виникає в результаті взаємодії атомів між собою. Це спричиняє певне неорієнтування домів, яке змінюється з часом. Тому процес зміни намагніченості є не оборотним.

У фероматнітику внутрішнє поле B' набагато більше зовнішнього магнітного поля B_0 . Велике значення μ пояснюється тим, що у фероматнітиках існують області спонтанного намагнічування. Ці області називають *домів*. Магнітні моменти всіх атомів окремого домів мають однаковий напрямок і всередині кожного домів намагніченість досягає насичення. У разі відсутності зовнішнього магнітного поля магнітні моменти різних домів мають різний напрям і результуюча намагніченість усього магнітика може дорівнювати нулю. При внесенні фероматнітику в зовнішнє магнітне поле магнітні моменти домів переорієнтуються по полю, що й спричиняє високе значення намагнічування фероматнітику.

$$(7.1) \quad B = B_0 + B' = \mu B_0 = \mu \mu_0 H_0; \quad B' = \chi B_0.$$

ми магнітику:

Індукція магнітного поля в магнітику складається з індукції великої і залежить від напруженості H зовнішнього магнітного поля. Їх магнітна проникність μ і магнітна сприйнятливість χ дуже різні. Існують сплав, які містять марганець, хром та інші елементи. До фероматніків належать залізо, кобальт, гадоліній, а також нікель.

Метою дослідження магнітного гістерезису за допомогою електронного осцилографа і визначення втрат на перемат-

ВИВЧЕННЯ МАГНІТНОГО ГІСТЕРЕЗИСУ

Лабораторна робота EM-7

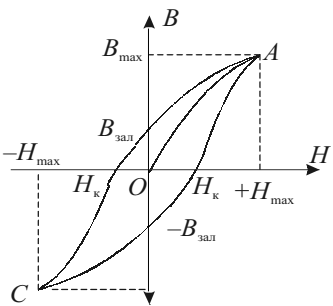


Рис. 7.1

Якщо при H_{max} намагнічення фероматнітику досягає насичення, то відповідна петля гістерезису називається максимальною, при менших H_{max} мають місце часткові цикли. Очевидно, що індукція фероматнітику залежить не лише від теперешньої напруженості H , а й від попередніх напруженостей фероматнітику. У кожному циклі в об'ємі фероматнітику буде виділятися енергія, пропорційна площі петлі гістерезису.

Залишкова намагніченість $B_{\text{зал}}$ – це індукція фероматнітику при знятті зовнішнього магнітного поля. Величину напруженості H_k протилежно спрямованого поля, достатню для розмагнічування раніше намагніченого фероматнітику, називають коерцитивною силою. За величиною коерцитивної сили фероматнітні матеріали поділяють на жорсткі – з високим значенням коерцитивної сили (>100 А/м) – і м'які – з низьким. Жорсткі фероматнітики йдуть на виготовлення постійних магнітів, для яких характерні висока залишкова намагніченість і сильний опір розмагнічуванню факторами навколишнього середовища, м'які – на виготовлення деталей з малими втратами на перемагнічування, наприклад осердя трансформаторів.

Для того щоб отримати петлю магнітного гістерезису на екрані електронно-променевої трубки осцилографа, треба використати схему, яка подана на рис. 7.2. Фероматнітик поміщають в змінне магнітне поле, створене змінним струмом, і на вертикальній пластині трубки осцилографа подають напругу U_x , пропорційну H , а на горизонтальні – напругу U_y , пропорційну B . 1 і 2 – первинна і вторинна обмотки тороїда з осердям з досліджуваного матеріалу; R_1 і R_2 – резистори; C – конденсатор; КО – катодний осцилограф; Тр – трансформатор живлення.