

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

Методичні вказівки
до лабораторної роботи
№ 3.27.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ВЗАЄМНОЇ ІНДУКЦІЇ

г. Дніпропетровськ
2011

Електродинаміка. Частина II. Матеріали методичного забезпечення дисципліни «Фізика» для студентів усіх спеціальностей. / Л.І. Барташевська, А.С. Зайцев, В.М. Мандрікевич, Т.В. Морозова, А.В.Чернай, – Д.: Національний гірничий університет, 2011

Автори:

Л.І. Барташевська, А.С. Зайцев, кандидати фіз.-мат. наук;
В.М. Мандрікевич, Т.В. Морозова, старші викладачі;
А.В. Чернай, д-р фіз.-мат. наук, професор.

Усі укладачі приймали участь в розробці методичних вказівок до лабораторних робіт та удосконаленні їх макетів.

Затверджено до видання редакційною радою НГУ (протокол № від) за наказом методичної комісії напряму підготовки 6.050301 Гірництво (протокол №_від_2011р.)

Методичні матеріали призначені для самостійної підготовки студентів усіх інженерних спеціальностей до лабораторних робіт та контролю практичних і лабораторних занять з нормативної дисципліни «Фізика».

Розглянуто теоретичні відомості, прилади та установки, що використовуються у лабораторних роботах.

Рекомендації орієнтовано на активацію навчальної діяльності студентів.

Відповідальний за випуск завідувач кафедру фізики, канд.фіз.-мат., наук, проф. І.П. Гаркуша.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ВЗАЄМНОЇ ІНДУКЦІЇ

Прилади та обладнання: 1) касета ФПЕ-05; 2) генератор електромагнітних коливань звукової частоти; 3) електронний осцилограф.

Мета роботи: вимірювання взаємної індуктивності двох співвісних контурів на різних відстанях між їх центрами при різних частотах та напругах джерела живлення.

Опис приладу та теоретичні відомості

Якщо потік магнітної індукції через контур змінюється за часом, то відповідно до закону електромагнітної індукції Фарадея у контурі виникає ЕРС індукції

$$\varepsilon = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}, \quad (1)$$

де

$$\Phi = \int_s \vec{B} d\vec{S}. \quad (2)$$

Знак “-” у формулі (1) означає: індукційний струм завжди має такий напрям, при якому він перешкоджає причині, що його викликає (правило Ленца).

Розглянемо два контури 1 і 2, які розташовані на деякій відстані один від одного (рис. 1).

Якщо по контуру 1 пропустити струм I_1 , то він створить потік магнітної індукції, що проходить через контур 2:

$$\Phi_{21} = M_{21} I_1. \quad (3)$$

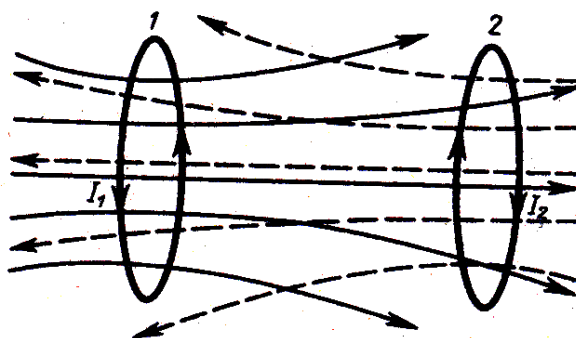


Рис. 1

Коефіцієнт пропорційності M_{21} називають коефіцієнтом взаємної індукції контурів. Він залежить від форми та взаємного розміщення контурів 1 і 2, а також від магнітних властивостей оточуючого середовища.

При змінюванні сили струму в першому контурі магнітний потік, проходячи через другий контур, змінюється, отже, в ньому наводиться ЕРС взаємної індукції

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}. \quad (4)$$

У формулі (4) на відміну від виразу (1) є повна похідна за часом, оскільки контури 1 і 2 закріплені жорстко і ε_2 залежить тільки від змінювання сили струму в контурі 1. Формула (4) справедлива у разі відсутності феромагнетиків.

Якщо поміняти місцями контури 1 і 2 та повторити попередні дії, то

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}.$$

Можна показати, що коефіцієнти взаємної індукції однакові:

$$M_{21} = M_{12}. \quad (5)$$

У цій роботі визначають взаємну індукцію (взаємну індуктивність) двох котушок (довгої котушки L_1 і короткої котушки L_2 , яку надівають на котушку L_1 і яку можна переміщувати вздовж осі довгої котушки). Схема установки зображена на рис. 2. Живлення однієї з котушок здійснюється від генератора звукової частоти PQ, напруга з якого

$$U = U_0 \cos \omega t \quad (6)$$

подається через резистор, що має опір R .

Вольтметр, розташований на панелі PQ, вимірює діючу напругу $U_d = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$.

Опір вибирають таким, щоб виконувалася нерівність

$$R \gg \sqrt{R_1^2 + L_1^2 \omega^2},$$

де L_1 – індуктивність котушки L_1 ; R_1 – її активний опір. У цьому випадку силу струму, який тече через котушку L_1 , можна визначити за формулою

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{U_0}{R} \cos \omega t = I_{01} \cos \omega t. \quad (7)$$

Змінний струм I_1 створює ЕРС індукції у котушці L_2 , тобто

$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{dI_1}{dt} = M_{21} \frac{U_0}{R} \omega \sin \omega t. \quad (8)$$

Для виміру ε_2 у роботі використовують осцилограф. Амплітуда ЕРС індукції

$$\varepsilon_{02} = M_{21} \frac{U_0}{R} \omega = M_{21} \frac{U_0}{R} 2\pi\nu, \quad (9)$$

де ν – частота звукового генератора.

З формули (9) маємо

$$M_{21} = \frac{\varepsilon_{02} R}{2\pi\nu U_0}. \quad (10)$$

Якщо поміняти місцями котушки L_1 і L_2 , то можна записати

$$M_{12} = \frac{\varepsilon_{01} R}{2\pi\nu U_0}. \quad (11)$$

Замість перестановки котушок у макеті використовують просту схему перемикання: перемикачі Π_1 і Π_2 треба перевести у протилежне положення.

Послідовність вимірювань

Зберіть установку, яка складається із звукового генератора PQ, касети ФПЕ-05 з двома співвісно розташованими котушками L_1 і L_2 , штока та електронного осцилографа (рис. 2).

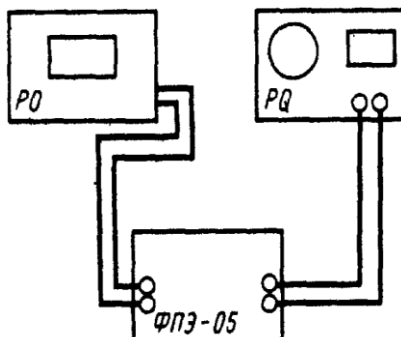


Рис. 2

Підготуйте осцилограф і звуковий генератор до роботи, увімкніть їх у мережу.

Завдання 1. Вимірювання взаємних індуктивностей M_{21} і M_{12} та дослідження їхньої залежності від взаємного розміщення котушок

1. Напругу сигналу від звукового генератора PQ установіть в діапазоні 1 – 4 В, а частоту – в межах 3 – 20 кГц.

2. За допомогою перемикачів P_1 і P_2 напругу подайте на котушку L_1 , а ЕРС з котушки L_2 на осцилограф.

3. Установіть пересувну котушку L_1 у крайнє положення. Переміщуючи її у протилежне крайнє положення, через кожен сантиметр записуйте значення ЕРС магнітної індукції у колі котушки L_2 .

4. За формулою (10) розрахуйте величину M_{21} . Результати вимірювань і розрахунків занесіть у табл. 1.

Таблиця 1

Z, см	ε_{02} , В	M_{21} , Гн	Z, см	ε_{01} , В	M_{12} , Гн
0			0		
10			10		
20			20		
30			30		
40			40		
50			50		
60			60		
70			70		
80			80		
90			90		
100			100		

$U_d =$

$\nu =$

$R = 10^4 \text{ Ом}$

5. Поміняйте місцями котушки L_1 і L_2 (за допомогою перемикачів $П_1$ і $П_2$) та повторіть вимірювання за пп. 1 – 4.

6. Побудуйте графіки залежностей M_{21} і M_{12} як функції координати Z (Z – відстань між центрами котушок L_1 і L_2).

Завдання 2. Визначення величини M_{21} для різних напруг живлення

1. Установіть котушку L_1 у середнє положення відносно котушки L_2 .

2. Установіть частоту звукового генератора за вказівкою викладача (наприклад, 10^4 Гц).

3. Змініть напругу U_d ; у колі котушки L_1 зніміть залежність амплітуди ЕРС магнітної індукції від U_d : $\varepsilon_{02} = f(U_d)$. Вимірювання виконуйте в інтервалі поруч 0 – 5 В через 0,5 В.

4. За формулою (10) розрахуйте величину M_{21} . Дані вимірювань та обчислень занесіть у табл. 2.

Таблиця 2

$U_d, \text{В}$									
$\varepsilon_{02}, \text{В}$									
$M_{21}, \text{Гн}$									

$\nu =$

$R = 10^4 \text{ Ом}$

5. За даними табл. 2 знайдіть середнє значення M_{21} .

Завдання 3. Визначення величини M_{21} для різних частот генератора

1. Установіть котушку L_1 у середнє положення відносно котушки L_2 .

2. Установіть амплітуду напруги генератора за вказівкою викладача.

3. Змінюючи частоту генератора від 5 до 20 кГц (не менше 10 значень), зніміть залежність амплітуди ЕРС індукції ε_{02} від частоти напруги генератора.

4. За формулою (10) розрахуйте величину M_{21} . Дані вимірювань та обчислень запишіть у табл. 3.

Таблиця 3

$\nu, \text{кГц}$									
$\varepsilon_{02}, \text{В}$									
$M_{21}, \text{Гн}$									

$U_d =$

$R = 10^4 \text{ Ом}$

5. За даними табл. 3 знайдіть середнє значення M_{21} .

Контрольні питання

1. Сформулюйте закон електромагнітної індукції і правило Ленца.

2. У чому полягає явище взаємної індукції? Від чого залежить взаємна індуктивність?

3. На замкнене залізне осердя, магнітна проникненість якого μ , намотані дві котушки, які мають число витків N_1 і N_2 . Вивести формулу для взаємної індуктивності, якщо довжина осердя ℓ , а площа перерізу S .

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 357 – 359.