

Міністерство освіти і науки України
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
Фізико-технічний факультет
Кафедра фізики та астрономії

Лабораторна робота ФПЕ-05м

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ВЗАЄМОІНДУКЦІЇ.

м. Івано-Франківськ

Мета роботи: дослідження явища взаємодукції двох коаксіально розташованих котушок.

Загальні відомості

Розглянемо два індуктивно зв'язаних контури із струмами I_1 і I_2 (рис.1), які мають N_1 і N_2 витків відповідно і коефіцієнти самоіндукції L_{11} і L_{22} . Повний потік вектора магнітної індукції $\vec{B}$, охоплений витками першого контуру

$$\Phi_1 = \Phi_{11} + \Phi_{12} \quad (1)$$

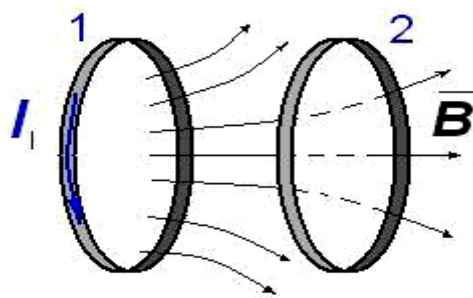


рис.1

де Φ_1 – магнітний потік крізь перший контур, створений струмом I_1 ; Φ_{11} – частина магнітного потоку в першому контурі, створена струмом I_1 , Φ_{12} – частина магнітного потоку в першому контурі, створена струмом I_2 .

Аналогічно повний потік, який пронизує витки другого контуру

$$\Phi_2 = \Phi_{22} + \Phi_{21} \quad (2)$$

Магнітні потоки в кожному контурі пропорційні струму в них

$$\Phi_{11} = L_{11}I_1 \quad (3)$$

$$\Phi_{22} = L_{22}I_2 \quad (4)$$

Потік Φ_{12} , створюється магнітному полем струму I_2 в другому контурі. Тому:

$$\Phi_{12} = L_{12}I_2,$$

де L_{12} – коефіцієнт взаємодукції першого контуру. Аналогічно для другого контуру

$$\Phi_{21} = L_{21}I$$

Тоді рівняння (1) і (2) перепишемо

$$\Phi_1 = L_{11}I_1 + L_{12}I_2 \quad (5)$$

Відповідно ЕРС індукції, які виникають в контурах, будуть

$$E_{i1} = -\frac{d\Phi_1}{dt} = -(L_{11} \frac{dI_1}{dt} + L_{12} \frac{dI_2}{dt}) \quad (6)$$

$$E_{i2} = -\frac{d\Phi_2}{dt} = -(L_{22} \frac{dI_2}{dt} + L_{21} \frac{dI_1}{dt}) \quad (7)$$

На основі теореми взаємності, яка встановлює зв'язок між двома джерелами струму і створеними ними ж полями в місцях розташування джерел у неферромагнітних середовищах, можна стверджувати, що коефіцієнти взаємоіндукції довільних двох контурів рівні:

$$L_{12} = L_{21}$$

Доведемо це для двох індуктивно зв'язаних контурів, по яких проходять струми I_1 і I_2 . Припустимо, що контур, в якому протікає струм I_1 , нерухомий, а контур, в якому протікає струм I_2 , переміщається з нескінченності в задане положення. При цьому магнітний потік крізь другий контур, створений струмом в першому контурі, змінюватиметься від 0 до Φ_{12} , а робота по його переміщенні

$$A_1 = I_1\Phi_{12} = L_{12}I_1I$$

Якщо другий контур нерухомий, а перший переміщається з нескінченності в задане положення, то виконується робота

$$A_2 = I_2\Phi_{21} = L_{21}I_2I$$

У кожному з наведених випадків робота визначається мірою взаємної енергії в контурах із струмами I її значення не залежить від того, який з контурів переміщався. Отже $A_1=A_2$, і $L_{12}=L_{21}$.

Коефіцієнт взаємної індукції є мірою магнітного зв'язку між контурами і залежить від геометричної форми, розмірів і взаємного розміщення контурів зі струмами, а також магнітних властивостей середовища, де розташовані контури. В системі СІ коефіцієнти взаємної індукції вимірюються в Генрі. Розрахунки коефіцієнта взаємної індукції в загальному випадку є достатньо складними.

Метод вимірювань

У даній роботі вивчається явище взаємної індукції між двома близькими за розмірами котушками 1 і 2. Котушка 1 вставляється в котушку 2 і може переміщатися уздовж її осі. Живлення котушок (наприклад, котушки 1) здійснюється від генератора, що працює на частоті (f) 50 Гц, напруга з якого

$$U = U_0 \cos(\omega t) \quad (8)$$

подається через опір R .

Знаючи величину спаду напруги на опорі R можна визначити струм, що протікає в колі

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{U_0 \cos(\omega t)}{R} = I_{01} \cos(\omega t) \quad (9)$$

Змінний струм в котушці 1 (за умови, що котушка 2 відключена від генератора) створює змінну ЕРС взаємної індукції в котушці 2:

$$E_2 = -L_{12} \frac{dI_1}{dt} = L_{12} I_{01} \omega \sin(\omega t) = E_{02} \sin(\omega t) \quad (10)$$

де амплітуда ЕРС взаємної індукції рівна:

$$E_{02} = L_{12} I_{01} \omega = L_{12} I_{01} 2\pi f$$

Тоді

$$L_{12} = \frac{E_{02}}{I_{01} 2\pi f} \quad (11)$$

Якщо поміняти місцями котушки 1 і 2, то можна визначити L_{12} :

$$L_{21} = \frac{E_{01}}{I_{02} 2\pi f}$$

Коефіцієнт L_{12} (L_{21}) можна також визначити, знаючи повний магнітний потік,

$$L_{12} = \frac{\Phi_1 - L_{11}I_1}{I_2}$$

який пронизує котушку 1 (котушку 2). Згідно (5)

Величину магнітного потоку, що пронизує котушки, можна визначити, використовуючи датчик Холла, який розташований в центрі нерухомої котушки.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Вимірювання коефіцієнтів індукції L_{11} і L_{22} .

1. Подати напругу на котушку 1 (за допомогою перемикача П1). При цьому струм через котушку 2 повинен бути рівний нулю (перемикач П2 розімкнений).

2. Рухому котушку 2 (використовуючи шток 1 на касеті ФПЕ) повністю всунути в котушку 1. При цьому датчик переміщення рухомої котушки повинен показувати 0.

3. Збільшуючи струм в котушці 1 (за допомогою потенціометра R1 на касеті ФПЕ) від мінімального до максимального значення, записати в таблицю 1 значення струму I_1 і магнітного потоку Φ_1 . Величина магнітного потоку Φ може бути визначена з вимірювань вектора магнітної індукції B і геометричних розмірів котушки:

$$\Phi = B \cdot S$$

де S - переріз соленоїда який визначається: $S = \pi \frac{d^2}{4}$ (діаметри 1-ї та 2-ї котушок відповідно дорівнюють 55мм і 30мм). Для визначення величини B в даній роботі використовується датчик Холла. В цьому датчику напруга

Холла U_x пов'язана з вектором магнітної індукції співвідношенням:
 $I_{MB} = I_{Гс} = 10^{-4} Tл.$

4. Подати напругу на котушку 2 (за допомогою перемикача П2), відключивши напругу на котушці 1 (використовуючи перемикач П1).

5. Збільшуючи струм в котушці 2 від мінімального до максимального значення записати в таблицю 1 значення струму I_2 і магнітного потоку Φ .

6. За формулами (3) і (4) розрахувати значення коефіцієнтів індукції L_{11} і L_{22} .

7. Отримані результати занести у таблицю 1.

Таблиця 1.

I_1, A	$U_{x1}, мВ$	$\Phi_1, Вб$	$L_{11}, Гн$	I_2, A	$U_{x2}, мВ$	$\Phi_2, Вб$	$L_{22}, Гн$

Завдання 2. Вимірювання коефіцієнтів взаєміндукції L_{12} і L_{21} .

1. Рухому котушку 2 (використовуючи шток 1 на касеті ФПЕ-05м) повністю всунути в котушку 1. При цьому датчик переміщення рухомої котушки повинен показувати 0.

2. Подати напругу на котушку 1 (за допомогою перемикача П1). ЕРС індукції, яка виникає в котушці 2, відобразатиметься в лівому вікні віртуального осцилографа. Амплітудне значення струму котушки 1 I_{01} і амплітудне значення ЕРС в другій котушці E_{02} відображаються при цьому у відповідних вікнах.

3. За формулою (11), для декількох значень струму, розрахувати коефіцієнт взаємної індукції L_{12} . Результати занести в таблицю. Частота f рівна 50Гц.

4. Подати напругу на котушку 2 (за допомогою перемикача П2, відключивши котушку 1). ЕРС індукції, яка виникає в котушці 1, відобразатиметься в лівому вікні віртуального осцилографа. Амплітудне значення струму котушки 2 I_{02} і амплітудне значення ЕРС в першій котушці E_{01} відображаються при цьому у відповідних вікнах.

5. За формулою (11), для декількох значень струму, розрахувати коефіцієнт взаємної індукції L_{21} . Результати занести в таблицю. Частота f рівна 50Гц.

6. Отримані результати занести в таблицю 2.

Таблиця 2.

I_1, A	U_{L2}, B	$L_{12}, Гн$	I_2, A	U_{L1}, B	$L_{21}, Гн$

Завдання 3. Дослідження залежності коефіцієнтів взаєміндукції L_{12} і L_{21} від взаємного розташування котушок.

1. Подати напругу на котушку 1 (за допомогою перемикача П1). Встановити струм I_1 в межах $0,3 \div 0,6$ А.

2. Рухому котушку 2 (використовуючи шток 1 на касеті ФПЕ-05м) повністю всунути в котушку 1. Переміщуючи її в протилежне крайнє положення через 1см, записувати значення ЕРС взаєміндукції в колі котушки 2 і відстань між котушками в таблицю виміряних значень.

3. За формулою (11), розрахувати коефіцієнт взаєміндукції L_{12} . Одержані дані занести в таблицю.

4. Подавши напругу на котушку 2 (за допомогою перемикача П2, відключивши котушку 1), повторити вимірювання по пп. 2, 3 і розрахувати L_{21} .

5. Отримані результати занести в таблицю 3.

Таблиця 3.

$I_1, \text{А}$	$U_{L2}, \text{В}$	$d_1, \text{см}$	$L_{12}, \text{Гн}$	$I_2, \text{А}$	$U_{L1}, \text{В}$	$d_2, \text{см}$	$L_{21}, \text{Гн}$

6. Побудувати графіки залежності L_{12} і L_{21} як функції координати z (z – відстань між котушками).

Контрольні питання.

1. Сформулюйте закон електромагнітної індукції Фарадея і правило Ленца.
2. У чому полягає явище взаємодукції?
3. Чому рівна ЕРС взаємодукції двох контурів?
4. Від чого залежить коефіцієнт взаємодукції?
5. Поясніть графік залежності $L_{12}=f(z)$, отриманий в даній роботі.