

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фізико-математичний факультет

Лабораторна робота № 2-12

## ВИМІРЮВАННЯ ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТА

Виконана студ. групи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Київ-2022

## Лабораторна робота № 2-12

# Вимірювання індукції магнітного поля електромагніта

**Мета роботи:** виміряти індукцію магнітного поля електромагніта і дослідити її залежність від сили намагнічуючого струму.

**Прилади та пристрої:** електромагніт, джерело живлення ВСА-III К, балістичний гальванометр типу ГЗБ-47, котушка для вимірів.

## Теоретичні відомості

Для вимірювання індукції магнітного поля використовуються різні методи. Якщо магнітне поле створюється провідниками зі струмом, то індукцію цього поля у деякій точці простору можна обчислити, вимірявши силу струму. Такі розрахунки легко виконати для провідників з найпростішою геометричною формою, що знаходяться в неферромагнітному середовищі. Наявність ферромагнітного середовища ускладнює визначення індукції, тому що в цьому випадку потрібно знати залежність магнітної проникності ферромагнетика  $\mu$  від напруженості поля  $H$ .

Іншим методом вимірювання магнітного поля є метод, який використовується в приладі під назвою тангенс-бусоль. Суть цього методу така: якщо сталий магніт вільно розмістити на практично безмоментному підвісі, то він встановлюється вздовж напрямку зовнішнього поля. З накладанням на початкове зовнішнє поле іншого, додаткового поля, магніт встановлюється вздовж напрямку зовнішнього поля. Знаючи початкове поле, напрямком вектора напруженості зовнішнього поля, та кут відхилення магніту, можна обчислити індукцію прикладеного поля.

У цій роботі використано метод, що ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Він був запропонований професором московського університету А.Г. Столетовим і дістав назву балістичного методу. Метод дуже простий і зручний, дозволяє за допомогою нескладних експериментальних пристроїв отримати надійні результати.

У досліджуваному магнітному полі розміщується котушка, названа вимірювальною, яка з'єднана з балістичним гальванометром. Площа перерізу котушки залежить від ступеня неоднорідності магнітного поля. Чим більша неоднорідність поля, тим меншою повинна бути площа для більш точного вимірювання поля у даній точці. Вимірювальна котушка з приєднаним до неї балістичним гальванометром називається флюксометром.

Під час вимірювання котушку флюксометра встановлюють перпендикулярно до напрямку ліній магнітної індукції. Тоді повний магнітний потік крізь котушку

$$\Phi = BSN, \quad (12.1)$$

де  $S$  – площа перерізу одного витка котушки;  $N$  - кількість її витків;  $B$  - індукція поля в місці знаходження котушки.

Якщо вимірювальну котушку повернути на  $90^\circ$  або вийняти з поля, то магнітний потік через котушку буде рівним нулю. Зі зміною магнітного потоку через котушку в ній виникає ЕРС індукції:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -NS \frac{dB}{dt}. \quad (12.2)$$

ЕРС індукції не залишається сталою протягом часу зміни магнітного поля, тому індукційний струм також не буде сталим. Він збільшуватиметься від нуля до деякого максимального значення, а потім знову зменшуватиметься до нуля. Це призводить до виникнення в рамці гальванометра і вимірювальній котушці ЕРС самоіндукції:

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{di}{dt}, \quad (12.3)$$

де  $L$  - коефіцієнт самоіндукції усього кола флюксметра.

Через те, що ЕРС самоіндукції чисельно дорівнює падінню напруги на чисто індуктивному опорі кола, згідно з другим законом Кірхгофа

$$-NS \frac{dB}{dt} = R \cdot i + L \frac{di}{dt}, \quad (12.4)$$

де  $R$  - активний опір усього кола флюксметра.

Проінтегрувавши вираз (12.4) за час  $\tau$  (час проходження імпульсу індукційного струму), отримуємо

$$-NS \int_0^{\tau} \frac{dB}{dt} dt = R \int_0^{\tau} i dt + \int_0^{\tau} L \frac{di}{dt} dt. \quad (12.5)$$

За час  $\tau$  індукція магнітного поля зменшується від  $B$  до 0, а індукційний струм дорівнює нулю на початку і в кінці процесу зменшення магнітного поля, тобто  $i_{\text{поч}} = i_{\text{кінц}}$ . Тому вираз (12.5) переписеться у вигляді

$$NSB = Rq,$$

де  $q$  - заряд, що пройшов через гальванометр за час  $\tau$ . З останнього виразу випливає:

$$B = \frac{Rq}{NS}. \quad (12.6)$$

Якщо відома балістична стала гальванометра  $b$ , то заряд можна знайти за формулою

$$q = bn_{\text{max}}/2l,$$

де  $n_{\text{max}}$  - максимальна відхилення "зайчика" на шкалі гальванометра;  $l$  - відстань від дзеркала гальванометра до екрана. Тоді можемо записати формулу (12.6) у вигляді

$$B = \frac{n_{\text{max}} Rb}{2NSl}, \quad (12.7)$$

$$B = \beta n_{\text{max}}, \quad (12.8)$$

де  $\beta = Rb/(2NSl)$  - певна стала величина для конкретної експериментальної установки. Її числове значення можна знайти, знаючи технічні дані установки  $R$ ,  $b$ ,  $N$ ,  $S$ ,  $l$ , які вказані безпосередньо на установці.

## Опис експериментальної установки

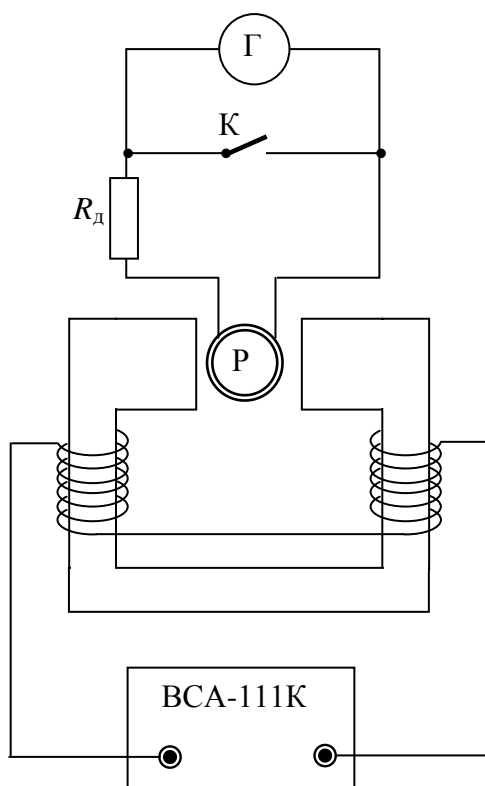


Рис.12.1

Електрична схема установки для вимірювання індукції магнітного поля між полюсами електромагніта зображена на рис. 12.1. Обмотка досліджуваного електромагніту живиться від випрямляча ВСА-111К. Це джерело дозволяє одержувати струм силою до 12 А за напруги близько 65В. Вихідну напругу джерела струму, і отже силу струму навантаження можна плавно регулювати в межах двох діапазонів. Вибір режиму роботи випрямляча здійснюється за допомогою перемикача "РЕЖИМ РАБОТЫ", який має три позиції: "I СТ", "ОТКЛ.", "II СТ". Встановлений на корпусі випрямляча амперметр дозволяє вимірювати струм, що протікає в обмотках електромагніта.

Електромагніт – це феромагнітний магнітопровід з повітряним проміжком. На магнітопроводі розміщені

намагнічуючі котушки. Рамка флюксметра Р встановлена на немагнітному кронштейні між полюсами електромагніту. Там же вмонтовано й додатковий опір  $R_d$ , який забезпечує роботу гальванометра в потрібному режимі. Вимикач К потрібний для гасіння коливань рухомої частини балістичного гальванометра.

Зміна магнітного потоку через вимірювальну котушку здійснюється вимкненням струму, що живить обмотки електромагніту (за допомогою перемикача "РЕЖИМ РАБОТЫ" випрямляча ВСА-111К).

## Порядок виконання роботи

1. Увімкнути гальванометр у мережу і встановити світловий штрих у центр шкали.
2. Перемикач ступенів випрямляча встановити в позицію "ОТКЛ" (середня позиція), а ручку плавного регулювання вихідної напруги повернути у крайню ліву позицію. Увімкнути випрямляч у мережу і дати йому прогрітися 5 хв.
3. Встановити перемикач у позицію "I СТ" і за допомогою регулятора напруги встановити силу струму в обмотках електромагніту 1 А.
4. Вимкнути випрямляч, встановивши перемикач у позицію "ОТКЛ", і одночасно зафіксувати величину  $n_{max}$  – максимального відхилення "зайчика" гальванометра. Повторити дослід з визначенням  $n_{max}$  5 разів для одного й того самого значення намагнічуючого струму  $I_1 = 1$  А. Обчислити середнє значення величини відхилення  $\langle n_{max} \rangle$ . Отримані результати занести до табл. 12.1.
5. Повторити вимірювання, вказані у пп.3, 4 для десяти різних значень намагнічуючого струму через інтервал в 1 А. Результати вимірювань занести до

табл. 12.1.

## Обробка результатів вимірювань

1. За формулою  $\beta = Rb/(2NSl)$  обчислити коефіцієнт  $\beta$ . Потрібні дані взяти з паспорта установки.
2. За формулою (12.8), використовуючи середні значення величини  $\langle n_{\max} \rangle$  з табл. 12.1, визначити індукцію  $B$  магнітного поля в щілині електромагніта для різних значень намагнічуючого струму  $I$ . Результати занести до табл. 12.2.
3. Побудувати графік залежності  $B(I)$ .

Табл. 12.1

| $n_{\max}$          | $I, A$  |         |         |         |         |         |         |         |         |            |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|
|                     | $I_1 =$ | $I_2 =$ | $I_3 =$ | $I_4 =$ | $I_5 =$ | $I_6 =$ | $I_7 =$ | $I_8 =$ | $I_9 =$ | $I_{10} =$ |
| 1                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |            |
| 2                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |            |
| 3                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |            |
| 4                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |            |
| 5                   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |            |
| $\langle n \rangle$ |         |         |         |         |         |         |         |         |         |            |

Табл. 12.2

| $I, A$  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| $B, Tл$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

## Контрольні запитання

1. Якими величинами характеризується магнітне поле? В яких одиницях їх вимірюють?
2. У чому суть процесу намагнічування магнетиків? Дайте означення вектора намагнічення?
3. Як формулюється теорема про циркуляцію вектора індукції магнітного поля? Які властивості магнітних полів?
4. Які існують види магнетиків? Що таке магнітна сприйнятливість і магнітна проникність магнетиків?
5. Що таке феромагнетики і які їхні властивості?
6. Що таке домен? Як поводить себе домен у магнітному полі?
7. Як пояснюється природа феромагнетизму?
8. У чому полягає явище електромагнітної індукції? Поясніть механізм виникнення ЕРС індукції.
9. Як вивести формулу робочу формулу для визначення індукції магнітного поля в даній роботі?
10. Виведіть закон Фарадея для ЕРС індукції.
11. Поясніть фізичні основи дії ключа К, що шунтує гальванометр.

12. Від чого залежить величина індукції магнітного поля електромагніту?
13. Що таке балістичний гальванометр і чим він відрізняється від звичайного гальванометра? Що таке балістична стала?

## **Література**

1. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики: У 3 т.: Навч. посіб. для студ. вищ. техн. і пед. закл. освіти / І. М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик; К.: Техніка, 1999 §9.1 – 9.2; 9.8; 9.10; §10.1 – 10.2;
2. Савельев И. В. Курс общей физики. В 3 т. Т.2. § 40, 49-53, 59-62, 64. - М.: Наука, 1978.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики Т. 2. § 55, 58, 61, 64-67, 74, 79, 125. - М.: Наука, 1977.

