

Міністерство освіти та науки України
Державний вищий учбовий заклад
«Приазовський державний технічний університет»
Кафедра фізики

Чабак Ю. Г.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МАГНІТНОЇ
ПРОНИКНОСТІ ФЕРОМАГНЕТИКА
ВІД ВЕЛИЧИНИ ПОЛЯ, ЩО НАМАГНІЧУЄ**

Методичні вказівки
щодо виконання лабораторної роботи № 58
з курсу «Фізика»
для студентів (здобувачів) всіх спеціальностей
всіх форм навчання

Маріуполь
2020

УДК 537(076.5)

Дослідження залежності магнітної проникності феромагнетика від величини поля, що намагнічує [Електронний ресурс] : методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи № 58 з курсу «Фізика» для студентів (здобувачів) всіх спеціальностей всіх форм навчання / сост. Ю. Г. Чабак. – Маріуполь : ДВНЗ «ПДТУ», 2020. – 13 с. – Режим доступу:

Містять основні теоретичні положення і методичні вказівки з вивчення і визначення залежності магнітної проникності феромагнітного матеріалу від величини поля, що намагнічує.

Укладач Ю. Г. Чабак, канд. тех. наук, доцент

Рецензент О. В. Цветкова, канд. фіз.-мат. наук, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри фізики
протокол № 6 від 13 листопада 2020 р.

Затверджено
на засіданні методичної комісії
факультета інформаційних технологій
протокол № 3 від 16 листопада 2020 р.

© Ю.Г. Чабак, 2020
© ДВНЗ «ПДТУ», 2020

ЗМІСТ

<u>ВСТУП</u>	4
<u>1 МЕТА РОБОТИ</u>	4
<u>2 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ</u>	4
<u>3 ОПИС МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ</u>	7
<u>4 ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА</u>	10
<u>5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ</u>	11
<u>6 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ</u>	12
<u>СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ</u>	13

ВСТУП

Великий практичний інтерес для електротехніки являють феромагнетики – такі речовини, в яких внутрішнє (власне) магнітне поле може у багато разів перевищувати зовнішнє магнітне поле, що викликало його. Завдяки цій властивості феромагнетики здатні намагнічуватися в слабких магнітних полях. Магнітна проникність феромагнетиків позитивна і значно більше одиниці

1 МЕТА РОБОТИ

Визначити величину магнітної індукції і магнітну проникність μ феромагнітного матеріалу шляхом виміру опору змінного струму котушки з феромагнітним сердечником. Побудувати залежності μ і B від напруженості магнітного поля H . Порівняти отримані результати з теоретичними [1].

2 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Всяка речовина під дією магнітного поля змінює свій стан. **Намагнічення** – процес, при якому кожний елементарний об'єм тіла набуває магнітний момент. У зв'язку з цим, тіла, які здатні намагнічуватися, називаються **магнетиками**.

Речовини, поміщені в зовнішнє магнітне поле, в деякій мірі змінюють його: одні речовини послаблюють зовнішнє поле (**діамагнетики**), інші – підсилюють його (**парамагнетики**). Серед парамагнетиків можна виділити особливу групу речовин, що викликають велике посилення (**феромагнетики**).

Всі тіла складаються з атомів, довкола яких по орбітах обертаються електрони. При русі електронів по орбітах довкола ядер в атомах і молекулах речовини утворюються орбітальні струми. Кожному орбітальному струму відповідає певний магнітний момент. Крім того, електрони володіють власним, або магнітним моментом спіну. Геометрична сума орбітальних і

спінових магнітних моментів електронів і власного магнітного моменту ядра утворює магнітний момент атома (молекули) речовини.

В діамагнітних речовинах сумарний магнітний момент атома дорівнює нулю. Проте під впливом зовнішнього магнітного поля в цих атомах індукується магнітний момент, направлений завжди протилежно зовнішньому магнітному полю. Відбувається намагнічення речовини, внаслідок чого, створюється власне магнітне поле, направлене протилежно зовнішньому полю, що послабляє його. При ліквідації зовнішнього магнітного поля, індуковані магнітні моменти атомів зникають і діамагнетик розмагнічується.

Атоми парамагнітних речовин завжди володіють магнітним моментом, які спрямовані хаотично. При приміщенні речовини в зовнішнє магнітне поле, магнітні моменти атомів встановлюються переважно в напрямку поля. В результаті цього парамагнетик намагнічується і створює власне магнітне поле, яке завжди збігається за напрямком з зовнішнім і підсилює його. При відсутності зовнішнього поля тепловий рух руйнує орієнтацію атомних магнітних моментів і парамагнетик розмагнічується.

Магнітне поле в речовині прийнято характеризувати індукцією магнітного поля B , яка пов'язана з напруженістю H наступною залежністю:

$$B = \mu \mu_0 H \quad (2.1)$$

де μ_0 – відносна магнітна проникність середовища (магнітна проникність);

μ_0 – магнітна постійна.

Коефіцієнт μ характеризує магнітні властивості речовини, її здатність намагнічуватися під впливом зовнішнього поля.

Для діамагнетиків $\mu < 1$. Для парамагнетиків $\mu > 1$. В обох випадках μ не залежить від величини напруженості зовнішнього магнітної поля H і мало відрізняється від 1.

У феромагнетиків μ не тільки дуже велика, але і непостійна. З ростом напруженості магнітного поля μ різко зростає, досягаючи максимуму, а потім зменшується, наближаючись до значення $\mu = 1$. Залежність μ і B від H була досліджена Столетовим (рис. 2.1).

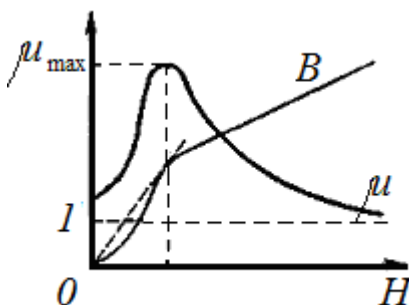
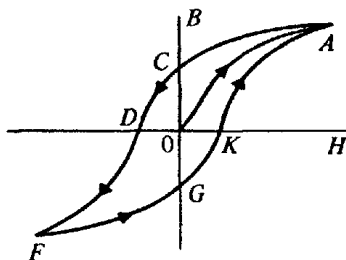


Рисунок 2.1 – Залежність намагніченості та індукції від напруженості зовнішнього магнітного поля

Якщо в феромагнетику, намагніченому до стану насичення B_m , почне зменшуватися напруженість поля H , то індукція B також буде зменшуватися (рис. 2.2). Однак її зменшення відбувається не по лінії $0A$, а по лінії AC . При $H = 0$ феромагнетик не розмагнічується повністю: в ньому зберігається залишкова магнітна індукція B_0 . Для його повного розмагнічування необхідно створити протилежне зовнішнє поле напруженістю $H_D = -H_K$; ця напруженість називається коерцитивною силою. При подальшому збільшенні протилежного поля феромагнетик почне перемагнічуватися (лінія DF) і при $H_F = -H_A$ намагнітиться до насичення в протилежному напрямку ($B = -B_m$). Потім ферромагнетик можна знову розмагнітити (лінія FGK) і знову перемагнітити до насичення B_m (лінія KA). Явище відставання змін магнітної

індукції від змін напруженості намагніченого поля називається магнітним гістерезисом.



167

Рисунок 2.2 – Залежність намагніченості феромагнетика від напруженості та напрямку зовнішнього магнітного поля (магнітний гістерезис)

Форма петлі гістерезису, залишкова індукція і коерцитивна сила залежать від матеріалу феромагнетика і змінюються для різних матеріалів в широких межах.

Класифікація феромагнітних матеріалів. Феромагнітні матеріали можна розділити на дві групи:

1) м'які в магнітному відношенні матеріали з великою магнітною проникністю, що легко намагнічуються і розмагнічуються, з малою коерцитивною силою;

2) жорсткі в магнітному відношенні матеріали з відносно низькою магнітною проникністю, що дуже важко намагнічуються і розмагнічуються, з великою коерцитивною силою.

Матеріали першої групи використовуються головним чином в електротехніці змінних полів, зокрема в трансформаторах, а другої групи – для створення постійних магнітів.

3 ОПИС МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ

Припустимо, що котушка (соленоїд) з феромагнітним сердечником має індуктивність L і активний опір R та підключена до джерела змінної напруги.

$$U = U_m \cdot \cos(\omega t), \quad (3.1)$$

де U_m – амплітудне значення е.р.с., ω – циклічна частота. При цьому змінний струм в котушці задан законом:

$$I = I_m \cdot \cos(\omega \cdot t - \phi) \quad I = I_m \cdot \cos(\omega \cdot t - \phi). \quad (3.2)$$

Змінна напруга і струми зазвичай вимірюються приладами електромагнітної системи, які реєструють так звані ефективні або діючі значення відповідних величин. При цьому

$$U_m = U_{ef} \cdot \sqrt{2} \quad \sqrt{2}; \quad I_m = I_{ef} \cdot \sqrt{2}, \quad (3.3)$$

де U_{ef} – ефективна напруга;

I_{ef} – ефективна сила струму.

Відомо, що повний опір (імпеданс) Z котушки змінному струму дорівнює відношенню ефективної напруги і струму:

$$Z = U_{ef}/I_{ef}. \quad (3.4)$$

Слід також відзначити, що повний опір котушки визначається її індуктивним опором $X_L = \omega \cdot L$ і активним опором $X_R = R$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}. \quad (3.5)$$

Згідно із законом повного струму, напруженість магнітного поля соленоїда з N кількістю витків на довжині l визначається наступним співвідношенням:

$$H = \frac{NI}{l}, \quad (3.6)$$

Враховуючи вирази (2.1) и (3.6), повний потік Φ магнітного поля через перетин соленоїда дорівнює:

$$\Phi = NBS = \mu\mu_0 \frac{N^2 I}{l}, \quad (3.7)$$

Тоді індуктивність можна знайти за виразом:

$$L = \frac{\Phi}{I} = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l}, \quad (3.8)$$

Виходячи з виразів (3.3) и (3.6), отримуємо формулу для розрахунку напруженості магнітного поля H_m :

$$H_m = \frac{I_{ef} \cdot \sqrt{2} \cdot N}{l}, \quad (3.9)$$

Підставимо у формулу (3.5) вираз (3.8) та отримаємо:

$$\left(\frac{U_{ef}}{I_{ef}}\right)^2 = R^2 + \left(\omega \cdot \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l}\right), \quad (3.10)$$

Звідки отримаємо розрахункову формулу для визначення магнітної проникності середовища:

$$\mu = \frac{l}{N^2 S \omega \mu_0} \sqrt{\left(\frac{U_{ef}}{I_{ef}}\right)^2 - R^2}, \quad (3.11)$$

Визначивши за формулами (3.9) и (3.11) H_m і μ , використовуючи формулу (2.1), знайдемо індукцію магнітного поля:

$$B = \mu \mu_0 H. \quad (3.12)$$

Таким чином, вимірюючи ефективні значення параметрів струму і напруги при відомих параметрах котушки можна визначити напруженість і індукцію магнітного поля, магнітну проникність сердечника, а також встановити залежність B та μ від H .

4 ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Прилади і приладдя:

- 1) котушка з сердечником замкнутого типу;
- 2) лабораторний автотрансформатор ЛАТР;
- 3) міліамперметр;
- 4) вольтметр;
- 5) сполучні дроти.

Робоча електрична схема експериментальної установки показана на рис. 4.1. Напруга U_{ef} , що подається на котушку регулюється за допомогою автотрансформатора. Напруга, що подається, вимірюється вольтметром, а струм в електричному колі – міліамперметром.

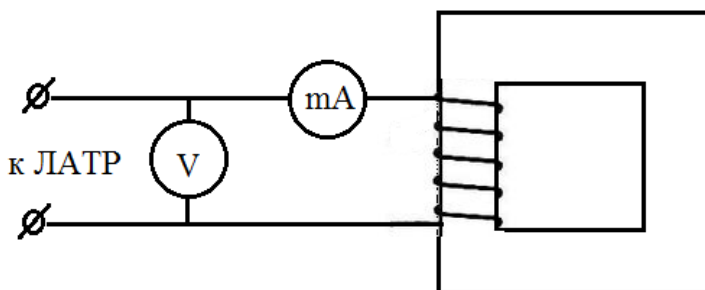


Рисунок 4.1 – Електрична схема експериментальної установки

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

Робочі формули:
магнітна проникність

$$\mu = \frac{l}{N^2 S \omega \mu_0} \sqrt{\left(\frac{U_{ef}}{I_{ef}}\right)^2 - R^2}, \quad (5.1)$$

де l – довжина середньої лінії соленоїда;

N – кількість витків;

S – площа поперечного перетину;

R – активний опір соленоїда;

ω – циклична частота змінного струму;

U_{ef} – показники вольтметра;

I_{ef} – показники амперметра.

$$\text{Напруженість магнітного поля:} \quad H_m = \frac{I_{ef} \cdot \sqrt{2} \cdot N}{l} \quad (5.2)$$

$$\text{Індукція магнітного поля} \quad : \quad B = \mu \mu_0 H \quad (5.3)$$

- 1) Подивіться зазначені на установці необхідні для розрахунків параметри і запишіть їх у таблицю 5.1.
- 2) Поставте ручку ЛАТРа в нульове положення ($U_{ef} = 0$).
- 3) Після перевірки схеми викладачем або лаборантом включите струм в колі. Потім плавно обертаючи ручку ЛАТРа, послідовно встановіть в порядку зростання ряд значень струму в колі I_{ef} (рекомендовані значення струму вказані на стенді). За допомогою вольтметра визначте відповідні значення напруг U_{ef} , що подаються. Отримані значення сили струму і напруги занесіть в таблицю 5.1.
- 4) Використовуючи розрахункову формулу (5.2), визначте напруженість поля, що намагнічує, H_m .

- 5) За розрахунковою формулою (5.1) розрахуйте значення μ при різних I_{ef} . При обчисленнях необхідно використовувати величини l , R , N , S , які відповідають для даної установки.

Таблиця 5.1

$$l = \quad , \quad R = \quad , \quad S = \quad , \quad N = \quad$$

$$\omega = 314 \text{ с}^{-1}, \quad \nu = 50 \text{ Гц}, \quad \mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

$$l$$

№	$I_{ef} I_{ef},$ A	$U_{ef} U_{ef},$ B	$H_m, \text{ А/м}$	μ	$B_m, \text{ Тл}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

- 6) Відповідно до знайдених значень μ і H_m , використовуючи розрахункову формулу (5.3), визначте величину магнітної індукції магнітного поля B_m .
- 7) Побудуйте графіки залежності $\mu = \mu(H_m)$; $B = B(H_m)$ і проаналізуйте їх. Порівняйте отримані залежності з відомими з теорії.

6 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке ферромагнетики, які метали до них відносяться?
2. Охарактеризуйте залежності намагніченості і магнітної індукції від напруженості зовнішнього магнітного поля. Яким чином можна пояснити дану залежність?

3. Що таке «петля гістерезиса», опишіть її.
4. Що таке «намагніченість»?
5. Опишіть електричну схему експериментальної установки.
6. Яким чином в лабораторній роботі знаходиться напруженість магнітного поля, магнітна проникність і індукція магнітного поля? Виведіть робочі формули.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Майсова Н. Н. Практикум по курсу общей физики / Н. Н. Майсова. – М. : Высшая школа, 1970. – 448 с.
2. Трофимова Т. Н. Курс физики / Т. Н. Трофимова. – М. : Высшая школа, 1990. – 542 с.
3. Матвеев А. Н. Электричество и магнетизм : учебное пособие / А. Н. Матвеев. – М. : Высшая школа, 1983. – 463 с.
4. Воловик П.М. Фізика для університетів / П.М. Воловик. – Київ: Перун, 2005. – 864 с.
5. Кучерук І.М. Загальний курс фізики : навч. посіб. В 3 т. Т. 2. Електрика і магнетизм/ І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик; за ред. І.М. Кучерука. – Київ: Техніка, 2006. – 452 с.