

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 57

**ВИВЧЕННЯ ПЕТЛІ ГІСТЕРЕЗИСУ ФЕРОМАГНЕТИКУ ЗА
ДОПОМОГОЮ ОСЦИЛОГРАФА**

Роботу виконав: студент(ка)

_____ (прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (курс)

_____ (група)

» » _____ 200 р.

Роботу прийняв:

_____ (прізвище та ініціали викладача)

_____ (посада)

Оцінка:

за знання теорії

_____ (оцінка, бал)

за провед. експер.

_____ (оцінка, бал)

підсумкова

_____ (оцінка, бал)

_____ (дата і підпис викладача)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 57

Вивчення петлі гістерезису феромагнетика за допомогою осцилографа

Мета роботи: вивчення законів намагнічування феромагнетика

Прилади й матеріали: лабораторна установка для вивчення петлі магнітного гістерезису.

Теоретичні відомості

Феромагнетиками називаються речовини, які мають велику магнітну проникність ($\mu \gg 1$), намагніченість яких нелінійно залежить від напруженості магнітного поля і визначається передісторією процесу намагнічування зразка. Найбільш розповсюдженим і відомим представником феромагнетиків є залізо.

Для кожного феромагнетика існує певна температура, вище якої він втрачає феромагнітні властивості і перетворюється на парамагнетик. Ця температура називається температурою Кюрі. Характерною властивістю феромагнетика є також спонтанна намагніченість: ненульова намагніченість за відсутності зовнішнього магнітного поля.

Якщо взяти ненамагнічений феромагнетик і помістити його в магнітне поле, яке зростає з часом, то вимірюючи його намагніченість, одержимо **основну криву намагнічування феромагнетика** (залежність намагніченості J від напруженості магнітного поля H для первісно не намагніченого феромагнетика). При зростанні H намагніченість спочатку зростає швидко, потім – повільніше, а наприкінці досягається магнітне насичення (зростання намагніченості зупиняється). **Магнітне насичення** це максимальне значення намагніченості, що досягається в даному феромагнетика, і лишається незмінним при подальшому зростанні напруженості поля. Якщо після намагнічування до насичення почати зменшувати зовнішнє магнітне поле, то намагніченість також почне зменшуватись, але крива намагнічування буде лежати над основною кривою намагнічування. При напруженості поля $H = 0$ намагніченість буде відмінна від нуля. Намагніченість феромагнетика, яка лишається після вимкнення зовнішнього магнітного поля, називається **залишковою намагніченістю** J_s . Зміна напрямку напруженості поля на протилежний і досягнення певного значення напруженості призведе до повного розмагнічування феромагнетика. Напруженість магнітного поля, яка потрібна для повного розмагнічування феромагнетика, називається **коерцитивною силою** H_c . Подальше зростання напруженості магнітного поля призведе до намагнічування феромагнетика у напрямку зовнішнього поля. Процес може бути циклічно продовжено. Замкнена крива залежності $J(H)$ при процесі циклічного перемагнічування феромагнетика називається **петлею магнітного гістерезису** (Рис 1а).

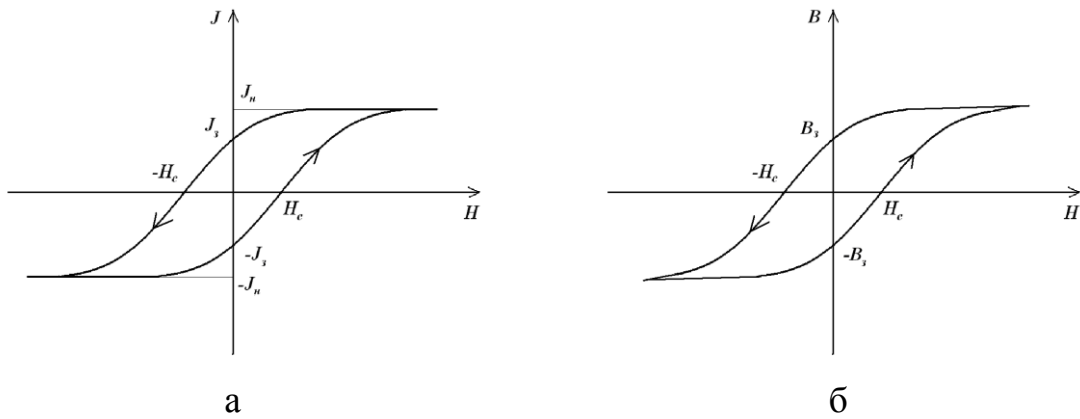


Рис 1. Петля магнітного гістерезису. J_n - намагніченість насичення, J_s - залишкова намагніченість, B_s - залишкова магнітна індукція, H_c - коерцитивна сила.

Петлею магнітного гістерезису також називають залежність магнітної індукції феромагнетика B від напруженості магнітного поля H (Рис 1б). На цій петлі також присутні дві точки, які відповідають коерцитивній силі H_c , а замість точок залишкової намагніченості присутні точки залишкової магнітної індукції $B_s = \mu_0 J_s$.

Можна показати, що площа петлі гістерезису в координатах (H, B) дорівнює втратам енергії при перемагнічуванні феромагнетика в перерахунку на один цикл на одиницю об'єму речовини.

В залежності від вигляду петлі гістерезису відрізняють два типи феромагнетиків: жорсткі і м'які. У **жорстких феромагнетиків** петля гістерезису широка, а значення залишкової намагніченості і коерцитивної сили великі. У **м'яких феромагнетиків** петля гістерезису вузька, а значення залишкової намагніченості і коерцитивної сили малі. Жорсткі феромагнетики використовуються для виготовлення постійних магнітів, а м'які – для виготовлення сердечників трансформаторів.

Специфіка процесу намагнічування феромагнетиків пов'язана з тим, що в них існують невеликі, але макроскопічні області, що називаються доменами, лінійний розмір яких 1-10мкм. У середині кожного домену речовина спонтанно намагнічена до насичення. В ненамагніченому зразку магнітні моменти різних доменів орієнтовані рівноправно в усіх напрямках. При намагнічуванні переважним є напрямок вздовж зовнішнього поля.

Намагнічування феромагнетика у зовнішньому магнітному полі відбувається 1) за рахунок зміщення границь доменів і росту розмірів тих доменів, вектори намагніченості яких складають з напрямком зовнішнього магнітного поля гострий кут; 2) за рахунок переорієнтації магнітних моментів доменів у напрямку зовнішнього магнітного поля. Після того, як всі домени будуть орієнтовані по полю, подальше зростання намагніченості зупиняється (досягається насичення).

Опис установки

Установка зображена на рис 2. Вона містить тороїд T з феромагнітним сердечником з двома обмотками. На первинну обмотку подається змінний електричний струм, за рахунок якого феромагнетик циклічно перемагнічується. Величина струму вимірюється амперметром A і регулюється реостатом $R1$.

До первинної обмотки підключено також x -вхід осцилографа O . Вторинна обмотка використовується для вимірювання магнітної індукції. Вторинна обмотка з'єднана послідовно з магазином опорів $R2$ і конденсатором C . Паралельно конденсатору підключено y -вхід осцилографа. Петлю гістерезису в координатах (H, B) відображається на екрані осцилографа. Магазин опорів $R2$ дозволяє регулювати висоту зображення. Реостат $R1$ дозволяє регулювати максимальне значення напруженості магнітного поля в циклі перемагнічування (від якого залежить форма петлі). Ціну поділки на екрані осцилографа приведено на ручках регулювання осцилографа.

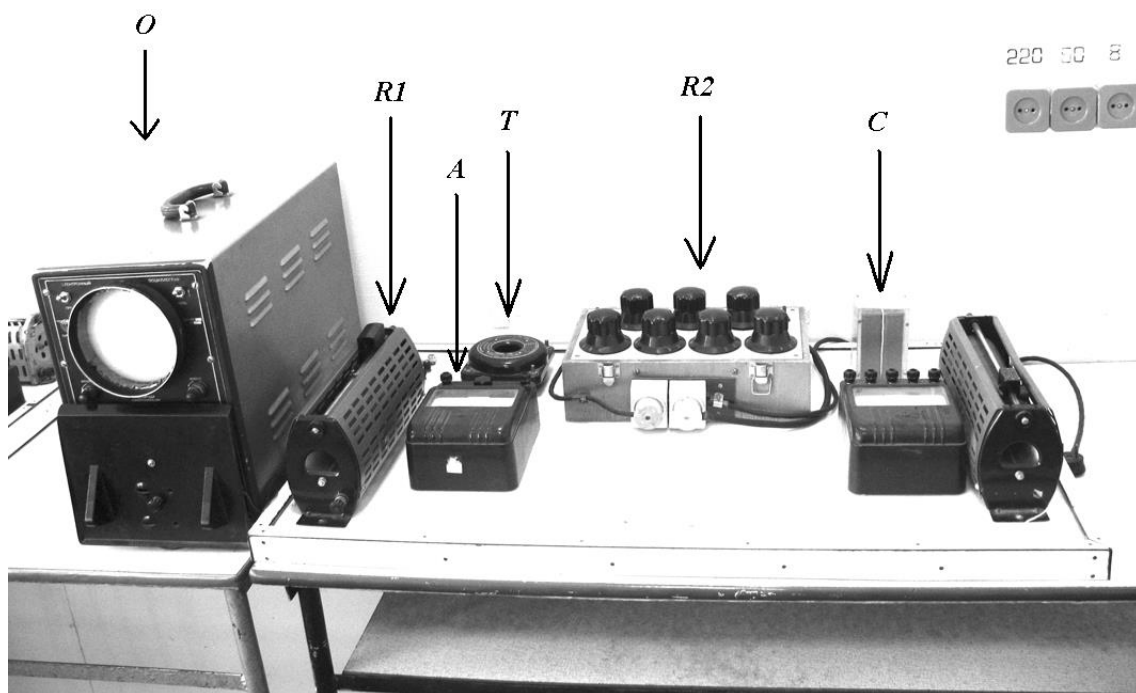


Рис. 2. Лабораторна установка.

Робочі формули

Для визначення кількісних характеристик петлі гістерезису потрібно знайти масштаб, який відповідає поділці на екрані осцилографа. Принципову електричну схему установки зображено на рис. 3. На x клеми осцилографа подається напруга з опору R_0 : $U_x = R_0 I_1$. Напруженість магнітного поля всередині тороїду визначається за формулою

$$H = n_1 I_1, \quad (1)$$

де I_1 - сила струму в первинній обмотці, n_1 - щільність витків в обмотці. Таким чином, $U_x \propto H$. Максимальна напруженість H_{\max} досягається при максимальному струмі $I_{\max} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ef}}$, де $I_{\text{ef}} = I$ - ефективна сила струму (яка вимірюється амперметром). Повна ширина петлі є $2H_{\max} = 2\sqrt{2} \cdot n_1 I$. Якщо повна ширина петлі складає l_x одиниць поділки, то ціна поділки по осі x є

$$a_x = \frac{2\sqrt{2} \cdot n_1 I}{l_x} \quad (2)$$

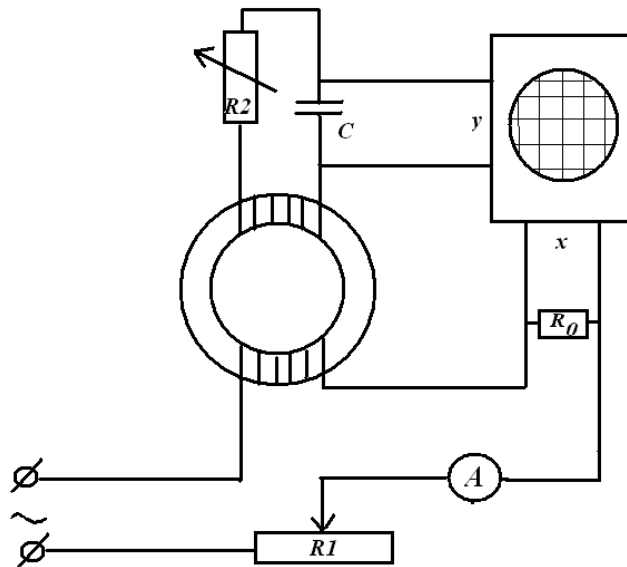


Рис. 3. Принципова електрична схема установки.

Потрібно також визначити ціну поділки по осі y . Для спрощення, розглянемо випадок, коли магнітна індукція на вторинній обмотці змінюється за гармонічним законом $B = B_m \cos(\omega t)$. Тоді ЕРС електромагнітної індукції дорівнює

$$\mathcal{E}_{em} = B_m S_2 N_2 \omega \sin(\omega t) \quad (3)$$

де S_2 є площа поперечного перерізу вторинної обмотки, N_2 - число витків в цій обмотці. Згідно з законами змінного струму, амплітуда струму в колі, зображеному на рис.3, дорівнює

$$I_m = \frac{\mathcal{E}_m}{R_n} = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{R_2^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \quad (4)$$

де R_2 - опір магазину опорів і C - ємність конденсатора. Максимальна напруга на конденсаторі дорівнює

$$U_C = R_c I_m = \frac{1}{\omega C} \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R_2^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \quad (5)$$

В даній установці активний опір є значно більшим за реактивний $R_2 \gg R_c = \frac{1}{\omega C}$. Тому

$$U_C \approx \frac{\varepsilon_m}{\omega C R_2} = \frac{B_m S_2 N_2 \omega}{\omega C R_2} = \frac{B_m S_2 N_2}{C R_2} \quad (6)$$

З (6) випливає, що магнітна індукція прямо пропорційна напрузі на конденсаторі:

$$B_m = \frac{U_C C R_2}{S_2 N_2} \quad (7)$$

На екрані осцилографа повна висота петлі відповідає подвійній максимальній напрузі на конденсаторі $2U_C = l_y u_y$, де l_y - висота петлі в одиницях поділки, і u_y - ціна поділки у вольтах. Тож $U_C = l_y u_y / 2$ і

$$B_m = \frac{l_y u_y C R_2}{2 S_2 N_2} \quad (8)$$

Повна висота петлі є $2B_m$. Ціна поділки в теслах дорівнює $a_y = 2B_m / l_y$, що дає

$$a_y = \frac{u_y C R_2}{S_2 N_2} \quad (9)$$

Для визначення залишкової магнітної індукції потрібно знайти B_3 в одиницях поділки L_{B_3} і помножити цю величину на ціну поділки

$$B_3 = L_{B_3} a_y \quad (10)$$

Залишкова намагніченість дорівнює

$$J_3 = \frac{B_3}{\mu_0} \quad (10a)$$

Для визначення коерцитивної сили потрібно знайти H_c в одиницях поділки L_{H_c} і помножити цю величину на ціну поділки

$$H_c = L_{H_c} a_x \quad (11)$$

Магнітна проникність при максимальному H визначається за формулою

$$\mu = \frac{B_m}{\mu_0 H_m} = \frac{l_y a_y}{\mu_0 l_x a_x} \quad (12)$$

Робота по перемагнічуванню на одиничний об'єм визначається за формулою

$$A = s_h a_x a_y \quad (13)$$

де s_h - площа петлі в одиницях поділки.

Послідовність виконання роботи

1. Включити осцилограф. За допомогою реостата і магазину опорів відрегулювати зображення петлі. Петля повинна займати більшу частину екрану, але не виходити за його межі.
2. Використовуючи амперметр, знайти ефективне значення сили струму через первинну обмотку.
3. Зарисувати петлю гістерезису, додержуючись масштабу поділки на екрані (доцільно вибрати масштаб таким, що одиниці поділки на екрані відповідає декільком клітинкам на рисунку). На рисунку провести горизонтальну і вертикальну осі. Осі мають ділити петлю точно пополам. Вісь x відповідає напруженості магнітного поля, Вісь y - магнітній індукції.
4. На рисунку вказати точки, які відповідають значенню залишкової магнітної індукції і коерцитивної сили.
5. За формулами (2) і (9) визначити ціну поділки по осі x і y .
6. З рисунку визначити величини L_{B_3} , L_{Hc} і s_h в одиницях поділки. За формулами (10), (10а), (11), (12) і (13) розрахувати кількісні характеристики петлі гістерезису.

Звіт про виконану роботу

1. Робочі формули для визначення ціни поділки

$$a_x = \quad \quad \quad (\text{А/м})$$

$$a_y = \quad \quad \quad (\text{Тл})$$

Робочі формули для визначення залишкової магнітної індукції і залишкової намагніченості

$$B_3 = \quad \quad \quad (\text{Тл})$$

$$J_3 = \quad \quad \quad (\text{А/м})$$

Робоча формула для визначення коерцитивної сили

$$H_c = \quad (\text{А/м})$$

Робоча формула для визначення магнітної проникності

$$\mu =$$

Робоча формула для визначення роботи по перемагнічуванню

$$A = \quad (\text{Дж/м}^3)$$

2. Дані, що приведені на панелі установки і осцилографі.

$$\text{Густина витків первинної обмотки тороїда } n_1 = \quad (\text{м}^{-1})$$

$$\text{Число витків вторинної обмотки тороїда } N_2 =$$

$$\text{Площа поперечного перерізу вторинної обмотки } S_2 = \quad (\text{м}^2)$$

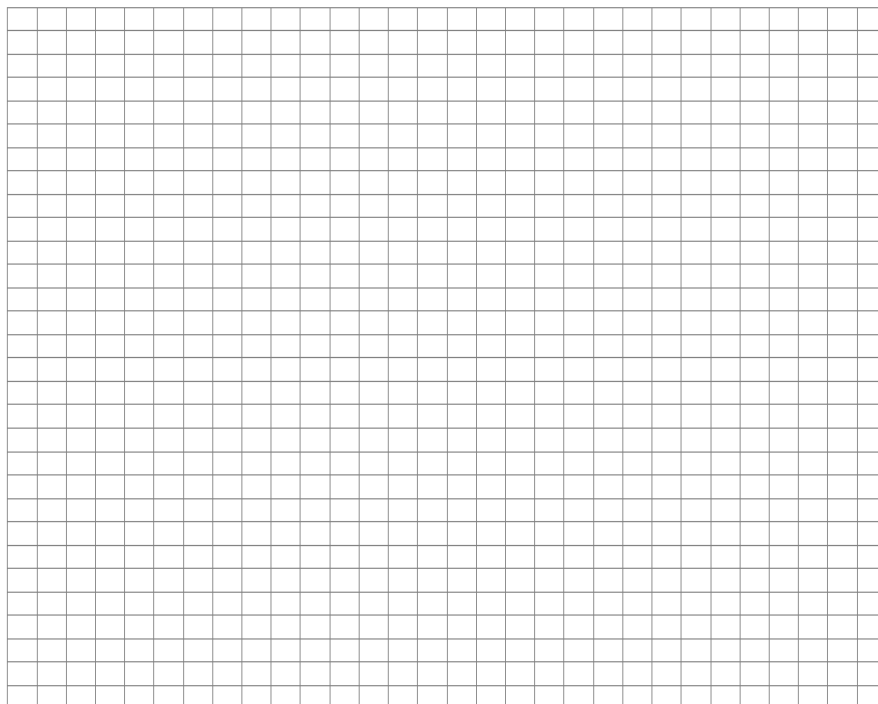
$$\text{Ціна поділки у вольтах } u_y = \quad (\text{В})$$

3. Результати вимірювання

$$\text{Ефективна сила струму через первинну обмотку } I = \quad (\text{А})$$

$$\text{Опір магазину опорів } R_2 = \quad (\text{Ом})$$

4. Рисунок петлі гістерезису



5. Аналіз рисунка

$$l_x =$$

$$l_y =$$

$$L_{B3} =$$

$$L_{Hc} =$$

$$s_h =$$

6. Розрахунок ціни поділки

$$a_x =$$

$$a_y =$$

7. Розрахунок характеристик петлі гістерезису

Залишкова магнітна індукція

$$B_3 =$$

Залишкова намагніченість

$$J_3 =$$

Коерцитивна сила

$$H_c =$$

Магнітна проникність

$$\mu =$$

Роботи по перемагнічуванню на цикл на одиницю об'єму.

$$A =$$

Контрольні запитання

1. Які речовини називаються феромагнетиками? Що називається температурою Кюрі?
2. Поясніть, чому в феромагнетик в достатньо сильних полях досягається намагніченість насичення?
3. Нарисуйте петлю гістерезису. Поясніть рисунок.
4. Що називається залишковою намагніченістю? Що називається коерцитивною силою? В яких одиницях вимірюються ці величини? Як по петлі гістерезису знайти ці величини?
5. В чому полягає різниця між жорсткими і м'якими феромагнетиками? Де використовуються жорсткі і м'які феромагнетики?
6. Що таке магнітні домени? Як відбувається процес намагнічування феромагнетика?

7. Що таке тороїд? Чому дорівнює напруженість магнітного поля в тороїді? Як направлені магнітні силові лінії в тороїді?
8. В чому полягає явище електромагнітної індукції? За якою формулою розраховується ЕРС електромагнітної індукції в обмотці, яка знаходиться в магнітному полі, що змінюється за гармонічним законом?
9. За якою формулою можна розрахувати втрати енергії по перемагнічуванню феромагнетика в періодичному зовнішньому магнітному полі?