

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

Методичні вказівки
до лабораторної роботи
№ 4.27.7

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІСТЕРЕЗИСУ ФЕРОМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ

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 ГІСТЕРЕЗИСУ ФЕРОМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Прилади та приладдя: 1) касета ФПЕ-07; 2) генератор електромагнітних коливань звукової частоти; 3) електронний осцилограф.

Мета роботи – визначення: 1) кривої намагнічування; 2) коерцитивної сили; 3) залишкової намагніченості; 4) роботи перемагнічування за один цикл феромагнетика по петлі гістерезису при різних напругах живлення.

Опис приладу та теоретичні відомості

Феромагнетиками називають тверді тіла, які мають спонтанну намагніченість, тобто намагнічені вже у відсутності магнітного поля. У цьому відношенні вони аналогічні сегнетоелектрикам. Типовими представниками феромагнетиків є залізо, кобальт, нікель та багато їх сплавів.

Характерною особливістю феромагнетиків є нелінійна залежність величини B від H (рис. 1), їм властиво явище магнітного гістерезису. Залежність між B і H виявляється неоднозначною, а визначається попередньою історією намагнічування. Якщо спочатку ненамагнічений феромагнетик намагнічувати, збільшуючи H від нуля до значення, при якому настає насичення (точка A на рис.1), а потім зменшувати H від H_a до $-H_0$, то крива намагнічування $B(H)$ піде не по первісному шляху AO , а вище – по шляху ACD . Якщо далі змінювати H у зворотному напрямку від $-H_0$ до $+H_a$, то крива намагнічування пройде нижче – по шляху $A'C'A$.

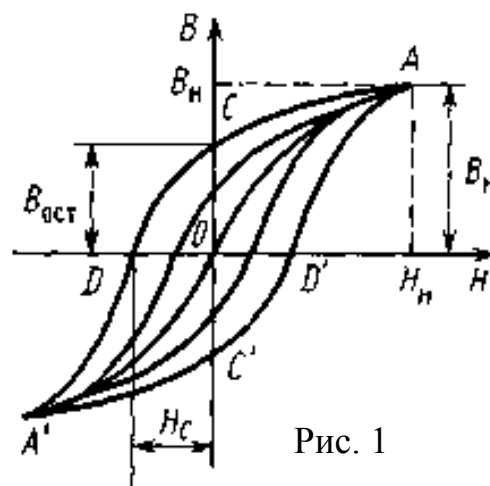


Рис. 1

Отриману замкнену криву називають петлею гістерезису. У тому випадку, коли в точках A і A' досягається насичення, петлю гістерезису називають максимальною. Якщо ж у крайніх точках насичення нема, то одержують петлі гістерезису меншого розміру, тобто вписану в максимальну петлю.

З рисунка видно, що при $H = 0$ намагнічування не зникає (точка C) і характеризується величиною $B_{зал}$, яку називають залишковою індукцією. Для її зникнення треба прикласти поле $H = -H_k$. Величина H_k називається коерцитивною силою. Прийнято феромагнетик вважати жорстким, якщо $H_k \geq 100$ А/м. Якщо $H_k < 100$ А/м, то феромагнетик вважають м'яким. Жорсткі феромагнетики використовують для виготовлення постійних магнітів, м'які – як осердя трансформаторів змінного струму та для електричних машин.

Петлю гістерезису легко отримати на екрані електронно – променевої трубки осцилографа.

Принципова схема установки зображена на рис. 2.

На первинну обмотку трансформатора подається змінна напруга від звукового генератора. У коло первинної обмотки приєднаний резистор R_1 . В осерді трансформатора утворюється змінне магнітне поле, напруженість якого пропорційна силі струму, який протікає через резистор R_1 . Якщо з резистора R_1 напругу подати на вхід X

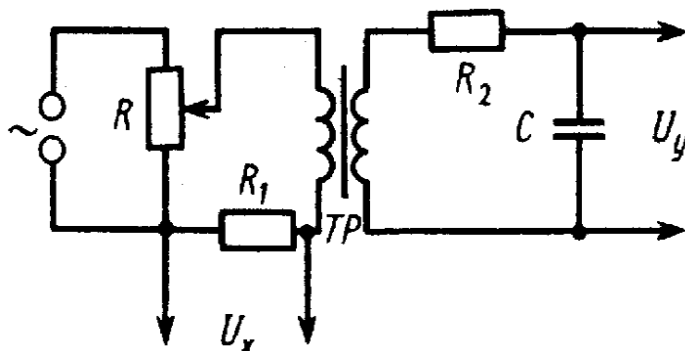


Рис. 2

осцилографа, то величина відхилення променя на екрані буде пропорційна напруженості H магнітного поля.

На вхід Y осцилографа подається напруга з конденсатора C , пропорційна заряду конденсатора, який, у свою чергу, пропорційний величині B . Таким чином, на горизонтальний і вертикальний входи осцилографа одночасно подають напруги, пропорційні відповідно напруженості H та індукції B магнітного поля. На екрані осцилографа можна спостерігати петлю гістерезису.

Досліджуваний зразок феромагнетика виконано у вигляді тороїду. Тому

$$H = \frac{N_1}{2\pi \cdot r_m} I_1,$$

де $r_m = \frac{r_1 + r_2}{2}$, r_1 і r_2 – внутрішній та зовнішній радіуси тороїду; I_1 – сила струму у первинній обмотці тороїду; N_1 – кількість витків первинної обмотки тороїду.

Спад напруги на резисторі R_1 визначається за формулою

$$U_x = I_1 R_1 = \frac{2\pi \cdot r_m}{N_1} R_1 H \quad (1)$$

і пропорційний відхиленню електронного променя по осі X, тобто

$$U_x = b_1 x, \quad (2)$$

де b_1 – чутливість осцилографа.

З урахуванням виразів (1) і (2) напруженість магнітного поля можна розрахувати так:

$$H = \frac{N_1}{2\pi r_m R_1} b_1 x = \alpha b_1 x, \quad (3)$$

де $\alpha = \frac{N_1}{2\pi r_m R_1}$.

За законом Фарадея – Ленца ЕРС індукції у вторинній обмотці

$$\varepsilon_i = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \frac{dB}{dt} S_2,$$

де Φ – потік магнітної індукції \vec{B} через один виток вторинної обмотки;

$S_2 = (r_2 - r_1) d$ – площа перерізу тороїду (d – товщина тороїду).

За законом Ома для вторинної обмотки трансформатора

$$\xi_2 = U_c + I_2 R_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt}, \quad (4)$$

де U_c – напруга на конденсаторі; I_2 – сила струму у вторинній обмотці; L_2 – індуктивність обмотки.

Якщо електроємність C і опір R_2 достатньо великі, то

$$I_2 R_2 \gg U_c = \frac{q}{C}, \quad I_2 R_2 \gg L_2 \frac{dI_2}{dt}, \quad (5)$$

де q – заряд конденсатора.

З урахуванням формули (5) вираз (4) виглядає так:

$$I_2 = -\frac{\varepsilon_s}{R_2} = -\frac{N_2 S_2}{R_2} \cdot \frac{dB}{dt}. \quad (6)$$

Напруга на конденсаторі U_c , яку подають на підсилювач вертикального відхилення променя осцилографа,

$$U_c = U_y = \frac{q}{c} = \frac{0}{C} = -\frac{N_2 S_2}{R_2 C} \int \frac{dB}{dt} dt = -\frac{N_2 S_2}{R_2 C} \cdot B. \quad (7)$$

Ця напруга пропорційна відхиленню електронного променя вздовж вертикальної осі, тобто

$$U_y = b_2 y. \quad (8)$$

Із виразів (7) та (8) отримаємо величину магнітної індукції:

$$B = \beta \cdot b_2 \cdot y, \quad (9)$$

де $\beta = \frac{R_2 C}{N_2 S_2}$.

Змінюючи силу струму I у первинній обмотці тороїдального трансформатора, спостерігають за петлею гістерезису на екрані осцилографа.

По площі петлі гістерезису можна знайти роботу перемагнічування ферромагнетика, віднесена до одиниці об'єму зразка. Тоді об'ємна густина енергії магнітного поля

$$\omega_v = \frac{\mu_0 \mu H_2}{2} = \frac{BH}{2}.$$

Елементарна робота, яка виконується у циклі перемагнічування,

$$\delta A = d\omega_v = H dB.$$

Робота за повний цикл перемагнічування

$$A = \oint H dB. \quad (10)$$

З урахуванням виразів (9) і (10) можна записати, що

$$A = \alpha \beta b_1 b_2 \oint x dy = \alpha \beta b_1 b_2 S_{\text{пет}}, \quad (11)$$

де S_{net} – площа петлі гістерезису на екрані осцилографа, виміряна в см^2 .

Послідовність вимірювань

Зберіть схему установки відповідно до маркування на касеті ФПЕ-07 (рис. 3).

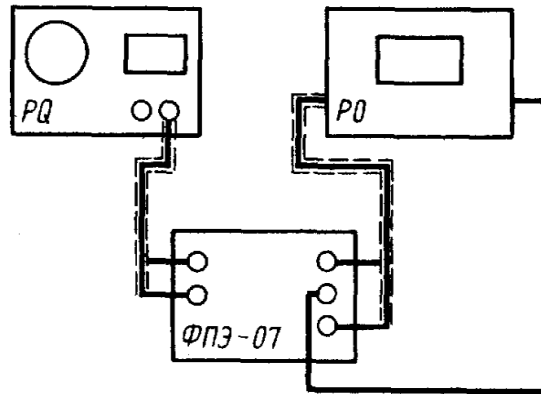


Рис. 3

Завдання 1. Знімання кривої намагнічування

1. Підготуйте осцилограф до роботи у режимі спостереження фігур Ліссажу.
2. На генераторі встановіть частоту 2 кГц.
3. Підведіть живлення до лабораторного столу та увімкніть прилади.
4. Регулюючи вихідну напругу генератора і підсилення по осі Y осцилографа, установіть максимальну петлю гістерезису, яка відповідає магнітному насиченню зразка. При цьому петля гістерезису повинна займати найбільшу площу екрана осцилографа.
5. Занесіть у таблицю координати x та y у вершин максимальної петлі гістерезису.
6. Змініть за допомогою ручки “Рег. вих.” звукового генератора площу петлі гістерезису на екрані осцилографа і знову занесіть у таблицю координати її вершин.
7. Повторіть вимірювання за п. 6 ще для чотирьох петель гістерезису. У разі необхідності (якщо розмір петлі малий) можна змінити чутливість осцилографа по вертикалі. При цьому величина b_2 приймає нове значення (обчислюють b_2 як добуток коефіцієнта підсилення по осі Y на множник). Результати вимірювань занесіть у таблицю.
8. Обчисліть величини H та B за формулами (3) і (8). Додаткові дані, необхідні для розрахунків: $r_1 = 10$ мм; $r_2 = 15$ мм; $N_1 = 200$ витків; $N_2 = 50$ витків; $R_1 = 100$ Ом; $R_2 = 24$ кОм; $b_1 = 0,032$ В/см; $C = 0,022$ мкФ; $d = 0,5$ см.
9. Побудуйте криву намагнічування $B = f(H)$.

Завдання 2. Визначення коерцитивної сили

1. Установіть максимальну петлю гістерезису.
2. Для цієї петлі знайдіть координату X_k , яка відповідає коерцитивній силі H_k , та координату $Y_{зал}$, яка відповідає величині $B_{зал}$. За формулами (3) і (9) обчисліть H_k і

$B_{\text{зал.}}$

3. Визначте групу магнетика (твердий або м'який).

№ петлі	X , см	Y , см	H , А/м	B , Тл	A , Дж	H_k , А/м	Група феромагнетика

Завдання 3. Визначення роботи перемагнічування A за цикл

1. Максимальну за розміром петлю гістерезису перенесіть на міліметровий папір і обчисліть її площу $S_{\text{пет}}$ (см²).
2. За формулою (11) обчисліть роботу перемагнічування.

Контрольні питання

1. На які групи поділяють магнетика?
2. Які основні властивості мають феромагнетика?
3. У чому полягає явище магнітного гістерезису?
4. Що називають коерцитивною силою?
5. Які феромагнетика відносять до твердих, а які до м'яких?
6. Що називають роботою перемагнічування?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 324 – 331.