


Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 13.03.2023 10:45:42
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb1755d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор –
проректор по учебной работе
Е.А. Кудряшов
«18» мая 2012 г.



ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ГИСТЕРЕЗИСА
В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Методические указания к выполнению лабораторной
работы № 49 по разделу "Электричество и магнетизм"

Курск 2012 г.

УДК 534.2

Составители: Н.М.Игнатенко, А.Г.Беседин, А.М.Стороженко

Рецензент

Кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры ТиЭФ ЮЗГУ П.А.Красных

Изучение явления гистерезиса в ферромагнетиках : методические указания к лабораторной работе № 49 по разделу „Электричество и магнетизм” / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Н.М. Игнатенко, А.Г. Беседин, А.М. Стороженко Курск, 2012. 8 с.: ил. 4, табл. 2. Библиогр.: 3 назв.

Излагаются методические рекомендации по измерению основных магнитных параметров ферромагнетиков. Содержится краткое теоретическое введение. Указываются порядок выполнения работы, задания и вопросы для контроля знаний.

Методические указания соответствуют требованиям Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (2010 год) и рабочих учебных планов технических специальностей ЮЗГУ.

Предназначены для студентов технических специальностей дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60 x 84 1/16.

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Изучение явления гистерезиса в ферромагнетиках

Цель работы: Экспериментальное исследование процесса перемагничивания ферромагнетика, определение его основных магнитных характеристик.

ВВЕДЕНИЕ

Размагниченный ферромагнитный образец при температуре, меньшей температуры Кюри T_K , состоит из большого числа относительно мелких областей $\sim(1-10 \text{ мкм})$, спонтанно намагниченных до насыщения. Эти области получили название магнитных доменов. Самопроизвольная намагниченность доменов обусловлена квантово-механическими эффектами: мощным электростатическим обменным взаимодействием электронов в ферромагнитном веществе. Суммарный магнитный момент $\vec{I} = \sum \vec{I}_{0S}$ всего ферромагнетика в отсутствие внешнего магнитного поля H равен нулю, т.к. направление магнитных моментов \vec{I}_{0S} различных доменов различно.

При внесении ферромагнетика в магнитное поле векторы намагниченности доменов \vec{I}_{0S} ориентируются преимущественно по полю, и образец обретает суммарный магнитный момент \vec{I} , отличный от нуля, то есть образец намагничивается.

Ферромагнетики являются сильномагнитными веществами, их намагниченность значительно превосходит намагниченность диа- и парамагнетиков и зависит от H сложным образом. Поэтому магнитная индукция $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{I})$ у ферромагнетиков также сложным образом зависит от напряженности H . Как показано на рис.1, индукция B зависит не только от напряженности поля H , но и

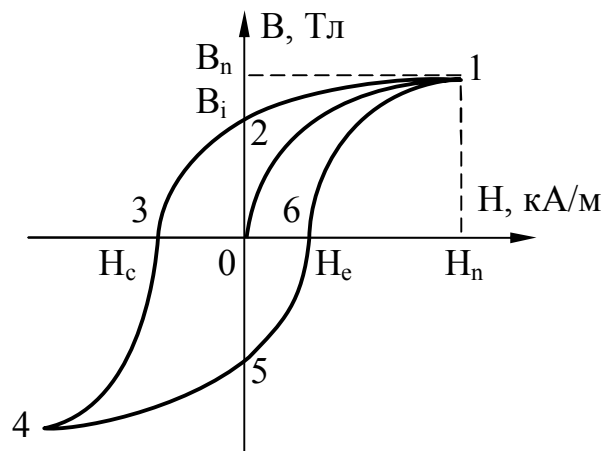


Рис. 1

и

от предыстории образца. Причем изменение B несколько отстает от изменения внешнего поля H . Это явление получило название гистерезиса, а замкнутая кривая зависимости $B(H)$ получила название петли гистерезиса.

Зная ход основной кривой намагничивания (0,1) и максимальной петли гистерезиса (1,2,3,4,5,6) можно получить основные характеристики ферромагнетика: B_n - индукцию насыщения, B_i - остаточную индукцию, H_c - коэрцитивную силу (величину размагничивающего поля), μ_{\max} - максимальную магнитную проницаемость.

Полной магнитной проницаемостью называют величину, определяемую формулой

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H}. \quad (1)$$

Часто определяют дифференциальную магнитную проницаемость $\mu = \frac{dB}{\mu_0 dH}$. Для ферромагнетиков зависимость $\mu(H)$ имеет экстремальный характер (рис. 2).

Сложный ход зависимости

$B(H)$, например, на основном участке кривой намагничивания (0,1) рис.1 объясняется наличием различных физических процессов, ответственных за намагничивание ферромагнетика. В слабых полях образец намагничивается за счет роста объемов доменов с векторами спонтанной намагниченности доменов \vec{I}_{OS} , ориентированными по полю. В средних полях – за счет поворотов векторов намагниченности доменов \vec{I}_{OS} в направлении поля. В сильных полях – за счет парапроцесса. При этом увеличивается модуль вектора спонтанной намагниченности доменов $|\vec{I}_{OS}|$. Величина площади петли гистерезиса пропорциональна потерям электромагнитной энергии в ферромагнетике при перемагничивании.

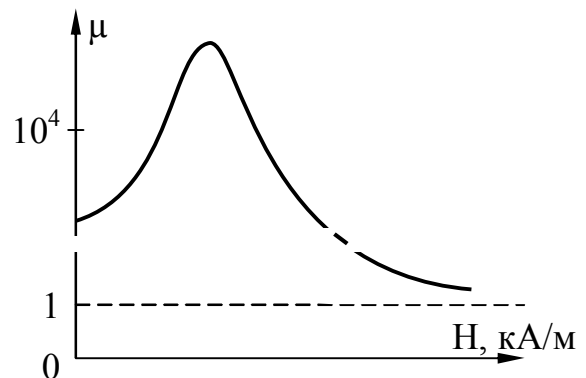


Рис. 2

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Максимальную петлю гистерезиса и частные циклы получают на экране осциллографа с помощью установки, принципиальная электрическая схема которой приведена на рис. 3.

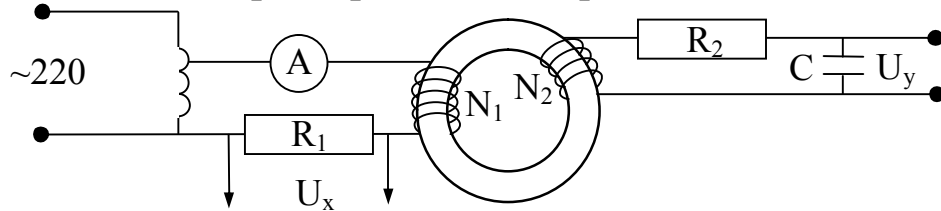


Рис. 3

Исследуемый образец является тороидом из трансформаторной стали. Первичная обмотка 1 с числом витков N_1 питается от ЛАТРа через сопротивление R_1 переменным током i_1 . Ток во вторичной обмотке определяется ЭДС самоиндукции. Можно показать, что напряженность магнитного поля, создаваемого током i_1 в первичной обмотке, пропорциональна величине напряжения на сопротивлении R_1 . Это напряжение подается на горизонтально отклоняющие обкладки осциллографа. Причем имеем

$$H = \frac{n_1}{R_1} U_x, \quad (2)$$

где n_1 - число витков на единицу длины в первичной обмотке.

Индукция магнитного поля в ферромагнитном тороиде пропорциональна напряжению на обкладке конденсатора U_y (для случая $R_2 \gg X_c$). Это напряжение подается на вертикально отклоняющие обкладки осциллографа. Причем,

$$B = \frac{R_2 C}{N_2 S} U_y, \quad (3)$$

где C – емкость конденсатора, S – площадь сечения тороида.

Электронный луч, управляемый переменными напряжениями U_x и U_y описывает на экране осциллографа петлю гистерезиса. Если постепенно увеличивать напряжение, то получим на экране осциллографа ряд частных петель гистерезиса и, наконец, максимальную, когда форма и величина петли не изменяются.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1. Собирают цепь согласно рис.3. Увеличивая напряжение U_x , добиваются появления на экране осциллографа максимальной петли гистерезиса.

Ручками «усиление X и Y» добиваются хорошей «картинки» петли, сходной с рис. 1 (в дальнейшем этими ручками пользоваться). Определяют чувствительность входов X и Y осциллографа. Для этого следует поочередно подать на входы X и Y переменное напряжение (например, контрольный сигнал 6,3 В) и измерить смещение луча n_x и n_y вдоль осей x и y. Усиление определяют по формулам $k_x = \frac{U}{n_x}$ и

$$k_y = \frac{U}{n_y}.$$

2. Определяют на экране осциллографа координаты верхних (или нижних) точек частных циклов и цикла максимальной петли гистерезиса. Результаты заносят в таблицу 1. По полученным данным строят основную кривую намагничивания (0,1) в координатах ху.

Таблица 1

х, дел.										
у, дел.										

3. Получив максимальную петлю гистерезиса, снять ее основные координаты и занести их в таблицу 2.

Таблица 2

х, дел.										
у, дел.										

Построить максимальную петлю гистерезиса в координатах ху и расположить ее на одном чертеже с основной намагничивания (рис. 4).

С помощью основной кривой намагничивания (участок 0,1) рис. 4 определяют зависимость $\mu(H)$ по формуле (1), затем μ_{\max} находят графически. При этом В и Н определяют из выражений (2) и (3), а напряжения U_x и U_y , подаваемые на отклоняющие обкладки осцилло-

графа, определяются по найденным ранее коэффициентам усиления входов осциллографа k_x и k_y . При этом

$$U_x = k_x x \text{ и } U_y = k_y y, \quad (4), (5)$$

где x , y – координаты точек кривой намагничивания на экране осциллографа.

Используя рис. 4, по координатам точек пересечения максимальной петли гистерезиса с осями $(x_c, 0)$, $(0, y)$ и (x_n, y_n) определяют остальные характеристики B_n , B_r , B_c ферромагнетика по формулам (2), (3), (4).

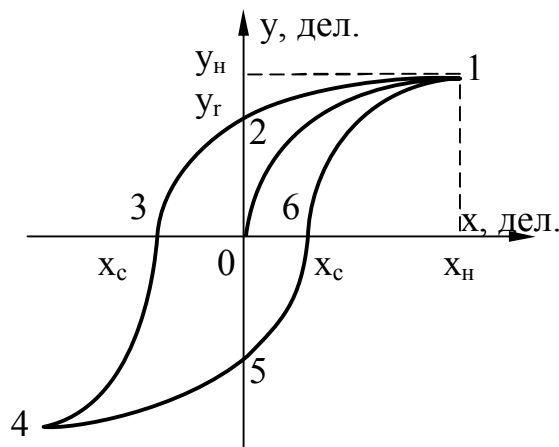


Рис. 4

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Перед включением лабораторной установки необходимо изучить методическое описание к лабораторной работе.
2. Избегайте касания оголенных контактов установки.
3. Категорически запрещается производить ремонт неисправностей оборудования, подключенного к сети.
4. В экстремальных ситуациях необходимо немедленно обесточить систему.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем проявляется гистерезис в ферромагнетиках и какова его причина?
2. Что такое основная кривая намагничивания, магнитное насыщение, максимальная петля гистерезиса, частный цикл?
3. Что называется магнитной проницаемостью вещества?
4. Перечислите основные характеристики ферромагнитных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полуниин В.М. Физика. Основные понятия и законы. [Текст]: учебно-методическое пособие / В.М.Полуниин, Г.Т.Сычев. Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2002.
2. Савельев И.В. Курс физики: Учебное пособие в 3-х тт. Т.2 / И.В.Савельев. – СПб: Из-во «Лань», 2007. – 352 с.
3. Федосеев В.Б. Физика: Учебник / В.Б.Федосеев. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 669 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики: Учебное пособие. 7-е изд., стер. / Т.И.Трофимова. – М.: Высшая школа, 2003. – 542 с.
5. Детлаф А.А. Курс физики: Учебное пособие. 4-е изд., испр. / А.А.Детлаф, Б.М.Яворский. - М.: Высшая школа, 2002. – 718 с.