

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич  
Должность: ректор  
Дата подписания: 25.09.2022 14:42:10  
Уникальный программный ключ:  
9ba7d3e34c012eba4765fd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

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

Кафедра физики



**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

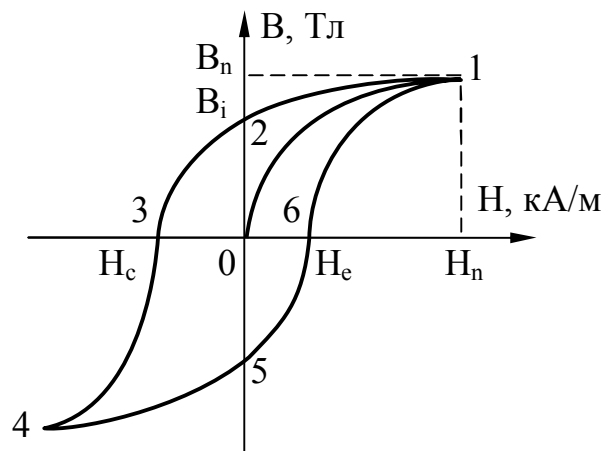


Рис. 1

но 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 размагничивающегося поля),  $\mu_{\max}$  - 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.

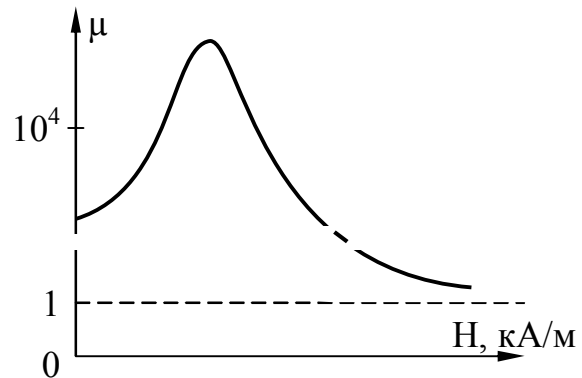


Рис. 2

## 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.

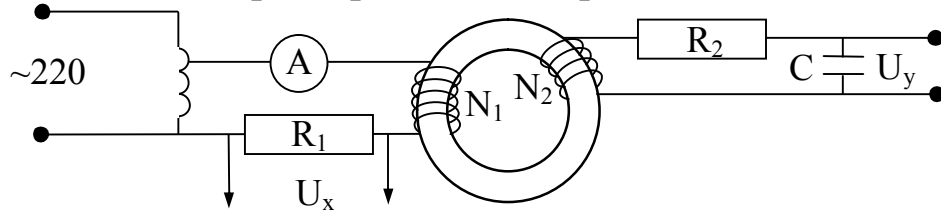


Рис. 3

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  $\mu_{\max}$  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).

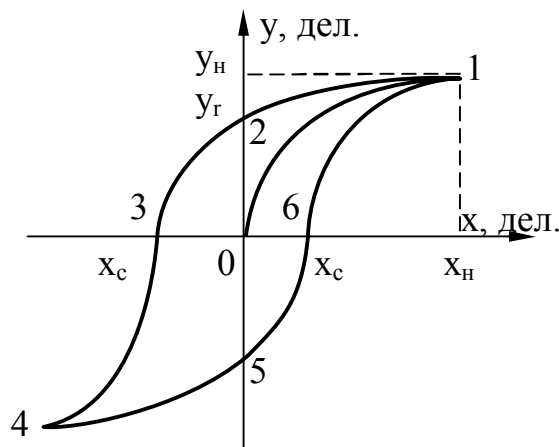


Рис. 4

## 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.