

Министерство общего и профессионального образования РФ  
Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет  
им. В. И. Ульянова (Ленина)  
Кафедра физики

Отчет по лабораторной работе №11  
"Исследование гистерезиса ферромагнетиков"

Преподаватель: Павловская М.В.  
Студент: Джанджгава А.Р. гр. 6311

Санкт-Петербург  
1997

*Цель работы:* изучение магнитного поля в веществе на примере исследования динамической петли магнитного гистерезиса ферромагнетика; определение основных характеристик ферромагнетика.

*Приборы и принадлежности:* тороидальный трансформатор, измерительная цепь с осциллографом.

*Общие сведения.* Все вещества являются магнетиками, то есть способны приобретать во внешнем магнитном поле магнитный момент - намагничиваться.

Намагниченность вещества характеризуется магнитным моментом его единицы объема, называемым вектором намагниченности или просто намагниченностью  $\vec{j} = \frac{1}{\Delta V} \cdot \sum_{i=1}^N \vec{p}_{mi}$ , здесь  $\sum_{i=1}^N \vec{p}_{mi}$  - векторная сумма магнитных моментов атомов (молекул) в физически малом объеме  $\Delta V$ .

Намагниченность характеризует собственное (внутреннее) поле вещества и связана с напряженностью поля соотношением  $J = \chi \cdot H$ , где  $\chi$  - характерная для данного магнетика величина, называемая магнитной восприимчивостью.

Основная же характеристика магнитного поля - индукция  $B$  - связана с намагниченностью  $J$  и напряженностью  $H$  магнитного поля в веществе соотношением  $B = \mu_0 H + \mu_0 J = \mu \mu_0 H$ , (1) где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м - магнитная постоянная;  $\mu = 1 + \chi$  - относительная магнитная проницаемость вещества.

Ферромагнетики - вещества, способные обладать намагниченностью в отсутствие внешнего магнитного поля. Внутреннее магнитное поле в сотни и тысячи раз превышает вызвавшее его внешнее поле.

Зависимость магнитной индукции  $B$  в ферромагнетике от напряженности  $H$  периодически изменяющегося внешнего магнитного поля отображается замкнутой кривой (рис.1), называемой динамической петлей магнитного гистерезиса. Участок 1-2 соответствует основной кривой намагничивания ферромагнетика (начальная намагниченность равна нулю).

При уменьшении напряженности внешнего поля до нуля намагниченность не исчезает и характеризуется величиной  $J_y$ , называемой остаточной намагниченностью. Значение индукции  $B_y$ , сохраняющееся при этом у ферромагнетика (рис.1), называется остаточной индукцией.

Индукция  $B_y$  обращается в нуль лишь под действием поля  $H_c$  имеющего направление, противоположное полю, вызвавшему намагничивание. Напряженность  $H_c$  называется коэрцитивной силой.

*Методика эксперимента.* В работе изучается гистерезис ферромагнетика при намагничивании в переменном магнитном поле с частотой 50 Гц и определяются остаточные индукция  $B_y$  и намагниченность  $J_y$ , коэрцитивная сила  $H_c$ , максимальное значение магнитной проницаемости  $\mu_{max}$ , потери энергии при перемагничивании ферромагнетика.

Схема экспериментальной установки показана на рис.2. На кольцевом сердечнике, выполненном из ферромагнетика, имеющем площадь сечения  $S$  и длину средней линии  $l$ , размещены две катушки - возбуждающая и индикаторная с числом витков  $N_1$  и  $N_2$ , соответственно.

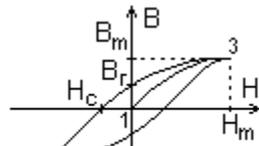


Рис.1

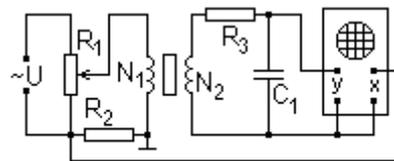


Рис.2

Максимальное значение магнитной проницаемости определяется по графику зависимости  $\mu(H)$ . Согласно (1) величина  $\mu$  равна  $\mu = B / (\mu_0 H)$ , где  $B$  - значение индукции, определяемое по основной кривой намагничивания при заданной величине  $H$ .

Потери энергии в единице объема ферромагнетика за цикл перемагничивания равны площади петли гистерезиса (в единицах  $B \cdot H$ ).

Расчет масштабных коэффициентов:

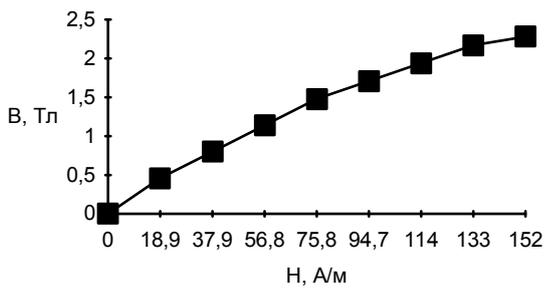
$$\left[ \frac{H}{x} \right] = \frac{N_1}{IR_2} \left[ \frac{U}{x} \right] = \frac{495}{9.8 \cdot 10^{-2} \cdot 120} \cdot 0.9 = 37.88 \frac{\text{А}}{\text{м д е л}}$$

$$\left[ \frac{B}{y} \right] = \frac{CR_3}{N_2 S} \left[ \frac{U}{y} \right] = \frac{0.3 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot 10^3}{90 \cdot 1.17 \cdot 10^{-4}} \cdot 0.2 = 1.14 \frac{\text{Тл}}{\text{д е л}}$$

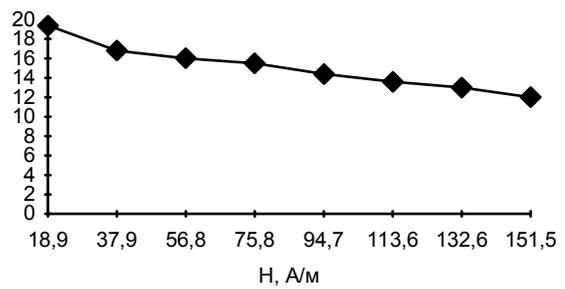
Вычисление  $H_i$ ,  $B_i$ ,  $\mu_i(H)$ :  $H_i = x_i \left[ \frac{H}{x} \right]$   $B_i = y_i \left[ \frac{B}{y} \right]$   $\mu(H) = \frac{B}{\mu_0 H}$

	1	2	3	4	5	6	7	8
$H_i$ , А/м	151.5	132.6	113.6	94.7	75.8	56.8	37.9	18.9
$B_i$ , Тл	2.28	2.17	1.94	1.71	1.48	1.14	0.80	0.46
$\mu(H)$ , $\cdot 10^{-3}$	12.0	13.0	13.6	14.4	15.5	16.0	16.8	19.4

Основная кривая намагничивания



Зависимость (H)



$$B_r = 0.8 \left[ \frac{B}{y} \right] = 0.8 \cdot 1.14 = 0.912 \text{ Тл} \quad B_r = \mu_0 J_r \quad J_r = \frac{B_r}{\mu_0} \quad J_r = \frac{0.912}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 7.25 \cdot 10^5 \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}}$$

$$H_c = -1.2 \cdot \left[ \frac{H}{x} \right] = -45.46 \frac{\text{А}}{\text{м}} \quad \mu_{\max} = 19.4 \cdot 10^3$$

$$P = S_{\text{п е т л и}} \cdot \left[ \frac{H}{x} \right] \left[ \frac{B}{y} \right] = 5 \cdot 37.88 \cdot 1.14 = 215.9 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$$

Вывод: Результаты расчетов показали, что у ферромагнетиков при уменьшении напряженности внешнего поля до нуля, намагниченность не исчезает и характеризуется величиной  $B_r$  (индукция в ферромагнетике), которая в данном случае равна 0.912 Тл. Судя по полученному значению  $\mu_{\max} = 19.4 \cdot 10^3$ , используя справочник, можно сделать вывод, что в данном опыте в качестве материала сердечника использовался сплав железа с никелем.