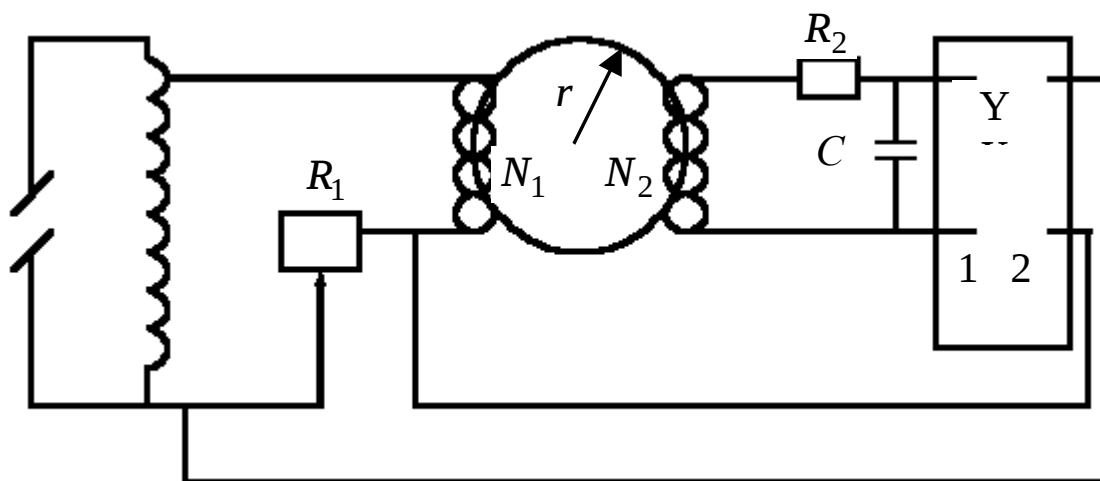


ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: исследование зависимости индукции магнитного поля в ферромагнетике от величины намагничивающего поля.

Принадлежности: электронный осциллограф, ЛАТР (лабораторный автотрансформатор), блок, состоящий из сопротивлений, конденсатора и тороида.



$$R_1 = 600 \text{ Ом}, R_2 = 33 \text{ кОм}$$

$$N_1 = 110 \text{ витков}, N_2 = 40 \text{ витков}$$

$$C = 2 \text{ мкФ}, r = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}, S = 1,71 \text{ см}^2 \quad \text{Рис.}$$

Чтобы получить кривую намагничивания на экране осциллографа, нужно на горизонтальный усилитель “Х” подать сигнал, пропорциональный напряженности магнитного поля H , а на вертикальный усилитель - сигнал, пропорциональный магнитной индукции B .

В используемой схеме на горизонтальный усилитель осциллографа подается падение напряжения на сопротивлении R_1 , включенном последовательно с намагничивающей обмоткой. Это напряжение пропорционально току в обмотке, а, следовательно, и напряженности магнитного поля:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}; \quad H = nI_1 \quad (1)$$

n - число витков на единицу длины первичной катушки ($n = N_1 / l_1$);

$$H = \frac{N_1}{l_1} I_1; H = \frac{N_1}{l_1} I_1 \frac{R_1}{R_1} = \frac{N_1 U_1}{l_1 R_1} = \frac{N_1}{l_1 R_1} U_1 = K_1 U_1 \quad (2),$$

где $K_1 = \frac{N_1}{l_1 R_1}$ - коэффициент, зависящий от параметров схемы.

Так как на первую обмотку подается переменное напряжение, то, согласно (1), напряженность магнитного поля в ней будет изменяться с частотой переменного тока в интервале значений от $-H$ до $+H$

На вертикальный усилитель осциллографа подается напряжение, возникающее во второй обмотке:

$$e = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 S \frac{dB}{dt},$$

S - площадь витка; N_2 - число витков во второй обмотке.

Согласно закону Ома, во второй обмотке

$$e = I_2 R_2 + U_c$$

где I_2 - сила тока во второй обмотке, R_2 - сопротивление резистора, U_c - напряжение на пластинах конденсатора C . В условиях эксперимента R_2 и C так велики, что $I_2 R_2 \gg U_c$; поэтому

$$I_2 \approx \frac{e}{R_2} = \frac{N_2 S}{R_2} \frac{dB}{dt}$$

Тогда напряжение на конденсаторе C :

$$U_c = \frac{q}{C} = \frac{\int_0^t I_2 dt}{t} = \frac{N_2 S B}{R_2 C} \int_0^t \frac{dB}{dt} dt$$

$$U_c = \frac{N_2 S}{R_2 C} \int_0^B dB = \frac{N_2 S B}{R_2 C} \quad (3)$$

$$B = \frac{U_c R_2 C}{N_2 S} = \frac{R_2 C}{N_2 S} U_c = K_2 U_c$$

где $K_2 = \frac{R_2 C}{N_2 S}$ -- коэффициент, определяемый параметрами системы.

Из уравнений (2) и (3) видно, что напряжение U_1 пропорцио-

нально напряженности магнитного поля, а напряжение U_c пропорционально индукции магнитного поля в образце. Напряжение U_1 подается на горизонтально отклоняющие пластины осциллографа, а U_c - на вертикально отклоняющие пластины, в результате чего электронный луч в направлении оси X будет отклоняться пропорционально напряженности H , а в направлении оси Y - пропорционально индукции B . За полный цикл изменения H электронный луч опишет замкнутую кривую - петлю гистерезиса.

Изменяя входное напряжение на первичной обмотке, получим семейство различных петель. Вершина каждой петли лежит на основной кривой намагничивания.

Напряжения U_1 и U_c можно определить, зная величины напряжений a_x и a_y , вызывающих отклонение луча на одно деление в направлении осей X и Y . Тогда $U_1 = x \cdot a_x$, $U_c = y \cdot a_y$ (x, y - координаты вершин петель гистерезиса). Подставив последние выражения в формулы (2), (3), получим:

$$\left. \begin{aligned} H &= K_1 U_1 = K_1 \cdot x \cdot a_x = K_x \cdot x; \\ B &= K_2 U_c = K_2 \cdot y \cdot a_y = K_y \cdot y; \\ K_x &= K_1 \cdot a_x = \frac{N_1}{l_1 R_1} a_x; \\ K_y &= K_2 \cdot a_y = \frac{R_2 C}{N_2 S} a_y. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Задание 1. Снять кривую намагничивания.

Ход работы:

1. Разобраться в схеме, предложенной в данной работе.
2. Включить питание осциллографа и вынести электронный луч в центр экрана
3. Определить чувствительность усилителей вертикали и горизонтали осциллографа при конкретном положении ручек "Усиление". Для этого необходимо включить установку и регуляторами "R", "Усиление X", "Усиление Y" и ЛАТРа добиться на экране максимально возможной неискаженной петли (до конца эксперимента положение ручек "Усиление X" и "Усиление Y" остается постоянным).

ным!). Отключить установку от осциллографа и определить чувствительность усилителей, для чего подать на вход “Х” и “У” поочередно сигнал известной амплитуды (например, контрольный сигнал осциллографа) и измерить отклонения X_0 и Y_0 по шкалам осциллографа. Тогда

$$\frac{U_{x_0}}{X_0} = a_x ; \quad \frac{U_{y_0}}{Y_0} = a_y, U_0 = 2,15 \text{ В}$$

a_x и a_y , - “чувствительности” осциллографа в направлении осей У ” и “Х Эти величины остаются постоянными при неизменных коэффициентах усиления.

4. Подключить установку к осциллографу. Уменьшая с помощью ЛАТРа напряжение, получить семейство петель гистерезиса (не менее 12).
5. Для каждой петли снять координаты вершин “Х” и “У”.
6. По формулам (4) определить K_x и K_y , а также H и B для координат вершин всех полученных точек. Показания занести в таблицу, указать размерность величин.
7. Построить график $B = f(H)$
8. По графику $B = f(H)$ построить график зависимости $m = f(H)$

ax=		ay=		K1=		K2=		
No	x	y	Kx	Ky	U1	Uc	H	B

Задание 2. Определить потери энергии при перемагничивании

Величина потерь энергии в единице объема образца за один цикл перемагничивания определяется уравнением $W = \int H dB$. Если частота изменения напряжения равна n , то количество тепла Q , выделяемое за 1сек равно:

$$Q = nW = n \int H dB \quad (5)$$

Подставив в (5) B и H из (4), получим:

$$Q = nK_x K_y \int y dx = K_x K_y nN \quad (6)$$

$N = \int y dx$ - площадь петли гистерезиса.

Ход работы:

1. Построить полученную на осциллографе петлю гистерезиса на миллиметровой бумаге. Определить ее площадь N , подсчитывая число клеток, охваченных петлей. Прodelать задание для 4-5 петель.
2. Зная K_x , K_y и N , вычислить потери энергии на перемагничивание по формуле (6).
3. Сделать вывод по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются векторы магнитной индукции B и напряженности магнитного поля H .
2. Что такое магнитная восприимчивость? Магнитная проницаемость?
3. Как по графику функции $B=B(H)$ можно построить график $m = f(H)$?
4. Как классифицируются магнетики?
5. Какими свойствами обладают диа- и парамагнетики?
6. Что такое ферромагнетики, и каковы их свойства?
7. Дать определение величинам, характеризующим магнитное поле вещества. Указать размерности этих величин.
8. Какие процессы в образце характеризует петля гистерезиса?
9. Что такое коэрцитивная сила?
10. Как определяется потеря энергии при перемагничивании ферромагнетика?

Рекомендуемая литература

1. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М.: Высшая школа, 1983.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. М.: Наука, 1990. Т.3
3. Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука, 1984.
4. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1976.
5. Савельев И.В. Курс общей физики. М.: Наука, 1987. Т.2.
6. Фейнман Р. и др. Фейнмановские лекции по физике. Т.7.