Лабораторная работа № 5

Исследование гистерезиса ферромагнитных материалов

Инструкция по формированию протокола измерений.

На рис.1 представлена модульная измерительная установка.

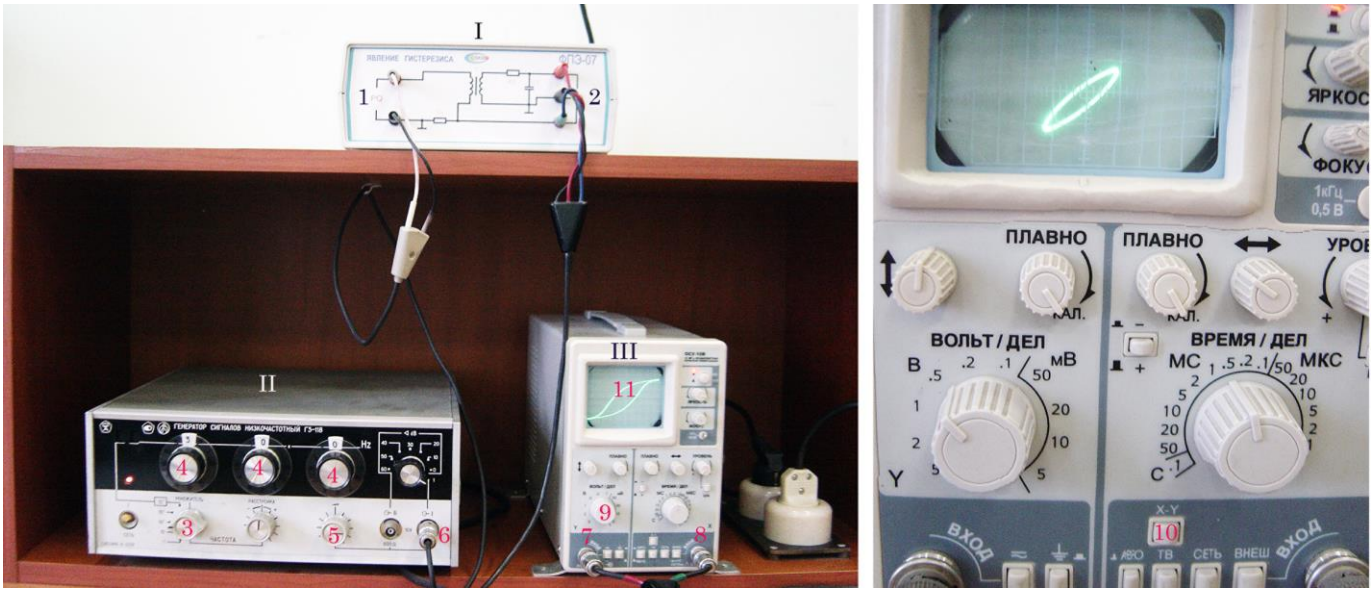

Рисунок 1 – Модульная измерительная установка.

I – блок ФПЭ-07: 1 – вход гармонических колебаний напряжения, 2 – выход схемы гармонических колебаний напряжения той же частоты исследуемого образца;

II – генератор сигналов низкочастотный Г3-118: 3 – множитель частоты (установлен в положение «10^2»), 4 – переключатели частоты (соответствуют значению «30,0»), 5 – регулятор амплитуды гармонических колебаний напряжения, 6 – выход генератора гармонических колебаний напряжений;

III – осциллограф ОСУ-10В: 7 – вход осциллографа «Y» (отклонение по вертикальной оси), 8 – вход осциллографа «X» (отклонение по горизонтальной оси), 9 – переключатель коэффициента отклонения луча (соответствует значениям $k_x = k_y = 0{,}5$ В/дел), 10 (вкладка) – кнопка включения режима измерений осциллографа «X-Y» (режим визуализации результата сложения взаимно перпендикулярных гармонических колебаний), 11 – изображение на экране осциллографа петли гистерезиса.

Цена большого деления (1,0 дел) по оси X и по оси Y одинакова и равна 0,5 В, т.е. $k_x = k_y = 0{,}5\ \frac{\text{В}}{\text{дел}}$.

Методические указания по определению основной кривой намагничивания. Рассмотрим определение координат x, y вершины петли гистерезиса согласно рис. 2. Координаты вершины петли гистерезиса в I–й четверти: $x_I = 1{,}0$ дел, $y_I = 0{,}8$ дел. Координаты вершины петли гистерезиса в III–й четверти: $x_{III} = 1{,}2$ дел, $y_{III} = 1{,}0$ дел.

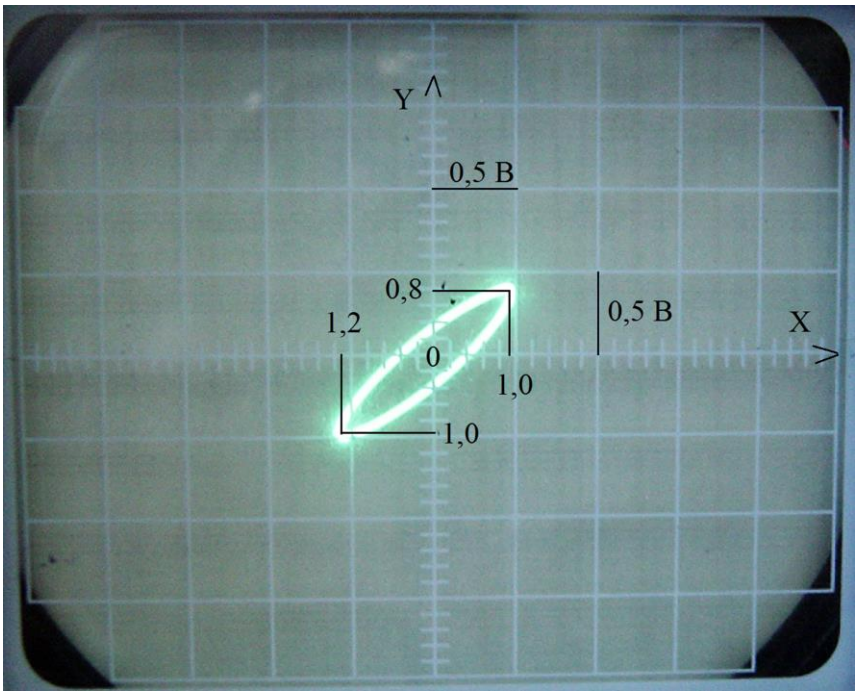

Рисунок 2 – Первая петля гистерезиса.
Схема к снятию показаний координат вершины петли гистерезиса

В качестве координат вершины петли гистерезиса примем средние значения координат: $x = \frac{x_I + x_{III}}{2} = \frac{1{,}0+1{,}2}{2} = 1{,}1$ дел; $y = \frac{y_I + y_{III}}{2} = \frac{0{,}8+1{,}0}{2} = 0{,}9$ дел. В таблицу 2 (стр. 39 методических указаний [1]) записать значения соответствующих координат (2-й, 3-й столбцы). Вместо размерности «мм» записать «дел».

В качестве систематической погрешности координат примем половину цены малого деления по изображению экрана осциллографа ($\Theta x = \Theta y = 0{,}1$ дел). При расчете минимальных значений систематических погрешностей ΔH и ΔB считать, что они определяются только величинами Θx и Θy.

Пример расчета значения напряженности магнитного поля для вершины первой петли гистерезиса (рис. 2). Используем формулу (11), стр. 36 [1]:

$H_1 = \frac{N_1 \cdot k_x}{2\pi \cdot r_T \cdot R_1} x = \frac{100 \cdot 0{,}5}{2 \cdot 3{,}14 \cdot \left(\frac{4{,}5 \cdot 10^{-3} + 9 \cdot 10^{-3}}{2}\right) \cdot 51} \cdot 1{,}1 = 25{,}4$ А/м. Таким образом, для расчета напряженности магнитного поля в А/м можно использовать формулу $H = 23{,}1 \cdot x$. Тогда в качестве минимальной оценки систематической погрешности напряженности магнитного поля примем величину $\Delta H = 23{,}1 \cdot \Theta x = 23{,}1 \cdot 0{,}1 = 2{,}31 \approx 2{,}3$ А/м.

Задание 1. Используя рис. 1, заполнить пустые ячейки в таблице «Параметры приборов» протокола измерений.

По рис. 2-6 для каждой петли снять координаты x_I, x_{III}, y_I, y_{III} и записать их значения в таблицу «Результаты измерений» протокола измерений. Для наиболее точного определения координат рекомендуется использовать стандартный графический редактор «Paint» для построения перпендикуляров из вершин петли на координатные оси.

Используя методические указания (стр. 35-36 [1]), записать параметры схемы исследуемого образца ферромагнетика в протокол измерений.

Вычислить координаты x, y и записать их в таблицу 2 (стр. 39 [1]), которая приводится в отчете о лабораторной работе. При построении основной кривой намагничивания учесть, что кривая выходит из начала координат $B(H)$.

Задание 2. Используя рис. 6, произвести оценку работы перемагничивания за один цикл для единицы объема ферромагнетика. Следует учесть, что эта величина имеет размерность $\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$. Посчитать площадь петли гистерезиса, используя сетку, по количеству больших и малых квадратов, укладывающихся в пределах петли (один большой квадрат состоит из 25 малых квадратов) и подставить значение площади, выраженное в единицах больших квадратов, в формулу (20), ([1], стр. 38).

В качестве минимальной оценки ошибки работы перемагничивания за один цикл для единицы объема ферромагнетика рекомендуется использовать выражение, вытекающее из (20), ([1], стр. 38):

$$\Theta \mathrm{A}_{\text{п}} = \mathrm{A}_{\text{п}} \left(\frac{\Theta x}{x_{\text{сл}}} + \frac{\Theta y}{y_{\text{сл}}} \right),$$

где $x_{\text{сл}}$ и $y_{\text{сл}}$ – координаты точки, в которой две линии петли гистерезиса сливаются в одну линию.

Задание 3. Используя рис. 6 определить координату x, соответствующую коэрцитивной силе.

Рекомендуется использовать в качестве x среднеарифметическую величину от положительных значений координат точек пересечения петли гистерезиса с осью X.

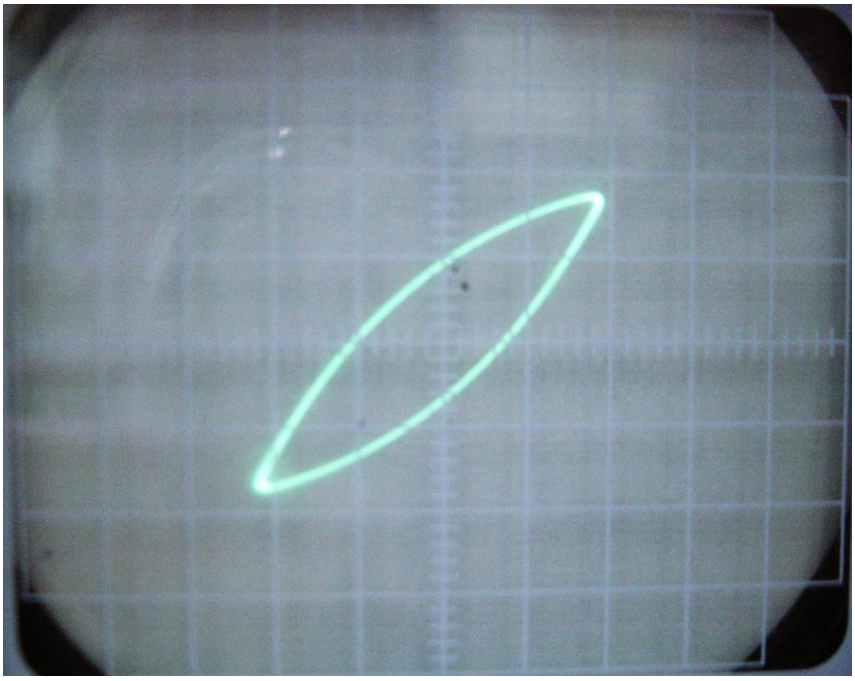

Рисунок 3 – Вторая петля гистерезиса

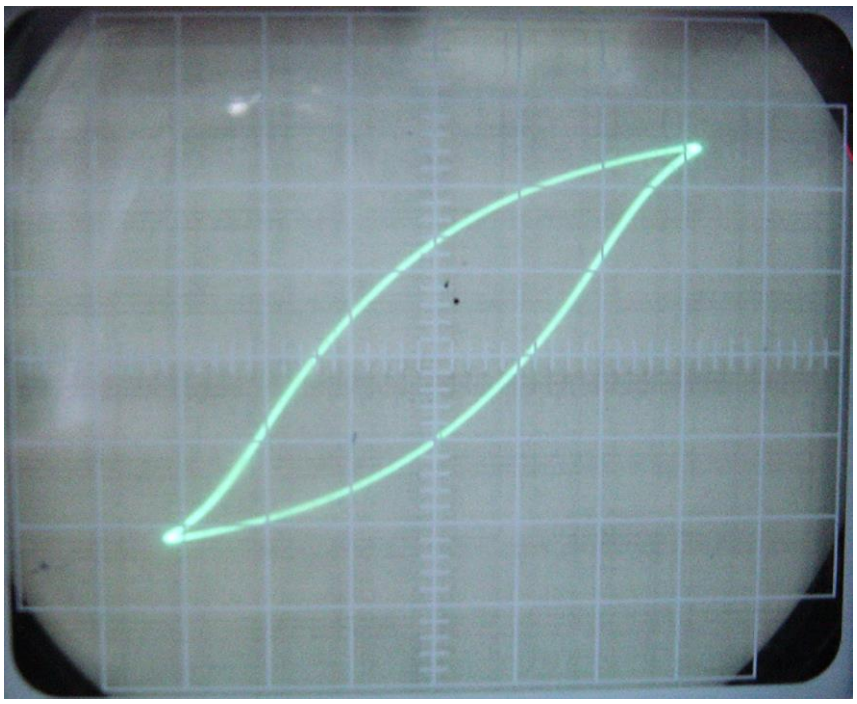

Рисунок 4 – Третья петля гистерезиса

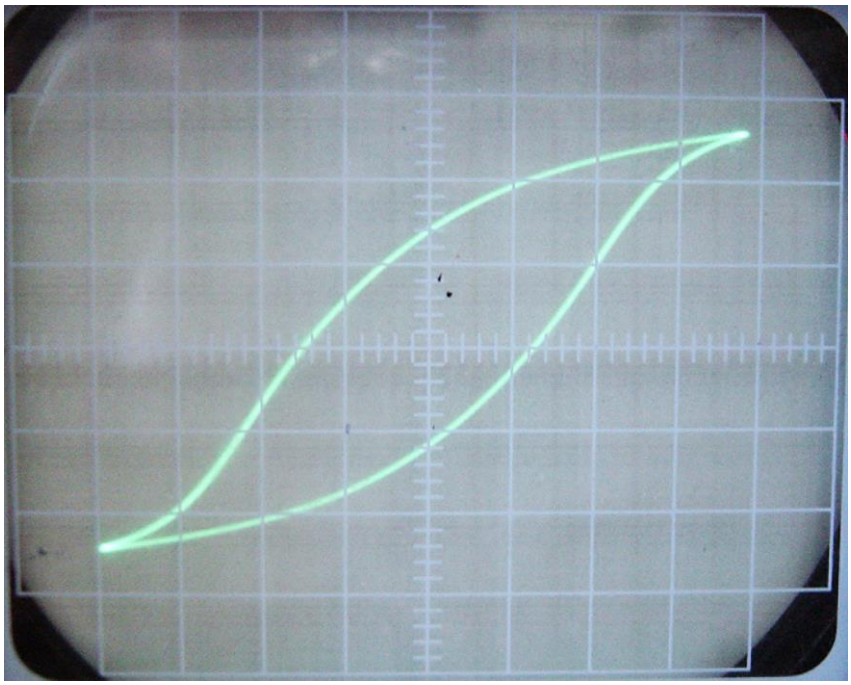

Рисунок 5 – Четвертая петля гистерезиса

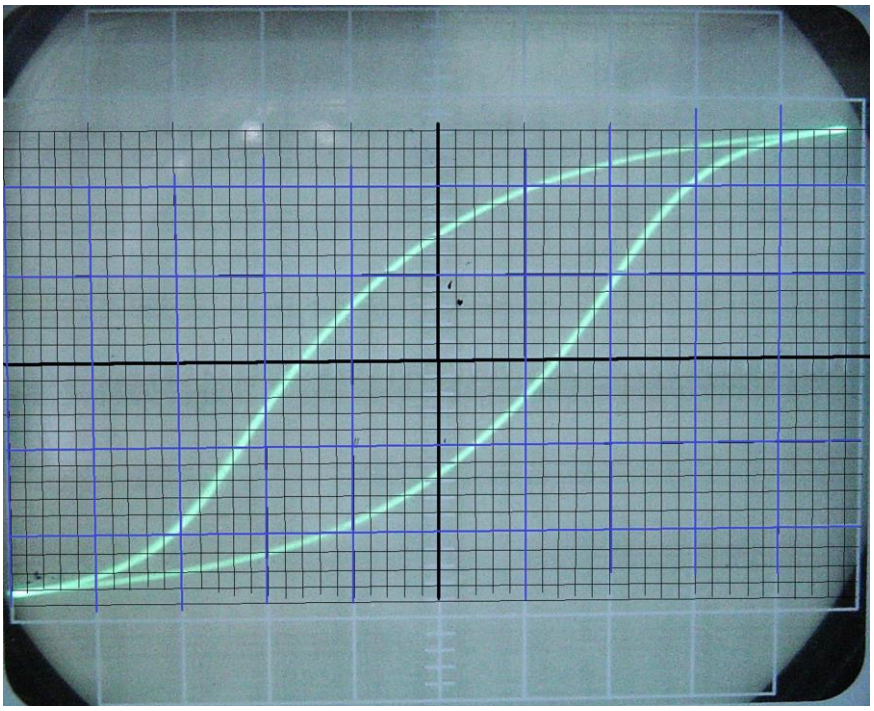

Рисунок 6 – Пятая петля гистерезиса. Сетка для расчета площади петли гистерезиса

При дистанционном варианте работы в конце отчета написать ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Как ведет себя контур с током в магнитном поле?
2. Каковы свойства парамагнетиков, диамагнетиков, ферромагнетиков?
3. Какова причина спонтанной намагниченности доменов в ферромагнетиках?
4. Как ведут себя домены при увеличении напряженности магнитного поля? Что означает насыщение ферромагнетиков?
5. В чем заключается явление магнитного гистерезиса?

Список литературы

1. Электричество и магнетизм: лабораторный практикум / под ред. Е. Н. Котликова и С. Я. Щербака. – СПб.: ГУАП, 2010. – 83 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. СПб.: Издательство «Лань», 2006.
3. Иродов И. Е. Электромагнетизм. Основные законы. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002.
4. Трофимова Т. И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1994.
5. Сивухин Д. В. Курс общей физики. М.: Физматлит, 1996.
6. Калашников С. Г. Электричество. М.: Наука, 1977.
6. Яворский Б.М. Справочник по физике. М.: Наука, 1990.