

НИУ ИТМО

Лаборатория экспериментальной физики

Лабораторная работа

Изучение свойств ферромагнетика

Выполнил:

Макаренко Егор Алексеевич

ФИТиП, гр. М3137

Цель работы:

Исследовать петлю гистерезиса, кривую первоначальной намагниченности и график магнитной проницаемости ферромагнетика.

Требуемое оборудование:

1. Блок генератора напряжений ГН1.
2. Осциллограф ОЦЛ2.
3. Стенд с объектом исследования.
4. Проводники Ш4/Ш4 (2 шт), 2Ш4/BNC (2 шт).

Краткое теоретическое введение

Ферромагнитный материал ниже точки Кюри находится в так называемом магнитоупорядоченном состоянии: весь объем образца разбивается на области, в каждой из которых атомные магнитные моменты ориентированы в одинаковом направлении. Эти области, размеры которых заметно превосходят межатомные расстояния, называются ферромагнитными доменами.

Магнитные свойства ферромагнетика определяются перестройкой его доменной структуры (прежде всего смещением границ доменов) под действием внешнего магнитного поля. Характер изменения магнитной индукции B в зависимости от напряженности H магнитного поля внутри типичного ферромагнетика показан на рисунке 1.

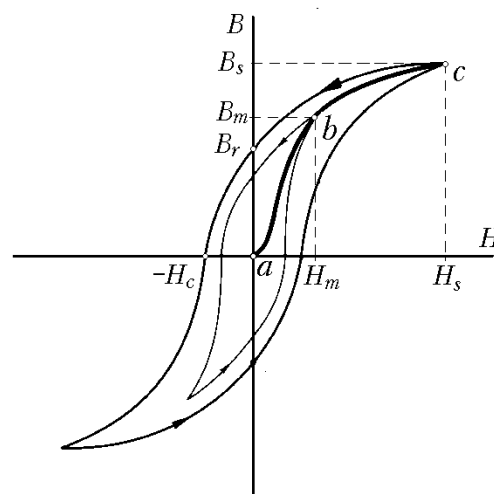


Рис. 1. Зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля в ферромагнетике. Петля гистерезиса

Если к первоначально ненамагниченному образцу прикладывать усиливающееся внешнее магнитное поле, то магнитная индукция изменяется в соответствии с кривой первоначального намагничивания abc . На начальном участке этой кривой магнитная индукция быстро и нелинейно возрастает с ростом магнитной напряженности. Затем в некоторой точке (H_s, B_s) рост функции $B(H)$ сильно замедляется и становится линейным. Этот второй участок графика (он не изображен на рис.1) называется областью насыщения намагниченности. Если же после достижения некоторого значения напряженности, например, H_m в точке b начать уменьшать напряженность, то намагниченность образца и магнитная индукция внутри него уменьшаются с некоторым запаздыванием, не обращаясь в ноль при $H = 0$. Такое запаздывание называется гистерезисом. Петля, которую описывает точка, изображающая состояние образца в координатах (H, B) при периодическом изменении магнитной напряженности, называется петлей гистерезиса. На рисунке 1 изображены две таких петли, одна — для колебаний напряженности с амплитудой H_m , другая — для колебаний с амплитудой H_s .

Важными характеристиками ферромагнетика являются остаточная магнитная индукция B_r и коэрцитивная сила H_c .

Магнитная проницаемость ферромагнетика μ определяется следующим соотношением

$$\mu = \frac{1}{\mu_0} \frac{B_m}{H_m} \quad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; B_m, H_m – индукция и напряженность магнитного поля в магнетике, соответствующие кривой начального намагничивания. Кривая начального намагничивания строится по вершинам петель гистерезиса с разным максимальным значением магнитной напряженности H_m .

В качестве образца для изучения магнитных свойств ферромагнитного материала выбран сердечник трансформатора, размещенного на лабораторном стенде (см. рис.2.). Мгновенная напряженность H магнитного поля, создаваемого первичной обмоткой в образце, отображается по горизонтальной оси осциллографа, при этом

$$H = \alpha X \quad (2)$$

где X – координата луча по горизонтальной оси ОХ экрана осциллографа при условии, что начало координат находится в центре петли гистерезиса.

Коэффициент в формуле (2) равен

$$\alpha = \frac{K_X N_1}{l R_1} \quad (3)$$

где K_X (В/дел) – масштаб развертки по оси ОХ; N_1 – число витков первичной обмотки; l – длина средней линии сердечника, на котором равномерно распределена первичная обмотка; R_1 – сопротивление соединенного последовательно с первичной обмоткой резистора.

Мгновенное значение индукции B магнитного поля в образце отображается по вертикальной оси экрана осциллографа:

$$B = \beta Y \quad (4)$$

где Y – координата луча по вертикальной оси ОУ экрана осциллографа при условии, что начало координат находится в центре петли гистерезиса.

Коэффициент β равен

$$\beta = \frac{K_Y R C}{N_2 S} \quad (5)$$

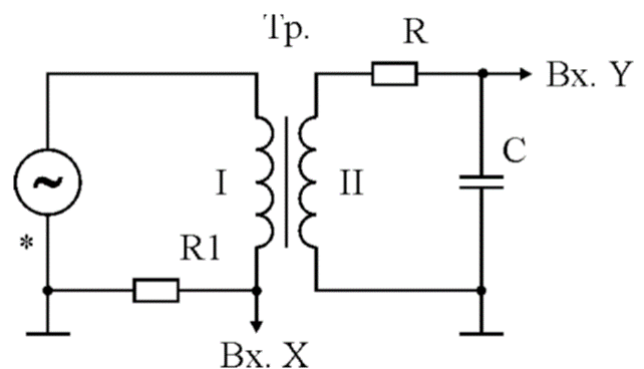


Рис. 2. Электрическая схема подключения стенда для изучения магнитных свойств материала. Исследуемым образцом служит сердечник трансформатора

где K_Y (В/дел) – масштаб развертки по оси ОУ; R и C – соответственно, сопротивление и емкость, подключенные ко вторичной обмотке трансформатора; N_2 – число витков вторичной обмотки; S – площадь поперечного сечения сердечника.

Временное запаздывание магнитной индукции в образце относительно напряженности магнитного поля приводит к потерям энергии. При этом средняя мощность, расходуемая внешним источником тока при циклическом перемагничивании ферромагнитного образца, пропорциональна площади $S_{\text{пг}}$ петли гистерезиса:

$$P = \chi S_{\text{пг}} \quad (6)$$

Здесь $S_{\text{пг}}$ – площадь петли, измеренная в делениях шкалы осциллографа, а коэффициент χ равен

$$\chi = K_X K_Y \frac{\nu N_1 R C}{N_2 R_1} \quad (7)$$

где ν – частота колебаний напряжения, подаваемого на первичную обмотку.

Порядок выполнения работы

1. Запишем значения параметров измерительного стенда, необходимые для расчета коэффициентов α , β , χ :

$$\begin{array}{lll} N_1 = 1665 \text{ вит} & C = 0,47 \text{ мкФ} \pm 10\% & R_1 = 68 \text{ Ом} \pm 10\% \\ N_2 = 970 \text{ вит} & S = 0,64 \pm 0,05 \text{ см}^2 & R_2 = 470 \text{ кОм} \pm 10\% \\ l = 7,8 \pm 0,1 \text{ см} & & \end{array}$$

2. Соберём лабораторную установку, соединив проводами выход гармонического сигнала генератора напряжения ГН1, стенд с образцом и осциллограф в соответствии со схемой, изображенной на рис. 2.
3. Включим приборы. Установим и запишем выходную частоту генератора $\nu = 40$ Гц. Установим максимальное выходное напряжение генератора. Выберем такие масштабы $K_X = 0.25$ В/дел, $K_Y = 0.05$ В/дел по осям экрана осциллографа, чтобы сигналы каждого из каналов занимали по вертикали существенную часть экрана (при необходимости можно немного уменьшить амплитуду выходного сигнала генератора). Запишем выбранные значения масштабов. Для наблюдения петли гистерезиса на экране осциллографа перейдём в режим XY. С помощью ручек смещения сигнала каналов по вертикали расположим петлю так, чтобы ее центр совпал с началом координат на экране. При правильном выборе масштабов по осям петля должна иметь максимальные размеры, но не выходить за пределы экрана.
4. Измерим координаты X_c и Y_r пересечения петли гистерезиса с осями координат.
 $X_c = 0.4$ дел $Y_r = 1.4$ дел
 Вычислим коэффициенты α и β :

$$\alpha = \frac{K_X N_1}{l R_1} \approx 78.5 \quad \beta = \frac{K_Y R_2 C}{N_2 S} \approx 0.18$$

Пользуясь формулами (2) и (4) определим коэрцитивную силу H_c и остаточную индукцию B_r для исследуемого образца.

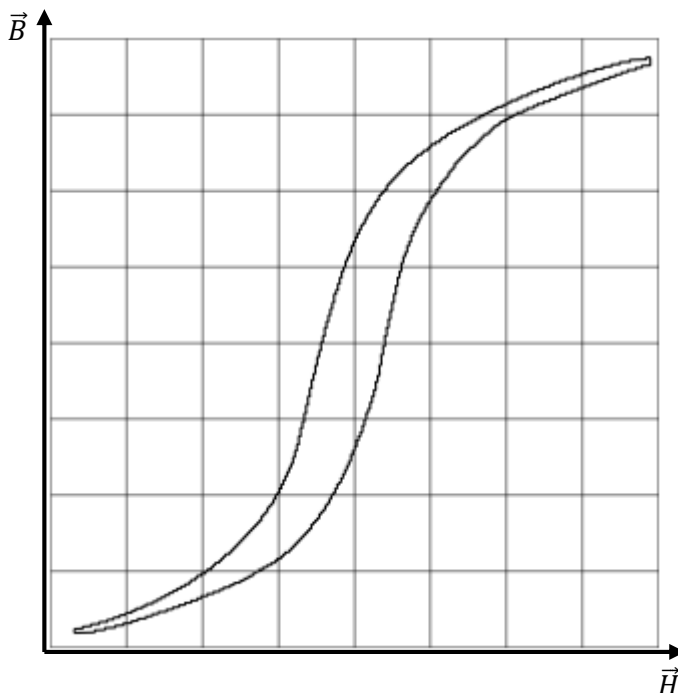
$$H = \alpha X \approx 31.4 \text{ А/м}$$

$$B = \beta Y \approx 0.25 \text{ Тл}$$

5. Измерим координаты X_m и Y_m , соответствующие вершине петли гистерезиса. По формулам (2) и (4) определим соответствующие H_m и B_m и по формуле (1) определим соответствующее значение магнитной проницаемости μ . Устанавливая поочередно меньшие напряжения генератора (7 – 10 значений), получим соответствующие им петли гистерезиса и повторим расчёты для каждого напряжения.

U, В	X_m , дел	Y_m , дел	H_m , А/м	B_m , Тл	μ
13,5	4	4	313,9	0,71	1804,1
12	3	3,5	235,4	0,62	2104,7
10,5	2,1	3,2	164,8	0,57	2749,1
9	1,6	2,8	125,6	0,50	3157,1
7,5	1,2	2,3	94,2	0,41	3457,8
6	0,8	1,8	62,8	0,32	4059,2
4,5	0,6	1,3	47,1	0,23	3908,8
3	0,4	0,8	31,4	0,14	3608,1

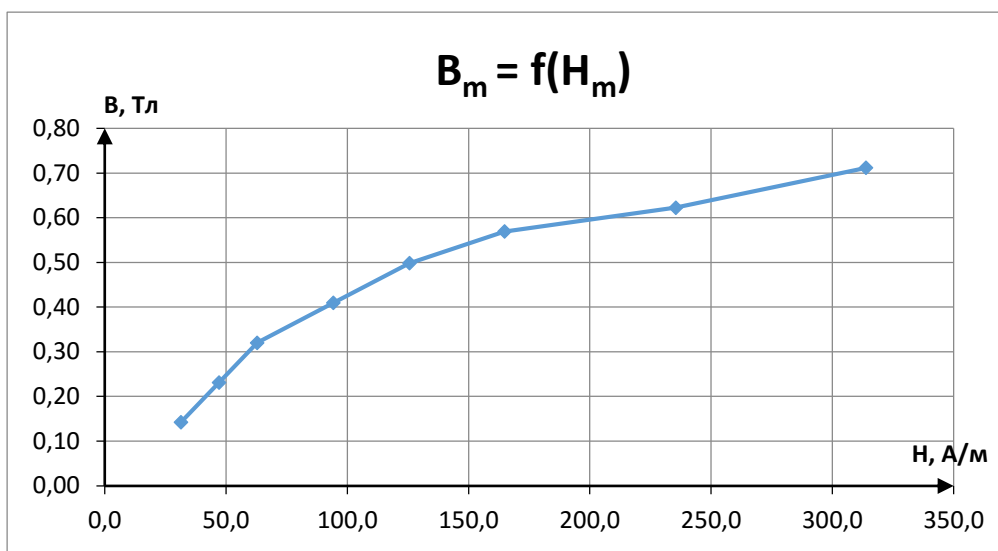
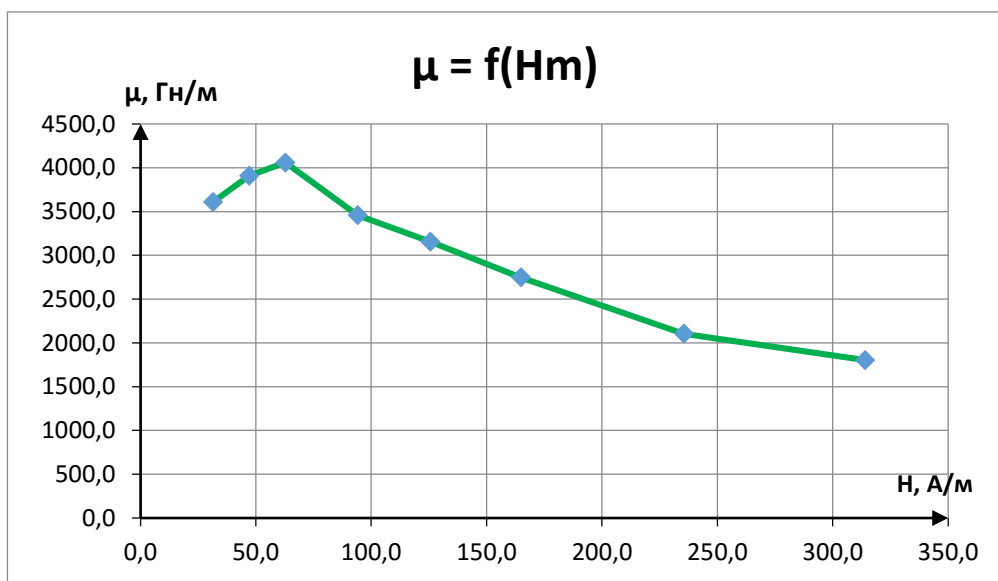
6. Перенесём в лабораторный журнал изображение петли гистерезиса в масштабе 1 см/дел по каждой из осей. Измерим в делениях шкалы площадь $S_{\text{пг}}$ петли, вычислим коэффициент χ и по формуле (6) определим среднюю мощность P , расходуемую на перемагничивание образца.



$$\chi = K_X K_Y \frac{v N_1 R C}{N_2 R_1} \approx 0.0028$$

$$P = \chi S_{\text{пг}} = 0.0028 * 4.9 \approx 0.014 \text{ Вт}$$

7. По полученным данным построим кривую начального намагничивания $B_m = f(H_m)$ и график магнитной проницаемости $\mu = f(H_m)$.



Вывод

В ходе лабораторной работы было исследовано явление магнитного гистерезиса. С помощью осциллографа был получен вид петли гистерезиса, найдены значения магнитной проницаемости ферромагнетика, построены кривая первоначальной намагниченности и график магнитной проницаемости ферромагнетика, определена средняя мощность, расходуемая на перемагничивание образца. Полученные данные входят в табличный диапазон допустимых значений для ферромагнетиков, вид графиков намагниченности и магнитной проницаемости соответствует теории, что подтверждает корректность полученных результатов.