

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНЕТИКА

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 определяется 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. 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 .

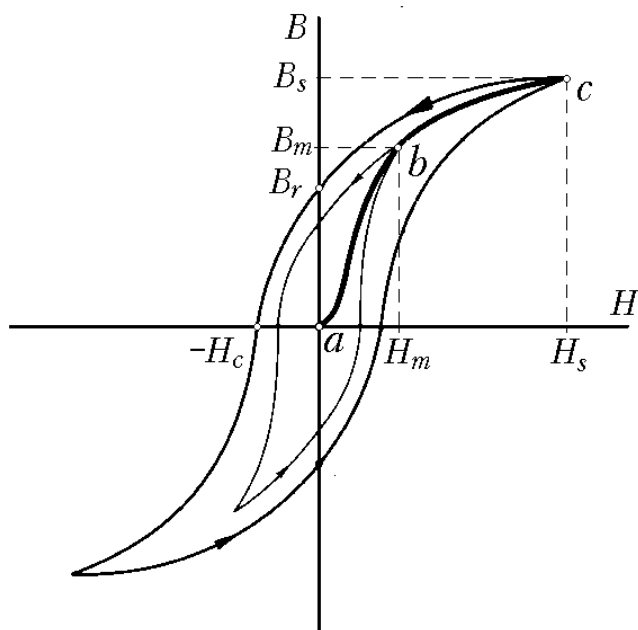


Рис. 1. Зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля в ферромагнетике. Петля гистерезиса

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 OX 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 OX ; 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.

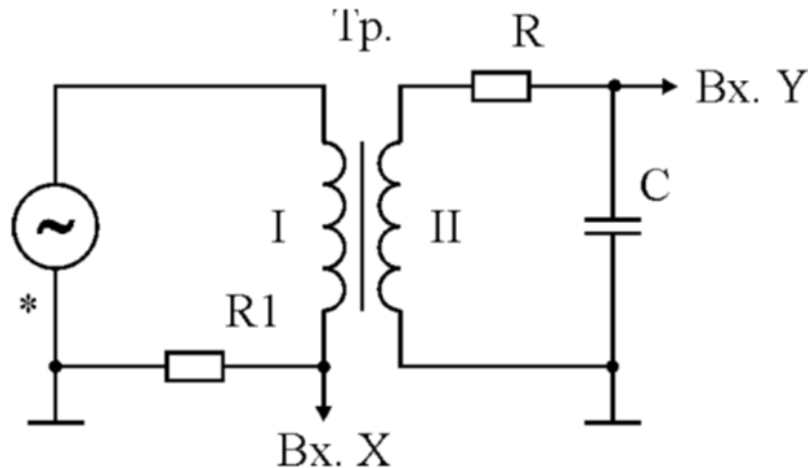


Рис. 2. Электрическая схема подключения стенда для изучения магнитных свойств материала. Исследуемым образцом служит сердечник трансформатора

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 OY экрана осциллографа при условии, что начало координат находится в центре петли гистерезиса. Коэффициент β равен

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

где K_Y (В/дел) – масштаб развертки по оси OY ; 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 $S_{\text{гг}}$ 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. Спишите значения параметров измерительного стенда $N_1, l, R_1, R, C, N_2, S$, необходимые для расчета коэффициентов α, β, χ .
2. Соберите лабораторную установку соединив проводами выход гармонического сигнала генератор напряжения ГН1, стенд с образцом и осциллограф в соответствии со схемой, изображенной на рис .2.
3. Включите приборы. Установите и запишите выходную частоту генератора $\nu = 40$ Гц. Установите максимальное выходное напряжение генератора. Выберите такие масштабы K_x, K_y по осям экрана осциллографа, чтобы сигналы каждого из каналов занимали по вертикали существенную часть экрана (при необходимости можно немного уменьшить амплитуду выходного сигнала генератора). Запишите выбранные значения масштабов. Для наблюдения петли гистерезиса на экране осциллографа перейдите в режим XY. С помощью ручек смещения сигнала каналов по вертикали расположите 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. Измерьте координаты X_c и Y_r пересечения петли гистерезиса с осями координат. Вычислите коэффициенты α и β . Пользуясь формулами (2) и (4) определите коэрцитивную силу H_c и остаточную индукцию B_r для исследуемого образца.
5. Измерьте координаты X_m и Y_m , соответствующие вершине петли гистерезиса. По формулам (2) и (4) определите соответствующие H_m и B_m и по формуле (1) определите соответствующее значение магнитной проницаемости μ .
6. Перенесите в лабораторный журнал изображение петли гистерезиса в масштабе 1см/дел по каждой из осей. Измерьте в делениях шкалы площадь $S_{\text{пг}}$ петли, вычислите коэффициент χ и по формуле (6)

определите среднюю мощность P , расходуемую на перемагничивание образца.

7. Устанавливая поочередно меньшие напряжения генератора (7 – 10 значений), получите соответствующие им петли гистерезиса и повторите для каждого напряжения п.5.
8. По полученным данным постройте кривую начального намагничивания $B_m=f(H_m)$ и график магнитной проницаемости $\mu=f(H_m)$.

Литература

1. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики.— 8-е изд., стер. — М. : Издательский центр "Академия", 2009 .
2. Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: Методические указания к лабораторным работам. – СПб, 2003.-57 с.