
Отчёт по работе 3.4.5

Петля гистерезиса (динамический метод)

Карташов Константин Б04-005

I Анотация

Цель работы: Измерение петель гистерезиса различных ферромагнитных материалов в переменных полях.

Оборудование:

- ▷ автотрансформатор,
 - ▷ понижающий трансформатор,
 - ▷ интегрирующая цепочка,
 - ▷ амперметр,
 - ▷ вольтметр,
 - ▷ электронный осциллограф,
 - ▷ делитель напряжения,
 - ▷ тороидальные образцы с двумя обмотками.
-

II Теоретическая часть

Интегрирующая цепочка. Ключевым элементов установки является интегрирующая цепочка, состоящая из резистора и конденсатора. Магнитную индукцию легко выразить через ЭДС в катушке N витками и площадью сечения S :

$$|B| = \frac{1}{SN} \int \mathcal{E} dx,$$

также известно, что в цепочке из резистора и конденсатора:

$$U_{\text{вых}} = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int_0^t I dt = \frac{1}{\tau} \int_0^t U_{\text{вх}} dt.$$

Из этого следует:

$$|B| = \frac{1}{SN} = \int U_{\text{вх}} dt = \frac{\tau}{SN} U_{\text{вых}}.$$

Экспериментальная установка. Установка представлена на рисунке (1). На установку подаётся сетевое напряжение с помощью трансформаторного блока Тр. Установка состоит из исследуемого образца с намагничивающей обмоткой N_0 и измерительной обмоткой N_U , интегрирующей ячейки RC , электронного осциллографа ЭО и амперметра А.



i Измерение петли гистерезиса.

●	I	II	III
Образец	Феррит 1000нн	Пермаллой (Fe-Ni НП50)	Кремнистое железо (Fe-Si)
N_0 , ВИТКОВ	35	40	35
N_U , ВИТКОВ	400	200	350
S , см ²	3.0	3.8	1.2
$2\pi R$, см	25	24	10

Таблица 1: Физические характеристики образцов.

Пронаблюдаем петли гистерезиса для различных образцов. Наблюдения зафиксируем на рисунках (5, 6, 7).

Для наблюдаемых петель гистерезиса запишем коэффициенты усиления K_x , K_y , силу тока в намагничивающей обмотке $I_{\text{эфф}}$, а также полную ширину и высоту предельной петли $2X_s$, $2Y_s$, и двойные амплитуды коэрцитивного поля $2X_c$ и остаточной индукции $2Y_r$.

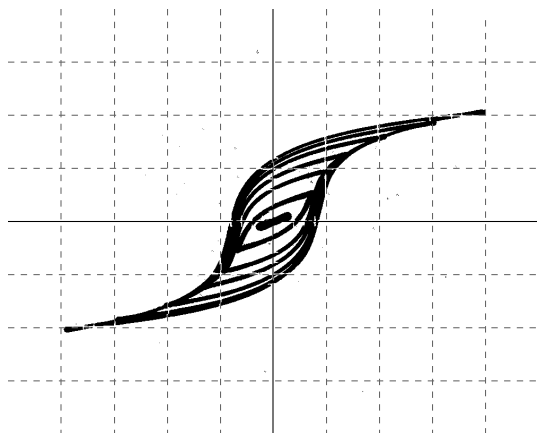


Рис. 2: Петли гистерезиса для образца I

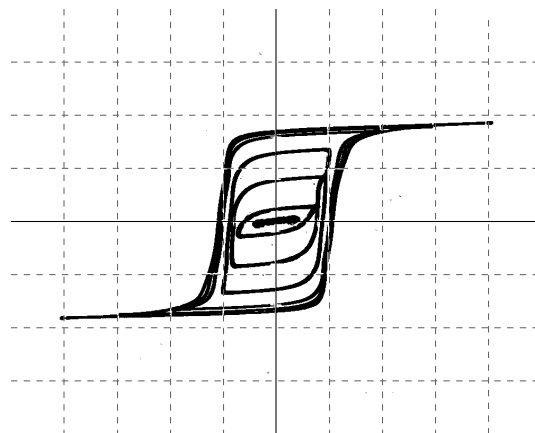


Рис. 3: Петли гистерезиса для образца II

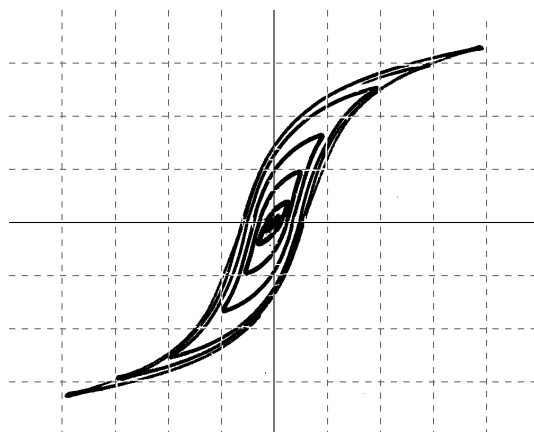


Рис. 4: Петли гистерезиса для образца III

Образец	I	II	III
K_x , мВ/дел	20	50	100
K_y , мВ/дел	20	100	50
I_{\max} , мА	159	293	798
$2X_s$, дел	7.93	8.20	7.79
$2Y_s$, дел	4.19	3.76	6.74
$2X_c$, дел	1.67	2.34	1.23
$2Y_r$, дел	2.38	3.44	2.83

Таблица 2: Наблюдения петли гистерезиса.

ii Калибровка осциллографа

Чувствительность осциллографа по осям Ox и Oy рассчитаем по формулам:

$$m_x = \frac{2\sqrt{2}R_0I_{\text{эфф}}}{2x}, \quad m_y = \frac{2\sqrt{2}U_{\text{эфф}}}{2y}.$$

Для этого измерим $I_{\text{эфф}}$ и $2x$ для различных значений чувствительности оси Ox и $U_{\text{эфф}}$ и $2y$ для различных значений чувствительности оси Oy . Подставим измеренные значения в формулы (чувствительность записана в круглых скобках):

$$m_x = \frac{2\sqrt{2} \cdot 0.3\text{Ом} \cdot 0.89\text{А}}{8} = 94.4\text{мВ/дел (100 мВ)},$$

$$m_x = \frac{2\sqrt{2} \cdot 0.3\text{Ом} \cdot 0.449\text{А}}{8} = 47.6\text{мВ/дел (50 мВ)},$$

$$m_x = \frac{2\sqrt{2} \cdot 0.3\text{Ом} \cdot 0.181\text{А}}{8} = 19.2\text{мВ/дел (20 мВ)},$$

$$m_y = \frac{2\sqrt{2} \cdot 0.137\text{В}}{4} = 96.9\text{мВ/дел (100 мВ)},$$

$$m_y = \frac{2\sqrt{2} \cdot 0.105\text{В}}{6} = 49.5\text{мВ/дел (50 мВ)},$$

$$m_y = \frac{2\sqrt{2} \cdot 0.0401\text{В}}{8} = 18.9\text{мВ/дел (20 мВ)}.$$

iii Определение параметров RC-ячейки

Подадим на вход интегрирующей ячейки напряжение $U_{\text{вх}}$ и измерим напряжение на выходе $U_{\text{вых}}$. Рассчитаем постоянную времени по формуле:

$$\tau_{\text{и}} \approx \frac{U_{\text{вх}}}{\omega_0 U_{\text{вых}}} = \frac{6\text{В}}{2\pi \cdot 50\text{Гц} \cdot 44\text{мВ}} \approx 0.43\text{с}.$$

Рассчитаем постоянную времени по значениям указанных на ячейке:

$$\tau = RC = 20\text{кОм} \cdot 20\text{мкФ} = 0.4\text{с}.$$

Видим, что рассчитанное значение близко к измеренному.

iv Обработка результатов

Рассчитаем Коэффициенты отклонений по осям X-Y в напряжённость H и индукцию B пользуясь рассчитанными в п.п. ii данными для чувствительности и формулами:

$$H = \frac{IN_0}{2\pi R}, \quad I = \sqrt{2}I_{\text{эфф}}, \quad |B| = \frac{\tau_{\text{и}}}{SN_U}U, \quad U = m_y \cdot Y.$$

Пользуясь данными из таблиц (1, 2) вычислим значения для:

$$H_{\text{max}} = \frac{N_0 I_{\text{max}} \sqrt{2}}{2\pi R}, \quad B_s = \frac{\tau m_y 2Y_s}{2SN_U}, \quad H_c = H_{\text{max}} \frac{2X_s}{2X_c}, \quad B_r = B_s \frac{2Y_s}{2Y_r}.$$

Образец	I	II	III
$H_{\text{max}}, \text{ А/м}$	31.5	69.1	395.0
$B_s, \text{ Тл}$	0.132	0.959	1.589
$H_c, \text{ А/м}$	6.63	19.7	62.4
$B_r, \text{ Тл}$	0.075	0.811	0.667

Таблица 3: Рассчитанные характеристики образцов.

Из вычислений восстановим предельную петлю гистерезиса и начальную кривую намагничивания. Проведём касательные к восстановленной кривой намагничивания в начальной точке, и точке с максимальным наклоном. По наклону касательной оценим начальное и максимальное значение дифференциальной магнитной проницаемости.

v Оценка погрешностей и полученных результатов.

На точность измерений влияет несколько факторов:

- Счёт данных через осциллограф – экран осциллографа не всегда способен передать точные численные данные.
- Влияние измерительных устройств – при высоких токах из-за переключения режима амперметра искажалась петля, видимая на экране осциллографа.
- Работа с восстановленным графиком – восстановленный график может отличаться от действительного.

Образец	I	II	III
$\mu_{\text{нач}}, \text{ Гн/м}$	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$1.6 \cdot 10^{-3}$	$5.5 \cdot 10^{-3}$
$\mu_{\text{нач}}/\mu_0$	1800	1200	4400
$\mu_{\text{max}}, \text{ Гн/м}$	$1.8 \cdot 10^{-2}$	0.19	$1.1 \cdot 10^{-2}$
μ_{max}/μ_0	$1.4 \cdot 10^4$	$1.5 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^3$

Таблица 4: Значение дифференциальной магнитной проницаемости.

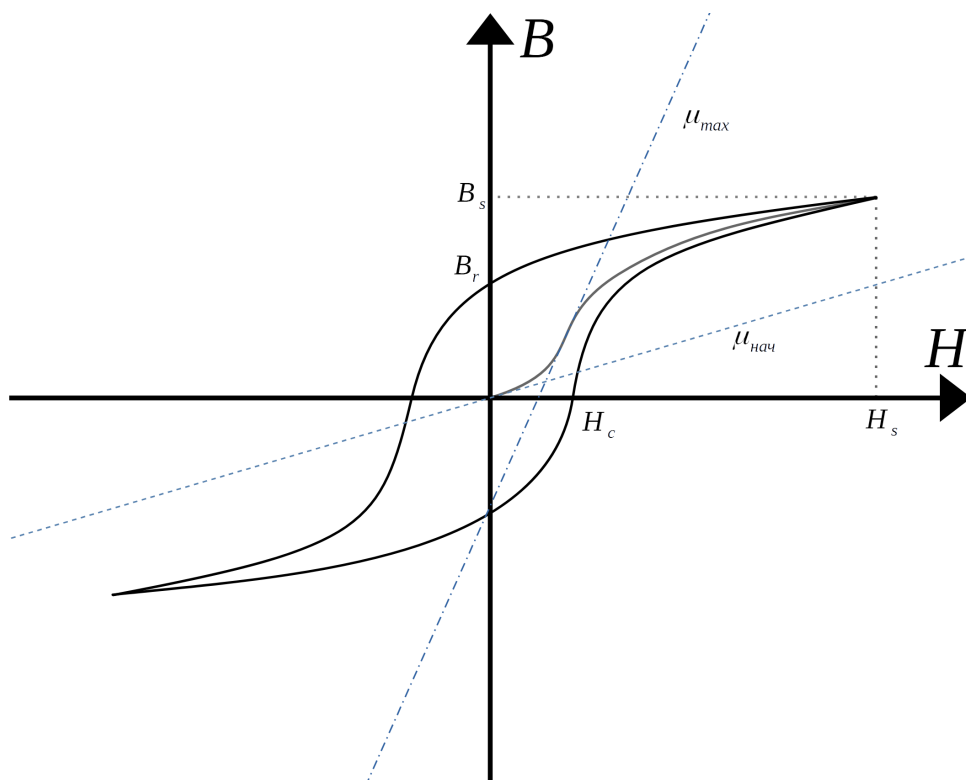


Рис. 5: Предельная петля гистерезиса и начальная кривая намагничивания для образца I

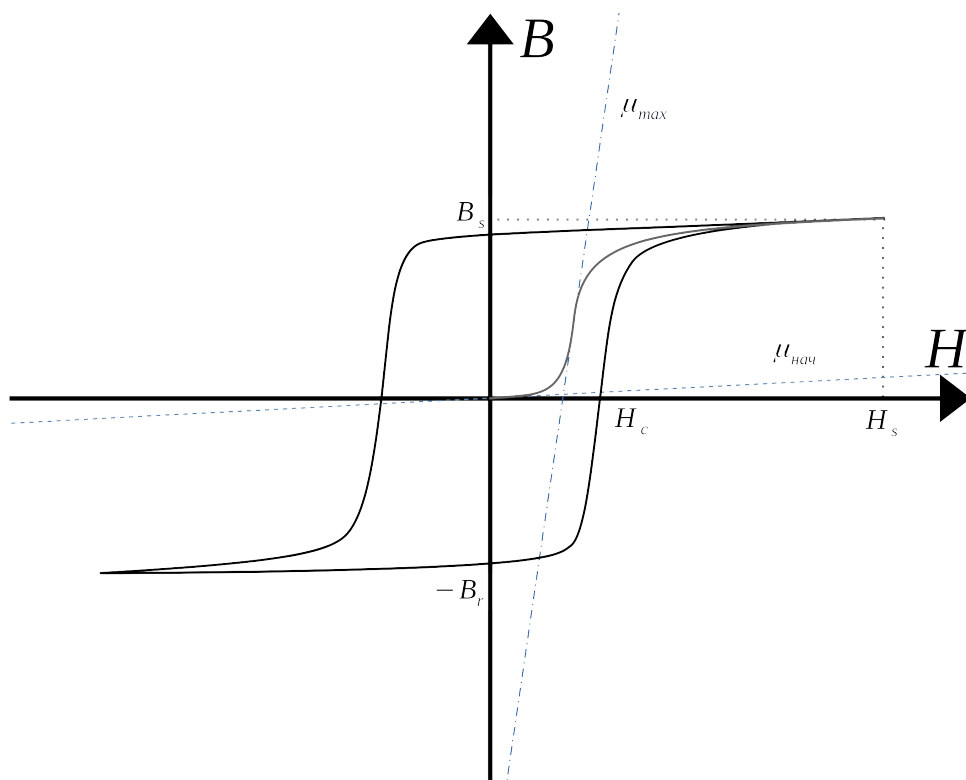


Рис. 6: Предельная петля гистерезиса и начальная кривая намагничивания для образца II

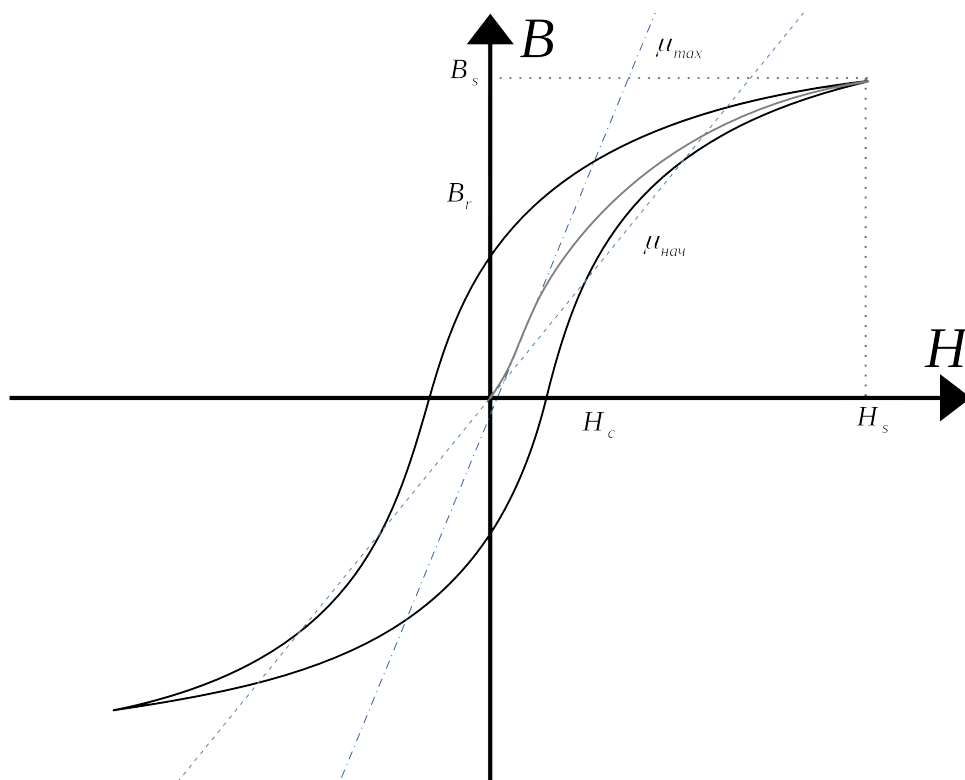


Рис. 7: Предельная петля гистерезиса и начальная кривая намагничивания для образца III

Всё вышеперечисленное делает данные перечислены возможным расчёт значений лишь в пределах порядка.

IV Выводы

Нам удалось при помощи электронного осциллографа пронаблюдать явление гистерезиса, и качественно показать различия между свойствами ферромагнетиков, а именно изменение формы кривой гистерезиса.

При помощи наблюдаемых кривых мы смогли оценить величины коэрцитивного поля H_c , индукции насыщения B_s , магнитной проницаемости $\mu_{\text{нач}}$ и μ_{\max} с точностью до порядка, чем показали, что данный метод можно применять с некоторой эффективностью.
