

Группа К3221

К работе допущен \_\_\_\_\_

Студенты Румянцев Михаил, Бобров Иван

Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Попов А.С.

Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.07 Изучение свойств ферромагнетика

### 1. Цель работы.

1) Измерение зависимости магнитной индукции в ферромагнетике от напряженности магнитного поля  $B = B(H)$

2) Определение по предельной петле гистерезиса индукции насыщения, остаточной индукции и коэрцитивной силы

3) Получение зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля  $\mu = \mu(H)$  и оценка максимального значения величины магнитной проницаемости

4) Расчет мощности потерь энергии в ферромагнетике в процессе его перемагничивания

### 2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1) Построить зависимость  $B(H)$ .

2) Определить параметры петли гистерезиса: индукцию насыщения, остаточную индукцию, коэрцитивную силу.

3) Найти  $\mu(H)$ , максимальное  $\mu$ .

4) Рассчитать потери энергии при перемагничивании.

### 3. Объект исследования.

Ферромагнитный материал.

### 4. Метод экспериментального исследования.

Эмпирический. Сбор данных и их анализ.

### 5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$\text{Коэффициент } \alpha: \alpha = \frac{N_1}{LR_1}$$

$$\text{Коэффициент } \beta: \beta = \frac{R_2 * C_1}{SN_2}$$

$$\text{Магнитная проницаемость } \mu: \mu = \frac{B_m}{\mu_0 H_m}$$

Коэффициент  $\chi$ :  $\chi = K_x K_y \frac{N_1 R_2 C_1}{N_2 R_1} f$

Остаточная индукция  $B$ :  $B = \beta K_y Y$

Коэрцитивная сила  $H$ :  $H = \alpha K_x X$

Средняя мощность  $P$ , расходуемая на перемагничивание образца:  $P = \chi \cdot S_{\text{пр}}$

6. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).

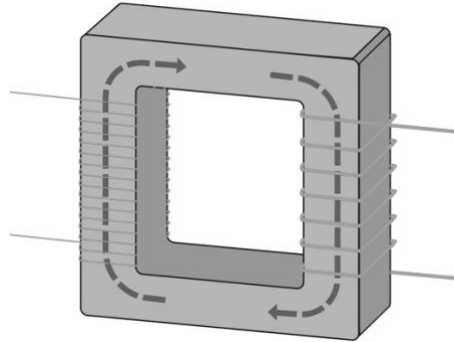


Рисунок 1 – Магнитопровод (сердечник) трансформатора (цвета: красный-синий)

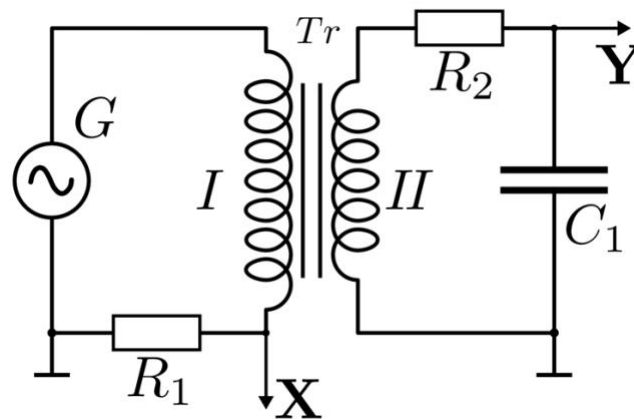


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема установки

Таблица 1 – параметры установки

$R_1$	68 Ом
$R_2$	470 кОм
$C_1$	0.47 мкФ

Таблица 2 – параметры трансформатора

$S$	0.64 см <sup>2</sup>
$L$	7.8 см
$N_1$	1665 вит
$N_2$	970 вит



Рисунок 3 – Общий вид лабораторной установки

7. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

Для первого образца  $K_x = 0.2$  В/дел,  $K_y = 0.05$  В/дел.

Таблица 3

$X_c$ , дел	$Y_r$ , дел	$H_c$ , А/м	$B_r$ , Тл
0.5	1.7	31.49	$3.03 \cdot 10^{-1}$

Таблица 4

$X_m$ , дел	$Y_m$ , дел	$H_m$ , А/м	$B_m$ , Тл	$\mu_m$
4.1	3.9	258.23	$6.94 \cdot 10^{-1}$	2138.67

Таблица 5

U, В	X, дел	$K_x$ , В/дел	H, А/м	Y, дел	$K_y$ , В/дел	B, Тл	$\mu$
20	3.9	0.2	245.63	4.1	0.05	0.73	2365.56
19	3.3	0.2	207.84	4.1	0.05	0.73	2795.66
18	3.1	0.2	195.24	3.9	0.05	0.69	2830.85
17	2.9	0.2	182.65	3.7	0.05	0.66	2870.90
16	2.7	0.2	170.05	3.5	0.05	0.62	2916.88
15	2.3	0.2	144.86	3.3	0.05	0.59	3228.49
14	2.1	0.2	132.26	3.1	0.05	0.55	3321.67
13	3.8	0.1	119.67	2.9	0.05	0.52	3434.46
12	3.3	0.1	103.92	2.7	0.05	0.48	3682.08
11	2.9	0.1	91.32	2.5	0.05	0.45	3879.59
10	2.7	0.1	85.03	2.3	0.05	0.41	3833.61
9	2.3	0.1	72.43	2.1	0.05	0.37	4108.99
8	2.1	0.1	66.13	1.9	0.05	0.34	4071.72
7	3.5	0.05	55.11	1.7	0.05	0.30	4371.74

6	3.3	0.05	51.96	3.5	0.02	0.25	3818.46
5	3.0	0.05	47.24	2.9	0.02	0.21	3480.25

8. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Расчет коэффициента  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{N_1}{LR_1} = \frac{1665}{0.078 \cdot 68} = 314.91 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{Ом}}$$

Расчет коэффициента  $\beta$ :

$$\beta = \frac{R_2 \cdot C_1}{SN_2} = \frac{470000 \cdot 0.47 \cdot 10^{-6}}{970 \cdot 0.64 \cdot 10^{-4}} = 3.56 \frac{\text{Ом} \cdot \Phi}{\text{м}^2}$$

Расчет коэрцитивной силы  $H_c$ :

$$H_c = \alpha K_x X_c = 314.91 \cdot 0.2 \cdot 0.5 = 31.49 \text{ А/м}$$

Расчет остаточной индукции  $B_r$ :

$$B_r = \beta K_y Y_r = 3.56 \cdot 0.05 \cdot 1.7 = 3.03 \cdot 10^{-1} \text{ Тл}$$

Расчет коэрцитивной силы  $H_m$ :

$$H_m = \alpha K_x X_m = 314.91 \cdot 0.2 \cdot 4.1 = 258.23 \text{ А/м}$$

Расчет остаточной индукции  $B_m$ :

$$B_m = \beta K_y Y_r = 3.56 \cdot 0.05 \cdot 3.9 = 6.94 \cdot 10^{-1} \text{ Тл}$$

Расчет магнитной проницаемости  $\mu$ :

$$\mu_m = \frac{B_m}{\mu_0 H_m} = \frac{6.94 \cdot 10^{-1}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 258.23} = 2138.67$$

Расчет коэффициента  $\chi$ :

$$\chi = K_x K_y \frac{N_1 R_2 C_1}{N_2 R_1} f = 0.2 \cdot 0.05 \cdot \frac{1665 \cdot 4.7 \cdot 10^5 \cdot 0.47 \cdot 10^{-6}}{970 \cdot 68} \cdot 30 = 16.73 \cdot 10^{-4} \text{ Дж/с, где } f \text{ частота}$$

сигнала, подаваемого на первичную обмотку трансформатора

Площадь петли:  $S_{\text{пт}} \approx 8 \text{ дел}^2$

Расчет средней мощности  $P$ , расходуемой на перемагничивание образца:

$$P = \chi \cdot S_{\text{пт}} = 16.73 \cdot 10^{-4} \cdot 8 = 13.38 \text{ мВт - средняя мощность, расходуемая на}$$

перемагничивание образца

Максимальное значение проницаемости  $\mu_{\text{max}} = 4371.74$ , напряженность поля, при которой она наблюдается равно  $H = 55.11 \text{ А/м}$ .

9. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).

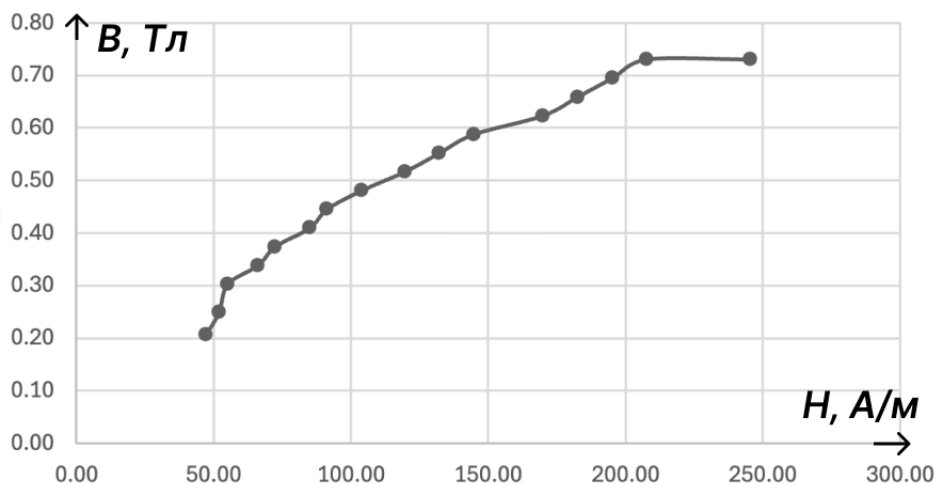


Рисунок 4 – Зависимость  $B(H)$  – кривая начального намагничивания

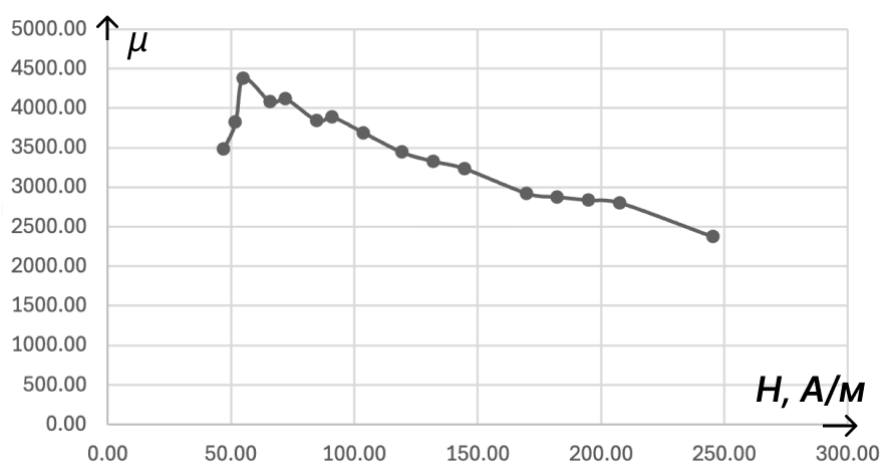


Рисунок 5 – Зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля –  $\mu(H)$

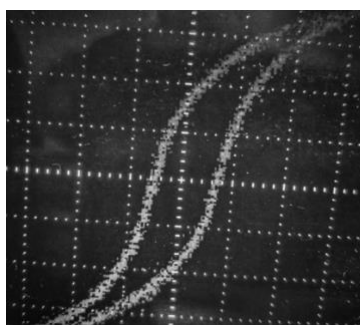


Рисунок 6 – петля гистерезиса

10. Окончательные результаты.

$H_m = 258.23$  А/м – коэрцитивная сила

$B_m = 6.94 \cdot 10^{-1}$  Тл – остаточная индукция

$\mu_m = 2138.67$  – магнитная проницаемость

$P = 13.38$  мВт - средняя мощность, расходуемая на перемагничивание образца

$\mu_{max} = 4371.74$  при  $H = 55.11$  А/м.

## 11. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе выполнения лабораторной работы были определены коэрцитивная сила, остаточная индукция и магнитная проницаемость, а также построены графики зависимостей  $B_m = B_m(H_m)$  и  $\mu = \mu(H_m)$ . Помимо этого, были рассчитаны потери мощности на перемагничивание ферромагнетика и максимальное значение магнитной проницаемости. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что свойства ферромагнетика были изучены.