

Группа Р3213 К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Поленов Кирилл Александрович

Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Терещенко Георгий Викторович Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.07

Изучение свойств ферромагнетика.

### Цель работы.

- Измерение зависимости магнитной индукции в ферромагнетике от напряженности магнитного поля  $B = B(H)$
- Определение по предельной петле гистерезиса индукции насыщения, остаточной индукции и коэрцитивной силы
- Получение зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля  $\mu = \mu(H)$  и оценка максимального значения величины магнитной проницаемости
- Расчет мощности потерь энергии в ферромагнетике в процессе его перемагничивания

### Задачи, решаемые при выполнении работы.

- Измерение зависимости магнитной индукции в ферромагнетике от напряженности магнитного поля  $B = B(H)$ .
- Определение по предельной петле гистерезиса индукции насыщения, остаточной индукции и коэрцитивной силы.
- Получение зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля  $\mu = \mu(H)$  и оценка максимального значения величины магнитной проницаемости.
- Расчет мощности потерь энергии в ферромагнетике в процессе его перемагничивания.

### Метод экспериментального исследования.

Многократные измерения

## Рабочие формулы и исходные данные.

### Исходные данные

$$N1 = 1665 \text{ вит}$$

$$N2 = 970 \text{ вит}$$

$$l = 7.8 \pm 0.1 \text{ см}$$

$$R1 = 68 \text{ Ом} \pm 10\%$$

$$R2 = 470 \text{ кОм} \pm 10\%$$

$$C1 = 0.47 \text{ мкФ} \pm 10\%$$

$$S = 0.64 \pm 0.05 \text{ см}^2$$

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

$$U = 20 \text{ В}$$

$$f = 30 \text{ Гц}$$

$$K_x = 100 \text{ мВ}$$

$$K_y = 50 \text{ мВ}$$

### Формулы

$$\alpha = \frac{N1}{lR1}$$

$$\beta = \frac{R2C1}{N2S}$$

$$\chi = K_x K_y \frac{N1 R2 C1}{N2 R1} f$$

$$H = \alpha * K_x * x$$

$$B = \beta * K_y * y$$

### Установка.

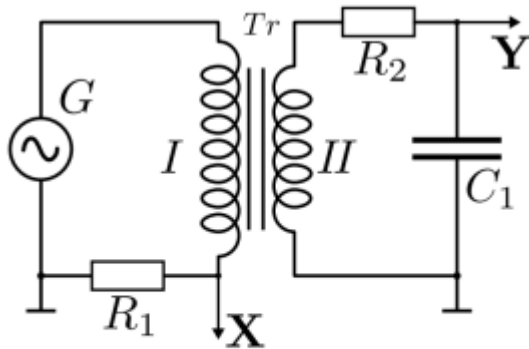


Рис. 1: Схема установки

- Сердечник (магнитопровод) трансформатора, размещенного на лабораторном стенде. Объект измерений имеет прямоугольную форму с прямоугольным же поперечным сечением.
- Генератор синусоидального напряжения.
- Осциллограф

### Результаты прямых измерений.

Коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$\alpha = \frac{N1}{lR1} = \frac{1665}{0.78 * 68} \approx 313.91 \frac{1}{\text{м} * \text{Ом}}$$

$$\beta = \frac{R2C1}{N2S} = \frac{470 * 10^3 * 0.47 * 10^{-7}}{970 * 0.64 * 10^{-4}} \approx 3.588$$

$X_c$  и  $Y_r$  – координаты пересечения петли гистерезиса с положительными направлениями осей  $Ox$  и  $Oy$  соответственно

Коэрцитивная сила  $H_c$ :

$$H_c = \alpha * K_x * X_c = 313.91 * 0.1 * 1.1 = 34.53 \text{ А/м}$$

Остаточная индукция  $B_r$ :

$$B_r = \beta * K_y * Y_r = 3.588 * 0.05 * 1.6 = 0.286 \text{ Тл}$$

Таблица 1

$X_c$ , дел.	$Y_r$ , дел.	$H_c$ , А/м	$B_r$ , Тл
1.1	1.6	34.53	0.286

$X_m$  и  $Y_m$  – координаты вершины петли гистерезиса с в первом квадранте координатной плоскости

**Коэрцитивная сила  $H_m$ :**

$$H_m = \alpha * K_x * X_m = 313.91 * 0.1 * 3.3 = 103.592 \text{ А/м}$$

**Остаточная индукция  $B_m$ :**

$$B_m = \beta * K_y * Y_m = 3.588 * 0.05 * 2.8 = 0.498 \text{ Тл}$$

**Магнитная проницаемость  $\mu_m$ :**

$$\mu_m = \frac{B_m}{\mu_0 * H_m} = \frac{0.498}{4\pi * 10^{-7} * 103.592} \approx 3827.485 \text{ Гн/м}$$

Таблица 2

$X_m$ , дел.	$Y_m$ , дел.	$H_m$ , А/м	$B_m$ , Тл	$\mu_m$ , Гн/м
3.3	3.8	103.592	0.498	3827.485

Таблица измерений результатов с постепенным снижением амплитуды напряжения на 0.5 В за шаг

Таблица 3

$U$ , В	$X$ , дел	$K_x \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$H$ , А/м	$Y$ , дел	$K_y \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$B$ , Тл	$\mu_m$ Гн/м
20	3.3	0.1	103.592	2.8	0.05	0.498	3827.485
19	3.2	0.1	100.452	2.7	0.05	0.480	3804.460
18	3	0.1	94.174	2.6	0.05	0.463	3914.356
17	2.9	0.1	91.035	2.6	0.05	0.463	4049.328
16	2.8	0.1	87.896	2.5	0.05	0.445	4030.893
15	2.7	0.1	84.757	2.4	0.05	0.427	4011.092
14	2.6	0.1	81.618	2.4	0.05	0.427	4165.358
13	2.5	0.1	78.479	2.3	0.05	0.409	4149.351
12	2.4	0.1	75.339	2.2	0.05	0.391	4132.066
11	2.3	0.1	72.200	2.1	0.05	0.374	4124.248
10	2.2	0.1	69.061	2.05	0.05	0.365	4207.948

Пример расчета атрибутов таблицы для  $U=10$  В:

$$H(10) = 313.914 * 0.1 * 2.2 = 69.061 \text{ А/м}$$

$$B(10) = 3.558 * 0.05 * 2.05 = 0.365 \text{ Тл}$$

$$\mu(10) = \frac{0.365}{4\pi * 10^{-7} * 69.061} = 4207.948 \text{ Гн/м}$$

## Графики

График 1. кривая начального намагничивания  $B_m = B_m(H_m)$

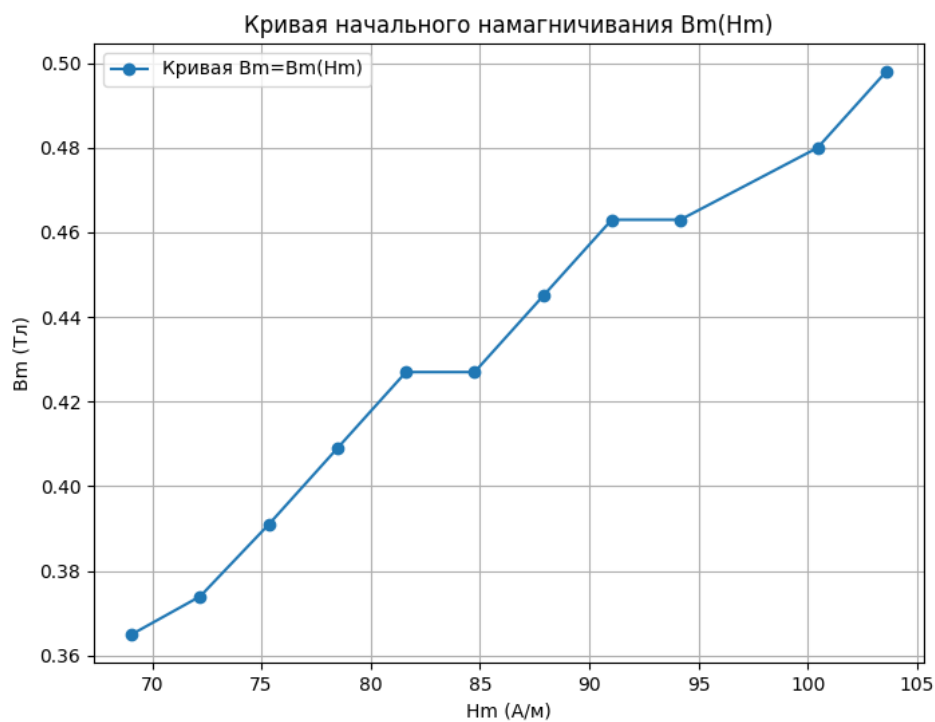
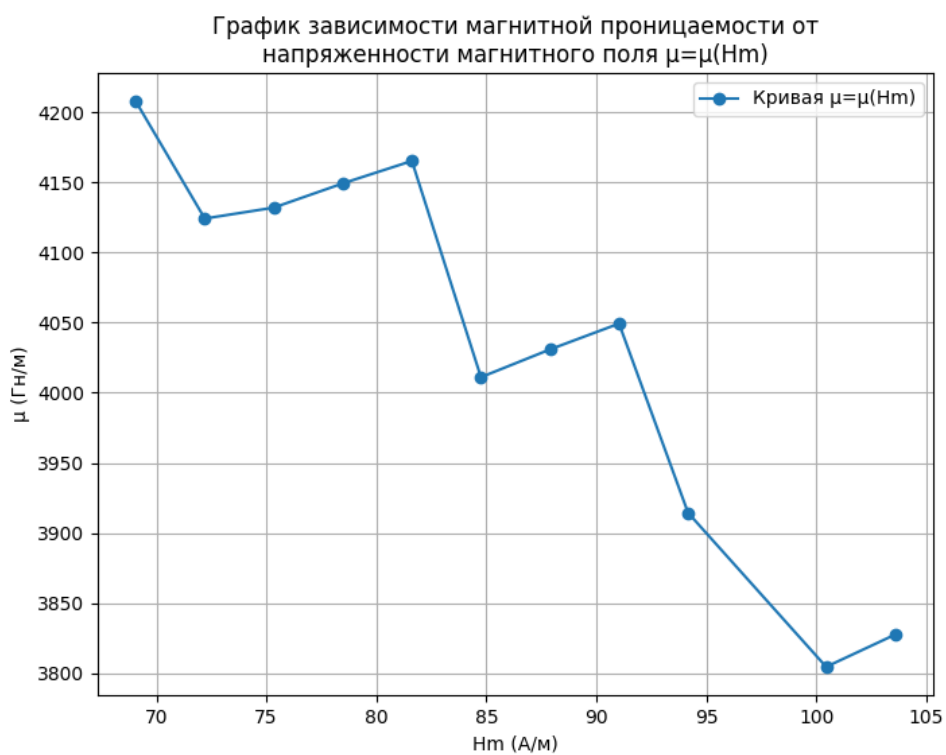


График 2. график зависимости магнитной проницаемости  $\mu = \mu(H_m)$  от напряженности магнитного поля



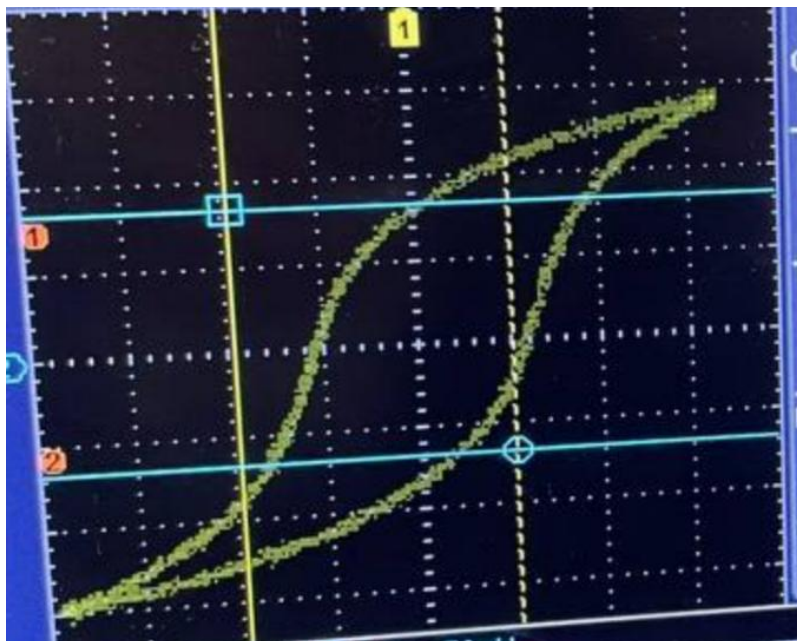


рис. 2 Петля гистерезиса

Из таблицы видно, что  $\mu_{max}$  и  $H_m$  достигаются для  $U=14$  В и равны  $4207.948 \frac{\Gamma_H}{M}$  и  $69.061 \frac{A}{M}$  соответственно.

Площадь петли гистерезиса  $S_{ПГ} \approx 8$  клеток

Вычислим коэффициент  $\chi$ :

$$\chi = K_x K_y \frac{N_1 R_2 C_1}{N_2 R_1} f = 0.1 * 0.05 * \frac{1665 * 470 * 0.47 * 10^{-6}}{970 * 68} * 30 \approx 0.000302$$

Осталось вычислить мощность потерь энергии на перемагничивание ферромагнетика

$$P = \chi * S_{ПГ} \approx 0.000302 * 8 = 0.002416 \text{ Вт}$$

Абсолютная погрешность мощности:

$$\Delta P = P \left( \frac{\Delta \chi}{\chi} + \frac{\Delta S_{ПГ}}{S_{ПГ}} \right) \approx 0.00094 \text{ Вт} \rightarrow P = 0.002416 \pm 0.00094 \text{ Вт}$$

### Вывод.

В ходе проделанной работы была рассчитана коэрцитивная сила, остаточная индукция, магнитная проницаемость, мощность потерь и максимальное значение проницаемости. Были построены графики  $B_m = B_m(H_m)$  и  $\mu = \mu(H_m)$ .

