

Группа 3220

К работе допущен _____

Студент Гафурова Фарангиз Фуркатовна

Работа выполнена _____

Преподаватель Терещенко Георгий
Викторович

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:

- Настройка прибора;
- Подсчет вспомогательных коэффициентах α, β, γ ;
- Оценка погрешностей величин.

3. Объект исследования:

Сердечник (магнитопровод) трансформатора как образец для изучения магнитных свойств ферромагнитного материала.

4. Метод экспериментального исследования:

Лабораторный (многократные измерения величин).

5. Рабочие формулы и исходные данные:

Исходные данные:

Наименование	Величина	Значение
Число витков намагниченной обмотки	N_1	1665 вит
Число витков измерительной обмотки	N_2	970 вит
Средняя длина ферромагнетика	l	$7,8 \pm 0,1$ см
Резистор 1	R_1	$68 \text{ Ом} \pm 10\%$
Резистор 2	R_2	$470 \text{ кОм} \pm 10\%$

Конденсатор	C_1	$0,47 \text{ мкФ} \pm 10\%$
Площадь поперечного ферромагнетика	S	$0,64 \pm 0,05 \text{ см}^2$
Магнитная проницаемость вакуума	μ_0	$4\pi * 10^{-7} \frac{H}{m}$
Соответственно статичные коэффициенты:		
Коэффициент	α	$313,914 \pm 31,648 \frac{1}{m * Ом}$
Коэффициент	β	$3,558 \pm 0,575 \frac{Ом * \Phi}{m^2}$

$$\alpha = \frac{N_1}{l * R_1}$$

$$\beta = \frac{R_2 * C_1}{N_2 * S}$$

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

$$B = \beta * K_y * Y - \text{магнитная индукция}$$

$$P = \chi * S_{\text{пл}} - \text{средняя мощность}$$

$$H = \alpha * K_x * X - \text{напряженность магнитного поля}$$

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 * H} - \text{магнитная проницаемость}$$

6. Измерительные приборы:

№	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Запоминающий осциллограф	Цифровой	$K_x = \{0,05; 0,1\}B$ $K_y = \{0,01; 0,02; 0,05\}B$	$\pm 3\%$

7. Схема установки:

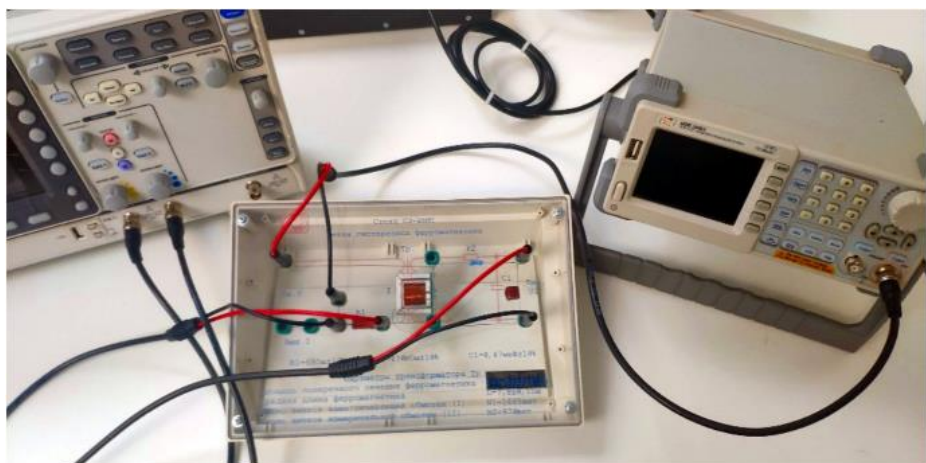


Рисунок 1. Общий вид лабораторной установки



Рисунок 2. Лицевая панель генератора сигналов АКІР-3409/2



Рисунок 3. Панель управления осциллографа GDS-71102 B

8. Результат прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов):

Таблица 1			
X_c , дел	Y_r , дел	H_c , А/м	B_r , Тл
3,8	6,5	$119,287 \pm 12,934$	$1,156 \pm 0,191$

Таблица 2				
X_m , дел	Y_m , дел	H_m , А/м	B_m , Тл	μ_m
17,5	15,1	$549,35 \pm 57,869$	$2,686 \pm 0,442$	$3890,873 \pm 760,222$

Таблица 3							
U , В	X , дел	K_x , В/дел	H , А/м	Y , дел	K_y , В/дел	B , Тл	μ
20 В	4,0 дел	$0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$125,566 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	6,3 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	1,121	7104,34
19 В	4,0 дел	$0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$125,566 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	6,0 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	1,067	6762,114
18 В	3,9 дел	$0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$122,426 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	5,5 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,978	6357,046
17 В	3,5 дел	$0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$109,87 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	5,0 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,89	6446,159
16 В	3,5 дел	$0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$109,87 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	4,5 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,801	5801,543
15 В	3,2 дел	$0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$100,452 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	4,5 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,801	6345,474
14 В	3,1 дел	$0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$97,313 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	4,2 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,747	6108,575
13 В	6,0 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$94,174 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	4,0 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,712	6016,433
12 В	5,5 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$86,326 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	4,0 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,712	6563,395
11 В	5,2 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$81,618 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	3,5 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,623	6074,244
10 В	5,0 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$78,48 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	3,2 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,57	5779,709
9 В	5,0 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$78,48 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	7,5 дел	$0,02 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,534	5414,675
8 В	4,5 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$70,631 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	6,8 дел	$0,02 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,484	5453,058
7 В	4,3 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$67,492 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	5,3 дел	$0,02 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,377	4445,076
6 В	3,5 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$54,935 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	5,0 дел	$0,02 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,356	5156,927
5 В	3,0 дел	$0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	$47,087 \frac{\text{А}}{\text{м}}$	8,5 дел	$0,01 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$	0,302	5103,828

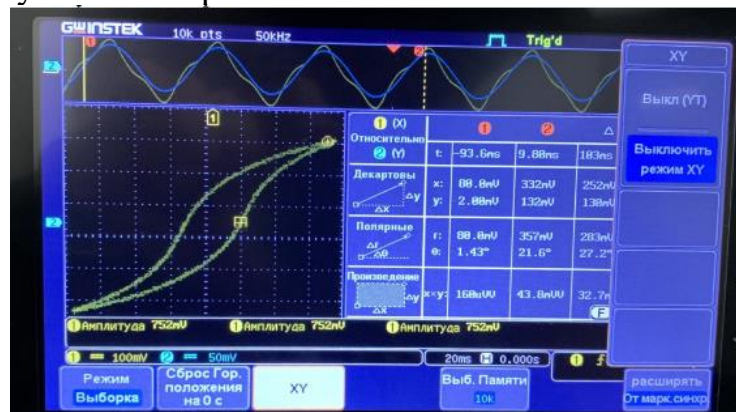
9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов):

Представим, что мы выполняем работу в настоящий момент, тогда в соответствии с методическими указаниями:

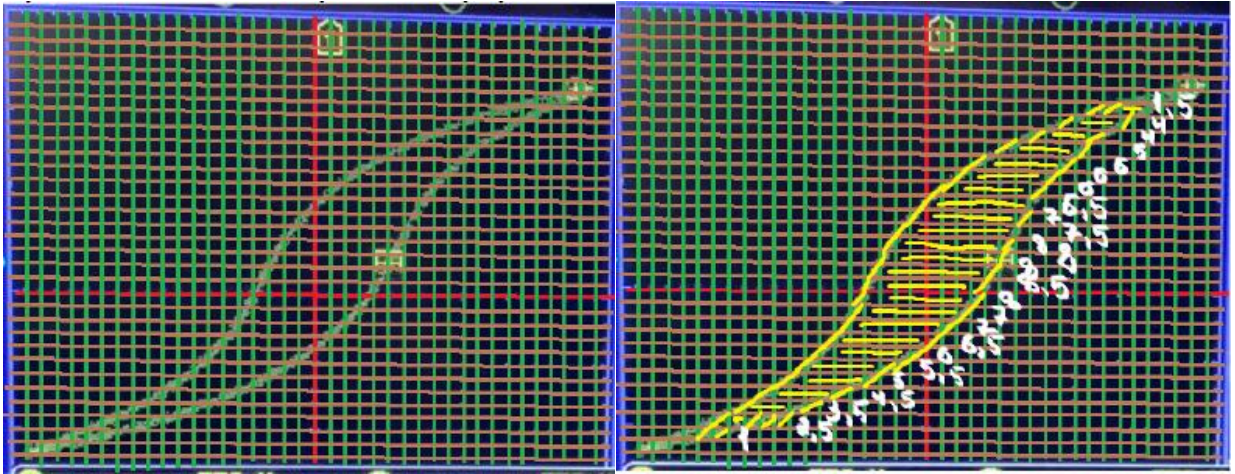
1. Занесем в бланк протокола значения параметров, указанных на стенде: см. пункт 5, исходные данные. Они будут необходимы нам для нахождения коэффициентов α, β, χ .
2. Соберем лабораторную установку.
3. Зафиксируем входную частоту генератора $f = 31$ Гц, начальную амплитуду выходного сигнала генератора $V = 20$ В для режима V_{pp} :



4. Продолжаем настраивать прибор.
5. Подберем значения K_x, K_y так, что картина петли будет занимать существенную часть экрана:



6. После регулировки получаем п.7.
7. Приняв X_c и Y_r за координаты пересечения графика петли с осями координат, получим: см. Таблица 1.
8. Отметим координаты вершины петли гистерезиса: X_m и Y_m . Найдем соответствующие им H_m и B_m , а также определим значение магнитной проницаемости μ , соответствующее состоянию насыщения. см. Таблица 2.
9. Приняв деление за 1 см, разметим график петли (красные – оси координат):



Значит, площадь полученной петли: $S_{\text{ПГ}} = 138,5 \text{ см}^2 = 1385 * 10^{-5} \text{ м}^2$.
 Определим коэффициент χ и среднюю мощность P , расходуем на перемагничивание образца:

$$\chi = 8,643 * 10^{-4} \pm 0,157 * 10^{-3};$$

$$P = 1,197 * 10^{-5} \pm 2,176 * 10^{-6} \text{ Вт}$$

10. С шагом 1В будем устанавливать меньшие амплитуды напряжения генератора (получим 16 значений). Вместе с тем будем выбирать необходимые коэффициенты K_x и K_y , при которых петля будет занимать максимальную площадь экрана. Запишем полученные значения с соответствующими им значениями H , B и μ . (см. Таблица 3).

11. По полученным данным построим кривую начального намагничивания $B_m = B_m(H_m)$ и график зависимости магнитной проницаемости $\mu = \mu(H_m)$ от напряженности магнитного поля (см. График 1, График 2). Аппроксимируем их.

12. Графически найдем напряженность поля H_{max} , соответствующую максимуму магнитной проницаемости μ_{max} материала:

$$H_{\text{max}} = 125,566 \pm 13,048 \text{ А/м}$$

$$B_{\text{max}} = 1,121 \pm 0,185 \text{ Тл}$$

Тогда найдем магнитную проницаемость для данной мощности по формуле:

$$\mu_{\text{max}} = 7104,34 \pm 1417,595$$

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений):

Для коэффициента α :

$$\alpha = \frac{N_1}{l * R_1}$$

$$\Delta\alpha = \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha}{\partial N_1} * \Delta N_1\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial l} * \Delta l\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial R_1} * \Delta R_1\right)^2}$$

$$\Delta\alpha = \sqrt{\left(\frac{\Delta N_1}{l * R_1}\right)^2 + \left(\frac{N_1 * \Delta l}{l^2 * R_1}\right)^2 + \left(\frac{N * \Delta R_1}{l * R_1^2}\right)^2}$$

$$\Delta\alpha = 31,648 \frac{1}{\text{м} * \text{Ом}}$$

Для коэффициента β :

$$\beta = \frac{R_2 * C_1}{N_2 * S}$$

$$\Delta\beta = \sqrt{\left(\frac{C_1 * \Delta R_2}{N_2 * S}\right)^2 + \left(\frac{R_2 * \Delta C_1}{N_2 * S}\right)^2 + \left(\frac{R_2 * C_1}{S * N_2^2} * \Delta N_2\right)^2 + \left(\frac{R_2 * C_1}{N_2 * S^2} * \Delta S\right)^2}$$

$$\Delta\beta = 0,575 \frac{\text{Ом} * \Phi}{\text{м}^2}$$

Для коэффициента χ (по аналогии), полагая $\Delta f = 1 \text{ В}$:

$$\Delta\chi = \pm 0,157 * 10^{-3};$$

Для величины средней мощности, расходуемой на перемангничивание образца, полагая $\Delta S_{\text{пг}} = \pm 1 \text{ см}^2 = \pm 10^{-4} \text{ м}^2$:

$$P = \chi * S_{\text{пг}}$$

$$\Delta P = \sqrt{(\chi * \Delta S_{\text{пг}})^2 + (\Delta\chi * S_{\text{пг}})^2}$$

$$\Delta P = 2,176 * 10^{-6} \text{ Вт}$$

Для величины $H = H_{\text{max}} (K_x = 0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}}; X = 4,0 \text{ дел})$, полагая $\Delta X = \pm 0,1 \text{ дел}$:

$$H = \alpha K_x * X$$

$$\Delta H = \sqrt{(K_x * X * \Delta\alpha)^2 + (\alpha * X * \Delta K_x)^2 + (\alpha * K_x * \Delta X)^2}$$

$$\Delta H = \pm 13,048 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Для величины $B = B_{\text{max}} (K_y = 0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}; Y = 6,3 \text{ дел})$, полагая $\Delta Y = \pm 0,1 \text{ дел}$:

$$B = \beta * K_y * Y$$

$$\Delta B = \sqrt{(K_y * Y * \Delta\beta)^2 + (\beta * Y * \Delta K_y)^2 + (\beta * K_y * \Delta Y)^2}$$

$$\Delta B = \pm 0,185 \text{ Тл}$$

Для величины магнитной проницаемости $\mu = \mu_{max}(B = B_{max}, H = H_{max}, \mu_0 = const \rightarrow \Delta\mu = 0)$:

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 * H}$$

$$\Delta\mu = \sqrt{\left(\frac{\Delta B}{\mu_0 * H}\right)^2 + \left(\frac{B * \Delta H}{\mu_0 * H^2}\right)^2}$$

$$\Delta\mu = \pm 1417,595$$

Для коэрцитивной силы $H_c (X_c = 3,8 \text{ дел}; K_x = 0,1 \text{ В/дел})$ – по аналогии с H_{max} : $\Delta H_c = \pm 12,934 \text{ А/м}$.

Для остаточной индукции $B_r (Y_r = 6,5 \text{ дел}; K_y = 0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}})$ – по аналогии с B_{max} : $\Delta B_r = 0,191 \text{ Тл}$.

Также по аналогии с нахождением погрешностей для $H_{max}, B_{max}, \mu_{max}$, найдем погрешности для соответствующих величин, соответствующих состоянию насыщения: $\Delta H_m = \pm 57,869 \text{ А/м}$; : $\Delta B_m = \pm 0,442 \text{ Тл}$; : $\Delta\mu_m = \pm 760,222$;

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

График 1

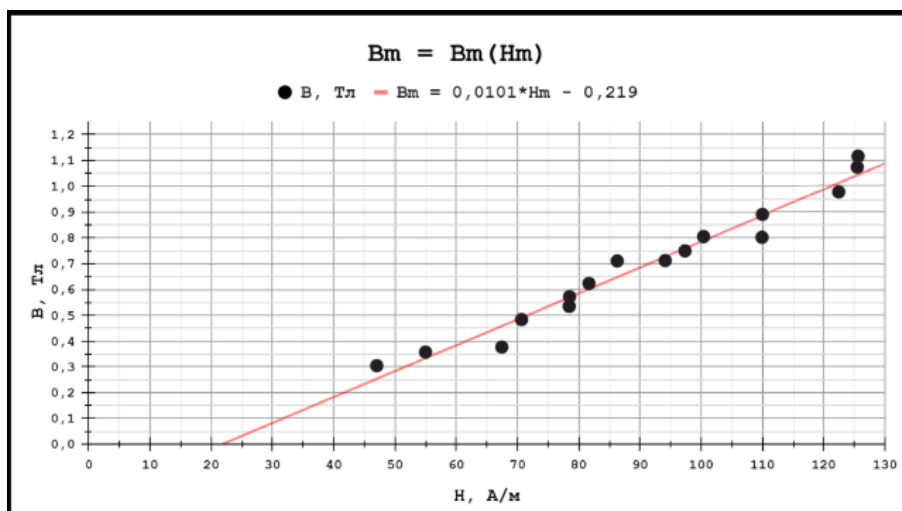
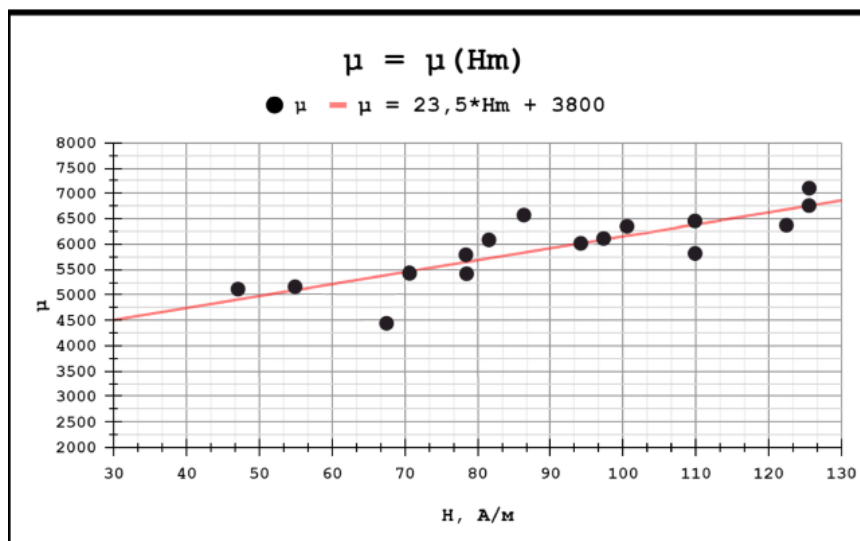


График 2



12. Выводы и анализ результатов работы:

Окончательный результат:

- **Получены значения исследуемого образца:**
 - коэрцитивной силы: $H_c = 119,287 \pm 12,934 \text{ А/м}$;
 - остаточной индукции: $B_r = 1,156 \pm 0,191 \text{ Тл}$;
- **Получены значения в состоянии насыщения:**
 - Индукции $B_m = 2,686 \pm 0,442 \text{ Тл}$;
 - Напряженности $H_m = 549,35 \pm 57,869 \text{ Ф/м}$;
 - Магнитной проницаемости $\mu_m = 3890,873 \pm 760,222$;
- **Получена мощность потерь на перемагничивание ферромагнетика (с оценкой величины её погрешности):**
 - $P = 1,197 \cdot 10^{-5} \pm 2,176 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$;
- **Графически получено максимальное значение проницаемости и напряженности поля, на которой она наблюдается:**
 - $\mu_{\max} = 7104,34 \pm 1417,595$;
 - $H_{\max} = 125,566 \pm 13,048 \text{ А/м}$.

Графики:

- График зависимости магнитной индукции от напряженности:
 - $B = B(H)$ – см. График 1.
- График зависимости магнитной проницаемости от напряженности:
 - $\mu = \mu(H)$ – см. График 2.

13. Вывод:

В ходе лабораторной работы посредством работы с устройством ЦЗО, способом отображать зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля в ферромагнетике (петля гистерезиса), были определены значения индукции насыщения, остаточной индукции, коэрцитивной силы. Таким образом, можно определить максимальную индукцию для данного магнитного материала, магнитную индукцию, остающуюся в намагниченном материале после того, как намагничивающее поле убирает, а также можно определить характеристику способности ферромагнетика сохранять намагниченное состояние. Аппроксимация графиков показала стабильность зависимостей.