

Группа М32031

К работе допущен 02.10.2022

Студент Степанова О.А. и Богаченко А.А.

Работа выполнена _____

Преподаватель Тимофеева Э.О.

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 3.07

Изучение свойств ферромагнетика

1. Цель работы.
Изучить свойства ферромагнетика.
2. Задачи, решаемые при выполнении 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
3. Объект исследования.
Свойства ферромагнетика
4. Метод экспериментального исследования.
Многократные измерения
5. Рабочие формулы и исходные данные.

Исходные данные стенда:

$N_1 = 1665$ витков

$N_2 = 970$ витков

$l = 7,8 \pm 0,1$ см

$S = 0,64 \pm 0,05$ см²

$R_1 = 68$ Ом $\pm 10\%$

$R_2 = 470$ кОм $\pm 10\%$

$C_1 = 0,47$ мкФ $\pm 10\%$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}) \quad - \text{индукция магнитного поля (1)}$$

$$\mu = 1 + \frac{J}{H} = \frac{B}{\mu_0 H}. \quad - \text{магнитная проницаемость (2)}$$

$$\oint H d\ell = N_1 \cdot I_1, \quad - \text{теорема о циркуляции для первичной обмотки (3)}$$

$$H = \frac{N_1}{\ell} \cdot I_1. \quad - \text{напряженность, создаваемая первичной обмоткой (4)}$$

$$H = \frac{N_1}{\ell R_1} \cdot K_x \cdot x = \alpha \cdot K_x \cdot x, \quad - \text{напряженность через масштабирующие коэффициенты (5)}$$

$$\mathcal{E} = N_2 \left| \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right| = N_2 S \left| \frac{dB}{dt} \right|, \quad - \text{электродвижущая сила (6)}$$

$$B = \frac{1}{N_2 S} \int \mathcal{E} dt \quad - \text{индукция через электродвижущую силу (7)}$$

$$U_C = \frac{N_2 S}{R_2 C_1} \cdot B \quad - \text{напряженность на конденсаторе (8)}$$

$$\beta = \frac{R_2 C_1}{N_2 S} \quad - \text{коэффициент (9)}$$

$$B = \frac{R_2 C_1}{N_2 S} \cdot K_y \cdot y = \beta \cdot K_y \cdot y. \quad - \text{индукция (10)}$$

$$P = \chi \cdot S_{\text{ПГ}}, \quad - \text{средняя мощность, расходуемая внешним источником тока (11)}$$

$$\chi = K_x K_y \frac{N_1 R_2 C_1}{N_2 R_1} f, \quad - \text{коэффициент для расчета средней мощности (12)}$$

$$dA = I_{\text{общ}} d\Phi = N_1 I_1 d\Phi. \quad - \text{работа источника тока (13)}$$

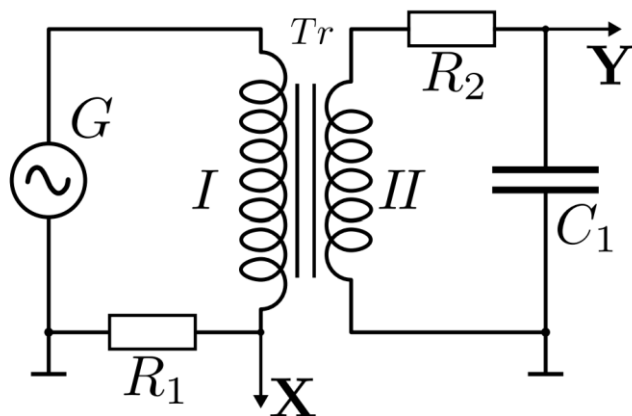
$$dA = V \frac{dA}{V} = V \cdot \frac{dA}{\ell S} = V \cdot \frac{N_1 I_1}{\ell} d \left(\frac{\Phi}{S} \right) = V \cdot H dB.$$

$$\frac{A}{V} = \frac{1}{V} \oint dA = \oint H dB. \quad - \text{Полная работа по перемагничиванию единицы объема вещества за один цикл (14)}$$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Осциллограф	цифровой	$K_x = 50 \div 100 \text{ мВ}$ $K_y = 20 \div 50 \text{ мВ}$	$K_{\text{откл}} = \pm 3\%$

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



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

$$K_x = 0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}}, K_y = 0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}}$$

Таблица 1

$U_{e, \text{ген}}$	$U_{r, \text{ген}}$	$I_{e, \text{А/ш}}$	$I_{Br, \text{Тл}}$
4	5		

Таблица 2

$U_{m, \text{ген}}$	$U_{r, \text{ген}}$	$I_{ш, \text{А/ш}}$	$I_{Br, \text{Тл}}$	$\mu_{m, \text{м}}$
19	14			

N

$$f_1 = 20 \div 40 \quad \text{частота } f = 30 \text{ Гц}$$

$$K_x = 100 \text{ мВ}$$

$$K_y = 50 \text{ мВ}$$

Лабораторная работа 53.07

Выполнили: Степанова Ольга и
Богаченко Анастасия

3.10.2022

Зинин

Таблица 3

U, B	X_{gen}^{mV}	$K_x, \frac{B}{gen}$	$H, A/m$	Y_{gen}^{mV}	$K_y, \frac{B}{gen}$	B, T
20	76	100		60	50	
19	72	100		56	50	
18	68	100		54	50	
17	60	100		50	50	
16	60	100		48	50	
15	56	100		48	50	
14	56	100		46	50	
13	56	100		46	50	
12	52	50		44	50	
11	52	50		38	50	
10	50	50		36	50	
9	48	50		32	50	
8	42	50		30	50	
7	36	50		28	50	
6	34	50		19	20	
5	28	50		16	20	

9. Расчет результатов косвенных измерений

По формулам (5) и (9) вычислили значения коэффициентов α и β :

Коэффициенты	
α	β
313,914	3,558312

По формулам (5) и (10) вычислили коэрцитивную силу H_c и остаточную индукцию B_c :

Таблица №1			
H_c , дел.	Y_r , дел.	H_c , А/м	B_r , Тл
5	8	156,957	1,423325

По тем же формулам определили Hm и Bm . По формуле (2) определили значение магнитной проницаемости μ , соответствующее состоянию насыщения:

Таблица №2				
Xm , дел.	Ym , дел.	Hm , А/м	Bm , Тл	μ
17	14	533,6538	2,490818	3714,262

Вычислили коэффициент χ по формуле (12):

$$\chi = 0,0008364125985$$

Найдем площадь петли гистерезиса:

$$S_{\text{пт}} = 243.7 \text{ клеток (условных единиц).}$$

И по формуле (11) определили среднюю мощность:

$$P = 0,2038337503 \text{ Вт}$$

Заполним таблицу №3, используя те же формулы, что и для заполнения таблицы №2:

Таблица №3							
$U, В$	X , дел.	Kx , В дел	H , А/м	Y , дел.	Ky , В дел	B , Тл	μ
20	76	0,1	2385,75	60	0,05	10,67	3560,66
19	72	0,1	2260,18	56	0,05	9,96	3507,91
18	68	0,1	2134,62	54	0,05	9,61	3581,61
17	60	0,1	1883,48	50	0,05	8,9	3758,48
16	60	0,1	1883,48	48	0,05	8,54	3608,14
15	56	0,1	1757,92	47	0,05	8,36	3785,33
14	56	0,1	1757,92	46	0,05	8,18	3704,79
13	56	0,1	1757,92	46	0,05	8,18	3704,79
12	52	0,05	816,18	44	0,05	7,83	7632,6
11	52	0,05	816,18	38	0,05	6,76	6591,79
10	50	0,05	784,79	36	0,05	6,4	6494,65
9	48	0,05	753,39	32	0,05	5,69	6013,57
8	42	0,05	659,22	30	0,05	5,34	6443,11
7	36	0,05	565,05	28	0,05	4,98	7015,83
6	34	0,05	533,65	19	0,02	1,35	2016,31
5	28	0,05	439,48	16	0,02	1,14	2061,79

Графически найдем напряженность поля, соответствующую максимуму магнитной проницаемости материала:

По графику видно, что это точка, обладающая следующими характеристиками: $\mu = 7\,632,60$;

$$H = 816,18 \text{ А/м}$$

Вычислим максимальное значение магнитной индукции по формуле (5):

$$B = 7,83$$

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

Рассчитаем относительную погрешность по формуле (8) для мощности:

$$P = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln P}{\partial S}\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln P}{\partial K_x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln P}{\partial K_y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln P}{\partial R_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln P}{\partial R_1}\right)^2} * 100\% =$$
$$= \sqrt{(\varepsilon(S))^2 + \varepsilon(K_x)^2 + \varepsilon(K_y)^2 + \varepsilon(R_2)^2 + \varepsilon(R_1)^2} * 100\% = 14,3\%$$

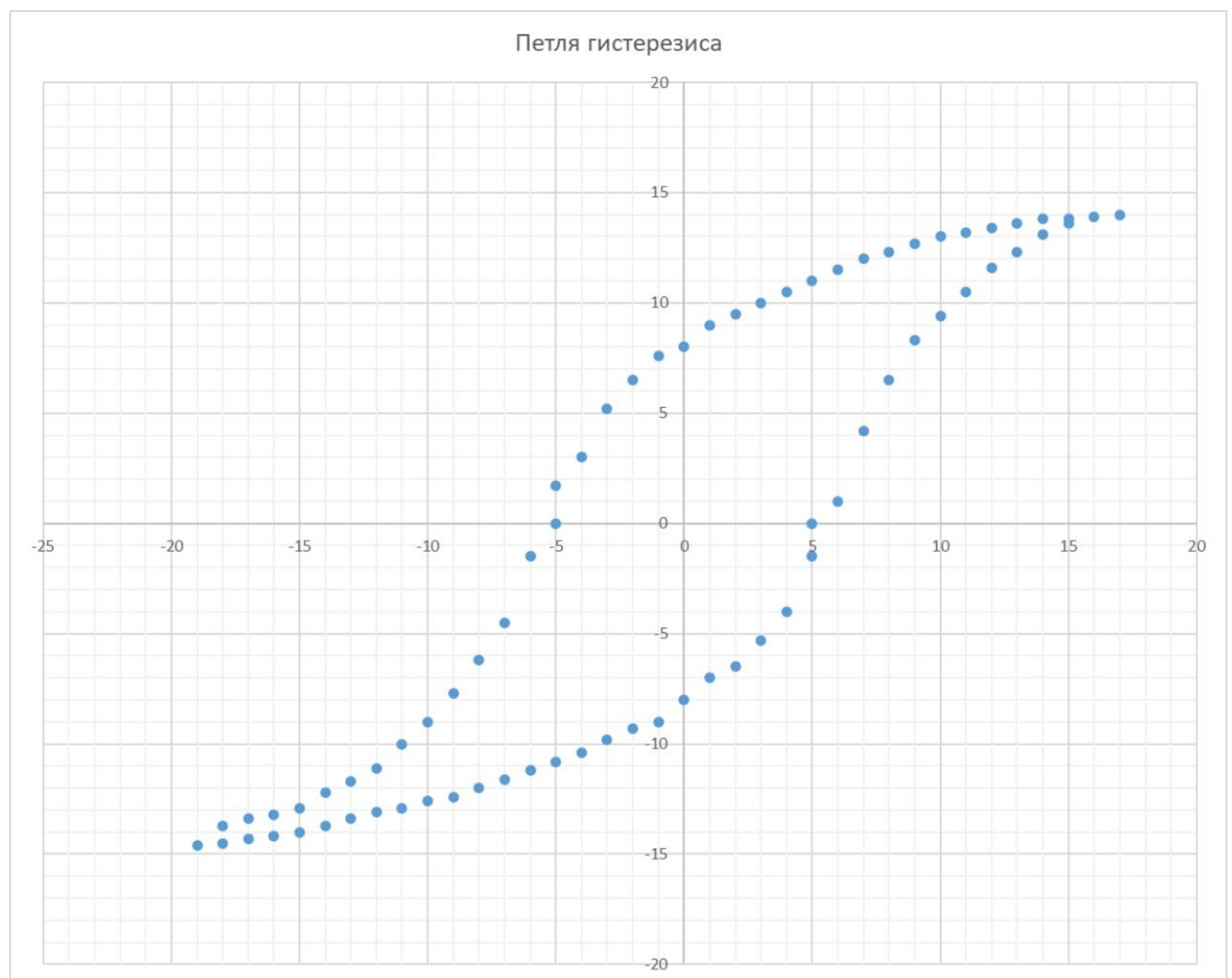
Тогда абсолютная погрешность:

$$\Delta P = 0,2038337503 * 0,143 = 0,0291482 \text{ Вт.}$$

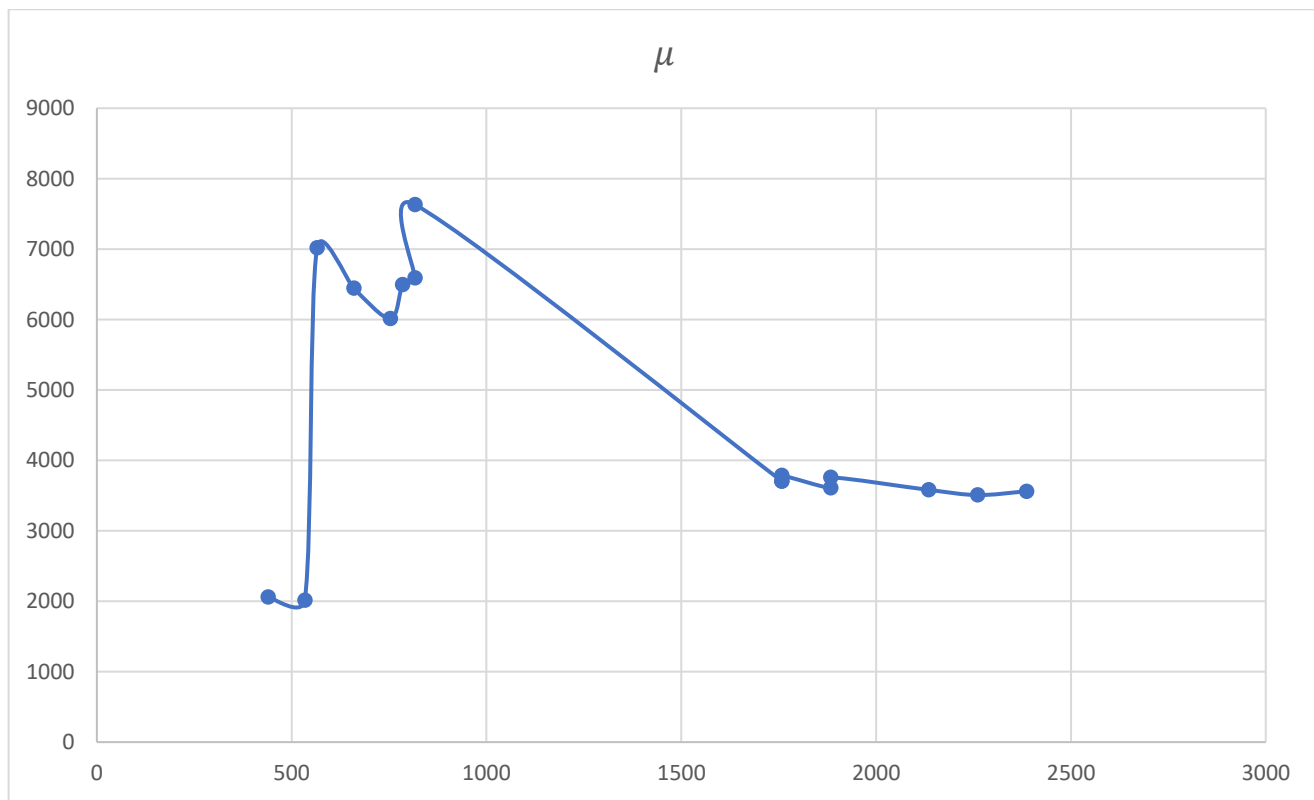
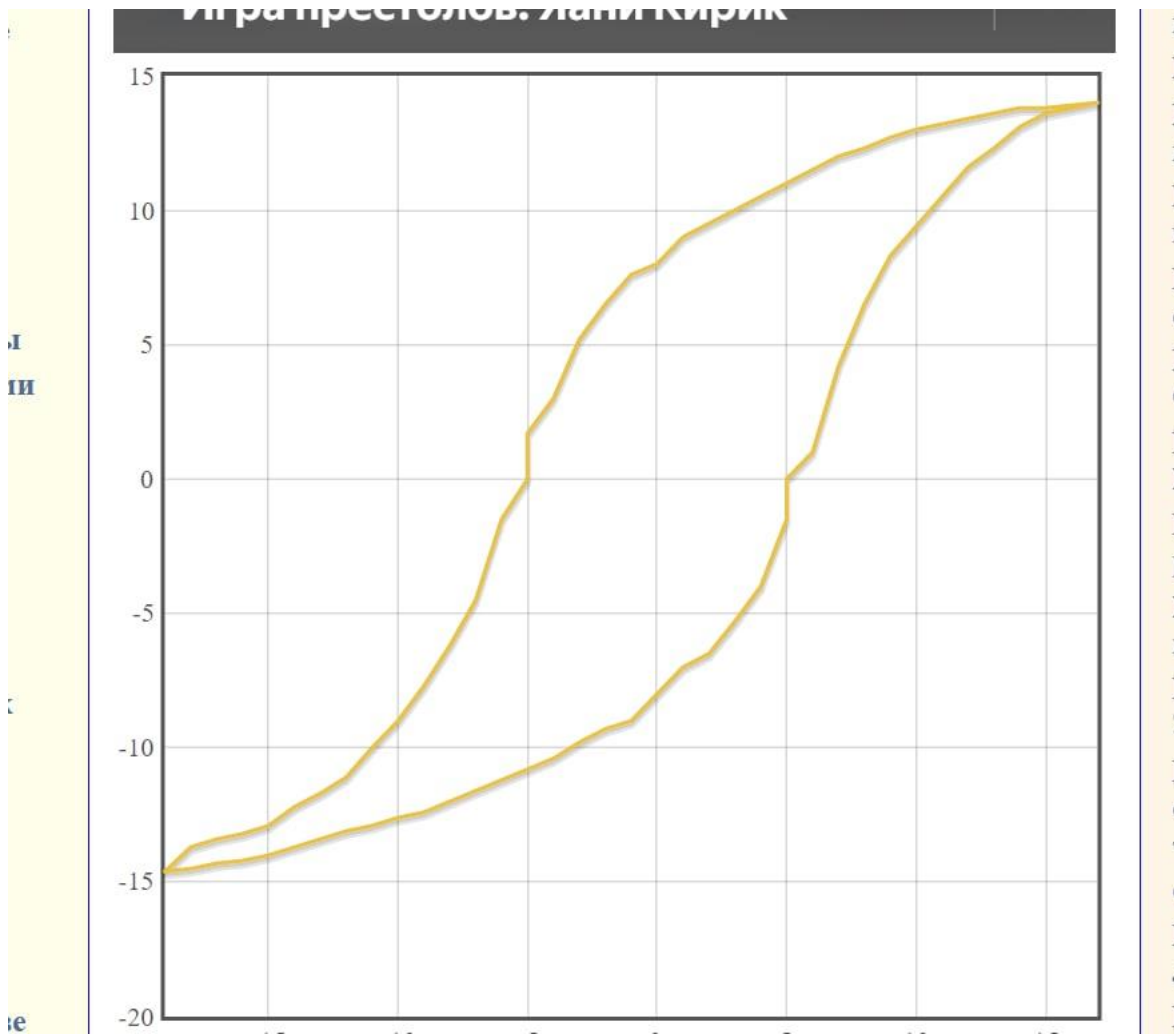
Запишем результат с доверительными интервалами:

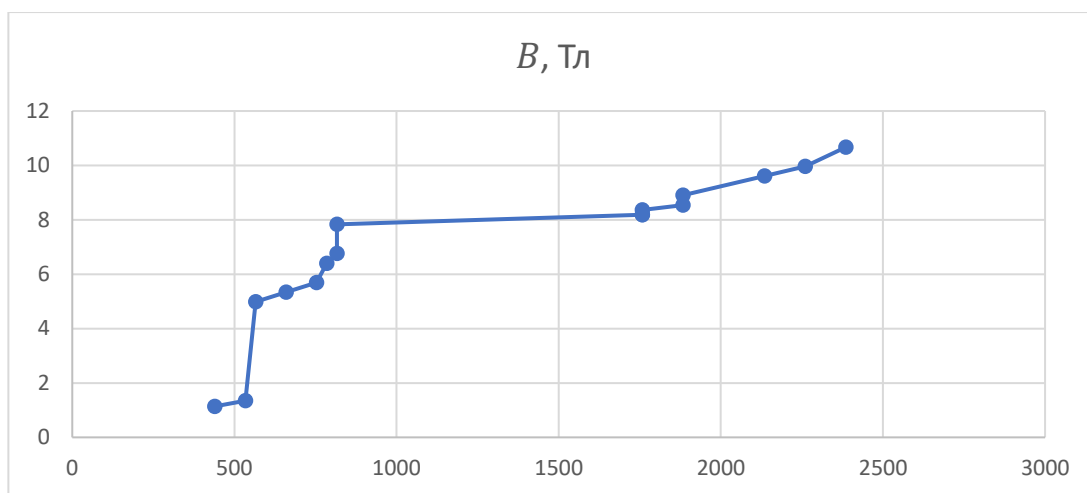
$$P = (0,2038 \pm 0,03) \text{ Вт, } \varepsilon(P) = 14,3\%$$

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



Петля гистерезиса, построенная по координатам.





Зависимость магнитной индукции от напряженности в вершине петли гистерезиса. $B_m = B_m(H_m)$

12. Окончательные результаты.

1) Коэрцитивная сила: $H_c = 156,957$ В, остаточная индукция: $B_r = 1,423325$ Тл, магнитная проницаемость в состоянии насыщения: $\mu_m = 3714,262$

2) Мощность потерь на перемагничивание ферромагнетика: $P = (0,2038 \pm 0,03)$ Вт, $\varepsilon(P) = 14,3\%$

3) Максимальное значение проницаемости: $\mu_{max} = 7632.60$, напряженность поля, при которой она наблюдается: $H_{max} = 816176$ А/м

13. Выводы

Ферромагнетики - вещества, обладающие величиной магнитной проницаемости много большей единицы.

В ходе выполнения данной лабораторной работы были получены результаты коэрцитивной силы и остаточной индукции. Остаточная индукция пропорциональна намагниченности, которую имеет ферромагнитный материал при напряженности внешнего магнитного поля, равной нулю. Коэрцитивная сила – значение напряженности магнитного поля, необходимое для полного размагничивания ферромагнитного вещества.

Если к первоначально размагниченному образцу прикладывать усиливающееся внешнее магнитное поле, то магнитная индукция начинает изменяться. На начальном участке магнитная индукция быстро и нелинейно возрастает, затем в некоторой точке рост функции сильно замедляется и становится линейным. Эта область называется областью насыщения. После достижения значения напряженности $H_m = 502,2$ А/м магнитная индукция и намагниченность уменьшаются с некоторым запаздыванием, не обращаясь в ноль.

Также было получено значение средней мощности, расходуемой внешним источником тока при циклическом перемагничивании ферромагнита. Относительная погрешность составляет 14,3 % из-за некоторых допущений при построении изображения петли гистерезиса, а также погрешности приборов и элементов цепи.