

Группа P3112

К работе допущен

Студент Сенина Мария Михайловна

Работа выполнена

Преподаватель Сорокина Е.К.

Отчёт принят

Рабочий протокол и отчёт по лабораторной работе № 3-07

Изучение свойств ферромагнетиков

1. Цель работы

Изучение свойств ферромагнетиков и явление петли гистерезиса.

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.

Ферромагнетик

4. Метод экспериментального исследования.

Построить схему указанную на рисунке 1. К точкам указанным X и Y подключить осциллограф с разверткой по соответствующим осям.

Из формул $B = \frac{R_2 C_1}{N_2 S} K_y u = \beta K_y u$, $H = \frac{N_1}{l R_1} K_x x = \alpha K_x x$

можно вычислить значение индукции магнитного поля и напряжённости магнитного поля, а значит построить масштабированную петлю гистерезиса.

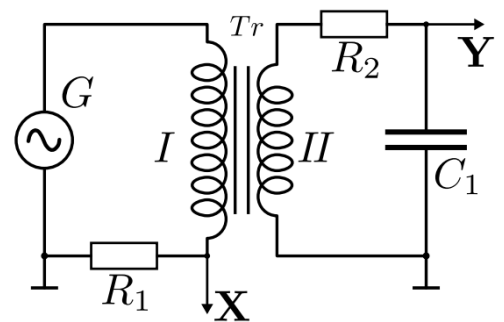


Рисунок 1: Принципиальная электрическая схема установки

У каждой такой петли мы можем измерить

координаты X_c и Y_r пересечения петли гистерезиса с осями координат. Этим значениям будут соответствовать коэрцитивная сила H_c и остаточная индукция B_r для исследуемого ферромагнетика. Точно так же значениям X_m и Y_m вершины петли гистерезиса будут соответствовать максимальные напряжённость и индукция H_m и B_m магнитного поля в ферромагнетике. А зная их по формуле $\mu = 1 + \frac{J}{H} = \frac{B}{\mu_0 H}$ можно вычислить магнитную проницаемость ферромагнетика в состоянии насыщения.

Изменяя напряжённость магнитного поля с помощью изменения частоты на генераторе мы можем, пользуясь теми же формулами, вычислить зависимости $B(H)$ и $\mu(H)$.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

Используемые формулы:

1. Коэффициент $\alpha = \frac{N_1}{lR_1}$
2. Относительная погрешность измерения $\delta\alpha = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln(\alpha)}{\partial R_1} \Delta R_1\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln(\alpha)}{\partial l} \Delta l\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{-\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta l}{l}\right)^2} = \sqrt{(\delta R_1)^2 + (\delta l)^2}$
3. Формула для определения индукции магнитного поля в ферромагнетике по значению на осциллографе $H = \alpha K_x x$,
где l – средняя длина магнитопровода, N_1 – количество его витков в катушке со стороны генератора, R_1 – сопротивление первого резистора в схеме, x – цена делений на горизонтальной оси осциллографа, а K_x – коэффициент масштаба на осциллографе вычисляемый из его настроек
4. Погрешность измерения $\Delta H = H \sqrt{\left(\frac{\partial \ln(H)}{\partial \alpha} \Delta \alpha\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln(H)}{\partial x} \Delta x\right)^2} = H \sqrt{(\delta \alpha)^2 + (\delta x)^2}$
5. Коэффициент $\beta = \frac{R_2 C_1}{N_2 S}$
6. Относительная погрешность измерения $\delta\beta = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln(\beta)}{\partial R_2} \Delta R_2\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln(\beta)}{\partial C_1} \Delta C_1\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln(\beta)}{\partial S} \Delta S\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_1}{C_1}\right)^2 + \left(\frac{-\Delta S}{S}\right)^2} = \sqrt{(\delta R_2)^2 + (\delta C_1)^2 + (\delta S)^2}$
7. Формула для определения индукции магнитного поля в ферромагнетике по значению на осциллографе $B = \beta K_y y$,
где S – средняя площадь поперечного сечения магнитопровода, C_1 – ёмкость конденсатора, N_2 – количество его витков в катушке со стороны конденсатора, R_2 – сопротивление первого резистора в схеме, y – цена делений на вертикальной оси осциллографа, а K_y – коэффициент масштаба на осциллографе вычисляемый из его настроек
8. Погрешность измерения $\Delta B = B \sqrt{\left(\frac{\partial \ln(B)}{\partial \beta} \Delta \beta\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln(B)}{\partial y} \Delta y\right)^2} = B \sqrt{(\delta \beta)^2 + (\delta y)^2}$
9. Магнитная проницаемость $\mu = 1 + \frac{J}{H} = \frac{B}{\mu_0 H}$, где B – индукция магнитного поля, H – напряжённость магнитного поля и $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.
10. Погрешность измерения $\Delta \mu = \mu \sqrt{\left(\frac{\partial \ln(\mu)}{\partial B} \Delta B\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln(\mu)}{\partial H} \Delta H\right)^2} = \mu \sqrt{(\delta B)^2 + (\delta H)^2}$
11. Средняя энергии, расходуемая на перемагничивание ферромагнетика $P = \chi S_{\text{ПГ}}$,
где $\chi = K_x K_y \frac{N_1 R_2 C_1}{N_2 R_1} f$, а f – это частота подаваемого тока.
12. Погрешность средней энергии, расходуемой на перемагничивание $\Delta P = P \sqrt{\left(\frac{\partial \ln(P)}{\partial S_{\text{ПГ}}} \Delta S_{\text{ПГ}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln(P)}{\partial R_1} \Delta R_1\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln(P)}{\partial R_2} \Delta R_2\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln(P)}{\partial C_1} \Delta C_1\right)^2} = P \sqrt{(\delta S_{\text{ПГ}})^2 + (\delta R_1)^2 + (\delta R_2)^2 + (\delta C_1)^2}$

6. Схема установки.

Принципиальная схема установки представлена на рисунке 1. В качестве генератора мы используем генератор сигналов АКПП-3409/2, а в качестве выводов сигналов из точек X и Y – цифровой запоминающий осциллограф. А в качестве магнитопровода мы используем интересующий нас ферромагнетик.

7. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1.	Цифровой запоминающий осциллограф		
2.	Генератор сигналов АКИП-3409/2	1-20В, 40Гц	

8. Результаты прямых измерений и их обработки.

Результаты измерений см в приложении.

9. Расчёт результатов косвенных измерений.

Вычислим коэффициенты α и β по формулам (1) и (5):

$$\alpha = \frac{N_1}{lR_1} = \frac{1665}{7,8 \text{ см } 68 \text{ Ом}} = 314,$$

$$\beta = \frac{R_2 C_1}{N_2 S} = \frac{470 \text{ кОм } 0,47 \text{ мкФ}}{970 * 0,64 \text{ см}^2} = 3,56$$

А также их относительные погрешности по формулам (2) и (6)

$$\delta\alpha = \sqrt{(\delta R_1)^2 + (\delta l)^2} = \sqrt{\left(\frac{6,8 \text{ Ом}}{68 \text{ Ом}}\right)^2 + \left(\frac{0,1 \text{ см}}{7,8 \text{ см}}\right)^2} = 0,10$$

и

$$\delta\beta = \sqrt{(\delta R_2)^2 + (\delta C_1)^2 + (\delta S)^2} = \sqrt{\left(\frac{47 \text{ кОм}}{470 \text{ кОм}}\right)^2 + \left(\frac{0,047 \text{ мкФ}}{0,47 \text{ мкФ}}\right)^2 + \left(\frac{0,05 \text{ см}^2}{0,65 \text{ см}^2}\right)^2} = 0,16$$

Магнитную напряжённость в точке пересечения максимальной петли с осью X равна коэрцитивной силе H_c , которая вычисляется по формуле (3) $H_c = \alpha K_x x = 313 * 0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}} * 1,2 \text{ дел} = 38 \frac{\text{А}}{\text{м}}$. А её погрешность вычисляется по формуле (4) $\Delta H_c = H_c \sqrt{(\delta\alpha)^2 + (\delta x)^2} =$

$$38 \frac{\text{А}}{\text{м}} \sqrt{(0,1)^2 + \left(\frac{0,1}{1,2}\right)^2} = 5 \frac{\text{А}}{\text{м}}.$$

Магнитная индукция в точке пересечения максимальной петли с осью Y равна остаточной индукции B_r . Её можно вычислить по формуле (7) $B_r = \beta K_y y = 3,56 * 0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}} * 1 \text{ дел} =$

$$0,18 \text{ Тл. и её погрешность по формуле (8) } \Delta B_r = B_r \sqrt{(\delta\beta)^2 + (\delta y)^2} =$$

$$0,18 \text{ Тл} \sqrt{(3,56)^2 + \left(\frac{0,1}{1,0}\right)^2} = 0,03 \text{ Тл.}$$

По аналогичным формулам вычисляются максимальная напряжённость и индукция магнитного поля ферромагнетика для координат вершины петли гистерезиса:

$$H_m = \alpha K_x x = 313 * 0,1 \frac{\text{В}}{\text{дел}} * 2,8 \text{ дел} = 88 \frac{\text{А}}{\text{м}} \quad \Delta H_m = H_m \sqrt{(\delta\alpha)^2 + (\delta x)^2} =$$

$$88 \frac{\text{А}}{\text{м}} \sqrt{(0,1)^2 + \left(\frac{0,1}{2,8}\right)^2} = 9 \frac{\text{А}}{\text{м}}.$$

$$B_m = \beta K_y y = 3,56 * 0,05 \frac{\text{В}}{\text{дел}} * 2 \text{ дел} = 0,36 \text{ Тл. и её погрешность по формуле (8) } \Delta B_m =$$

$$B_m \sqrt{(\delta\beta)^2 + (\delta y)^2} = 0,36 \text{ Тл} \sqrt{(3,56)^2 + \left(\frac{0,1}{2,0}\right)^2} = 0,05 \text{ Тл.}$$

Тогда значение относительной магнитной проницаемости в этом состоянии можно вычислить по формуле (9) $\mu = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{0,36 \text{ Тл}}{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \cdot 88 \frac{\text{А}}{\text{м}}} = 3223$, а его погрешность по формуле (10)

$$\Delta\mu = 3223 \sqrt{\left(\frac{0,05 \text{ Тл}}{0,36 \text{ Тл}}\right)^2 + \left(\frac{9 \frac{\text{А}}{\text{м}}}{88 \frac{\text{А}}{\text{м}}}\right)^2} = 624$$

Посчитав магнитные индукцию и напряжение и магнитную проницаемость для других (меньших) петлей по тем же формулам – построим графики зависимости $\mu(H)$ и $B(H)$. (См пункт 10)

А потери энергии на перемагничивание можно померить, перенеся петлю на миллиметровую бумагу и посчитав её площадь. (См график в приложении).

У меня получилась площадь равная $119,75 \cdot 10^4 \text{ мВ}^2$. Если считать, что линия может колебаться на 1 мм в обе стороны то погрешность будет примерно 700 мВ^2 .

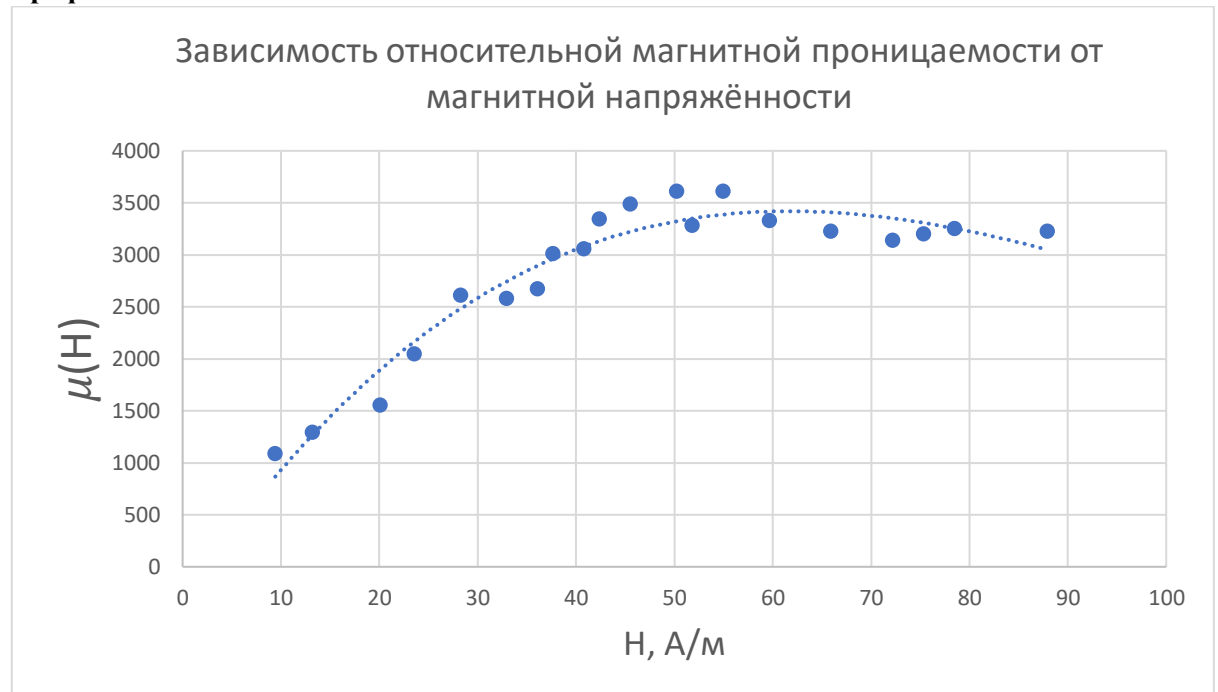
Посчитаем тогда значение средней затрачиваемой энергии по формуле (11) $P = \chi S_{\Pi\Gamma} =$

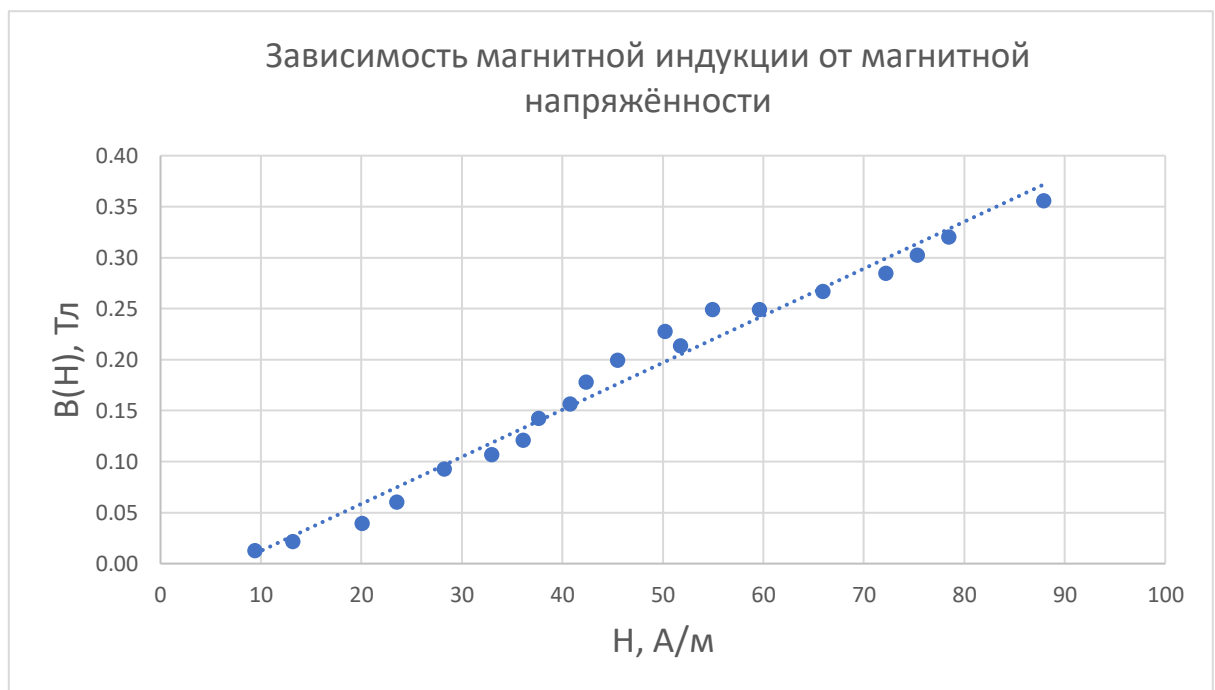
$$1,3 \cdot 10^{-3} \Phi, \text{ где } \chi = K_x K_y \frac{N_1 R_2 C_1}{N_2 R_1} f = 1,1 \frac{10^{-3} \Phi}{\text{В}}$$

Погрешность рассчитывается по формуле (12) $\Delta P =$

$$P \sqrt{(\delta S_{\Pi\Gamma})^2 + (\delta R_1)^2 + (\delta R_2)^2 + (\delta C_1)^2} = 0,2 \cdot 10^{-3} \Phi$$

10. Графики.





11. Окончательные результаты.

В состоянии насыщения:

Магнитная напряжённость $H_m = 88 \pm 9 \frac{\text{А}}{\text{м}}$, $\delta H_c = 10\%$

Магнитная индукция $B_m = 0,36 \pm 0,05 \text{ Тл}$, $\delta B_m = 13\%$

Магнитной проницаемости $\mu = 3223 \pm 624$, $\delta \mu = 19\%$

Значение коэрцитивной силы $H_c = 38 \pm 5 \frac{\text{А}}{\text{м}}$, $\delta H_c = 13\%$

Значение остаточной индукции $B_r = 0,18 \pm 0,03 \text{ Тл}$, $\delta B_r = 16\%$

Мощность потерь на перемагничивание $P = 1,3 \pm 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}$, $\delta P = 15\%$

Графики зависимостей магнитной индукции и проницаемости от напряженности: $B = B(H)$ и $\mu = \mu(H)$ (См в пункте 10)

Согласно графику, максимальное значение проницаемости $\mu_{\max} = 3609$ и напряженность поля, при которой она наблюдается равна $H_\mu = 55 \frac{\text{А}}{\text{м}}$

12. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе данной лабораторной работы я вычислила параметры петли гистерезиса, и энергию необходимую для перемагничивания данного ферромагнетика.

Полученные результаты показывают, что ферромагнетики действительно имеют остаточную индукцию и не размагничиваются при отключении внешнего поля. Мои экспериментальные данные сошлись с теоретическим графиком, хотя для более точной оценки стоило рассмотреть больший диапазон напряжений, а значит и напряжённостей магнитного поля. (Но, к сожалению, у нас нет такого оборудования).

Так же я получила линейный график зависимости магнитной индукции от магнитной напряжённости. Это подтверждает теорию, но будь бы диапазон токов большим мы бы увидели плато, которое показывающее, что при больших напряжённостях индукция не увеличивается и ферромагнетик насытился.