

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ

Факультет физики

Лабораторная работа

«Гистерезис»

Работу выполнил студент 2 курса
Захаров Сергей Дмитриевич



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Москва
2019

Содержание

1. Цель работы	2
2. Описание метода выполнения работы	2
2.1. Получение характеристик катушки	2
2.2. Наблюдение петли магнитного гистерезиса	3
3. Выполнение работы	4
3.1. Определение характеристик катушки	4
3.2. Работа с наблюдаемой петлей магнитного гистерезиса	6
4. Заключение	6

1. Цель работы

Перед началом выполнения работы были поставлены следующие цели:

- 1) Изготовить катушку индуктивности с ферритовым сердечником и измерить ее индуктивность и магнитную восприимчивость.
- 2) Пронаблюдать петлю магнитного гистерезиса и измерить на ее основании магнитные параметры материала сердечника.

2. Описание метода выполнения работы

2.1. Получение характеристик катушки

Сперва было решено определиться с тем, каким образом будет найдена индуктивность. С этой целью была собрана схема, представленная на рисунке 1.

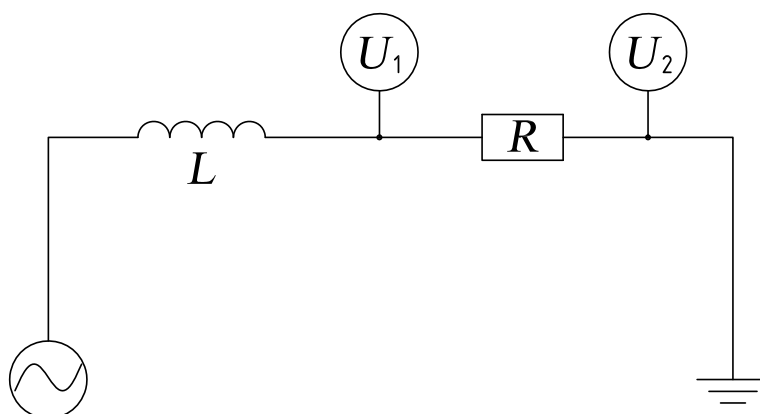


Рис. 1. Схема для определения индуктивности катушки

Для того, чтобы с ее помощью измерить индуктивность, обратимся к следующим выкладкам:

$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}$$

На основании этого получаем формулу для расчета индуктивности:

$$L = \frac{R}{\omega} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 - 1} \quad (1)$$

Помимо нахождения индуктивности, в лабораторной также предполагалось нахождение магнитной восприимчивости сердечника. Для того, чтобы это сделать, обратимся к следующей формуле:

$$L = \mu_0 \cdot \mu \cdot h \cdot \frac{N^2}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{D}{d}$$

Здесь N — число витков катушки, h — ее высота, μ_0 — магнитная постоянная, D — внешний диаметр, d — внутренний диаметр.

Таким образом, получаем:

$$\mu = \frac{L \cdot 2 \cdot \pi}{\mu_0 \cdot h \cdot N^2 \cdot \ln \frac{D}{d}} \quad (2)$$

2.2. Наблюдение петли магнитного гистерезиса

Для наблюдения петли гистерезиса была предложена схема, представленная на рисунке 2.

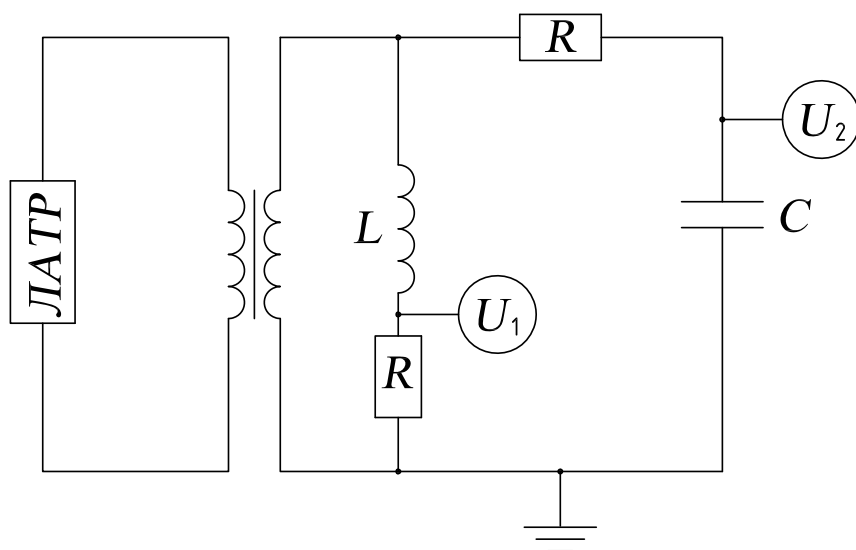


Рис. 2. Схема для наблюдения петли гистерезиса

Резистор с малым сопротивлением необходим для измерения тока в цепи с помощью напряжения U_1 .

При знании тока, текущего через катушку, можно выразить напряженность поля в ней с помощью теоремы о циркуляции:

$$H = \frac{N \cdot I}{\pi \cdot D} = \frac{N \cdot U_1}{\pi \cdot D \cdot R} \quad (3)$$

Здесь N — число витков катушки, D — средний диаметр сердечника, R — сопротивление резистора с малым сопротивлением.

Для того, чтобы выразить индукция поля, можно воспользоваться законом Фарадея:

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} = -S \cdot N \cdot \frac{dB}{dt} \quad (4)$$

В целом нетрудно показать, что в нашем случае также верно, что напряжение на конденсаторе можно записать следующим образом:

$$U_2 = \frac{1}{R_b \cdot C} \cdot \int U dt = \frac{1}{R_b \cdot C} \cdot S \cdot N \cdot B \quad (5)$$

На основании этой связи получаем следующее выражение для индукции:

$$B = \frac{R_b \cdot C \cdot U_2}{S \cdot N} \quad (6)$$

Здесь R_b — величина большого сопротивления, подключенного к конденсатору, C — емкость конденсатора, S — площадь поперечного сечения сердечника катушки, N — число витков катушки.

Наконец, было решено получить значение остаточной намагниченности катушки — намагниченности, которую имеет ферромагнитный материал при напряженности поля, равной нулю. Строго говоря, намагниченность не является тем же самым, что и индукция, однако отличаются эти величины лишь постоянным коэффициентом, поэтому отождествим эти величины и обозначим остаточную намагниченность как B_r .

Аналогичным образом можно определить и коэрцитивную силу (значение напряженности магнитного поля, необходимое для полного размагничивания объекта) как напряженность поля H_r при индукции, равной нулю.

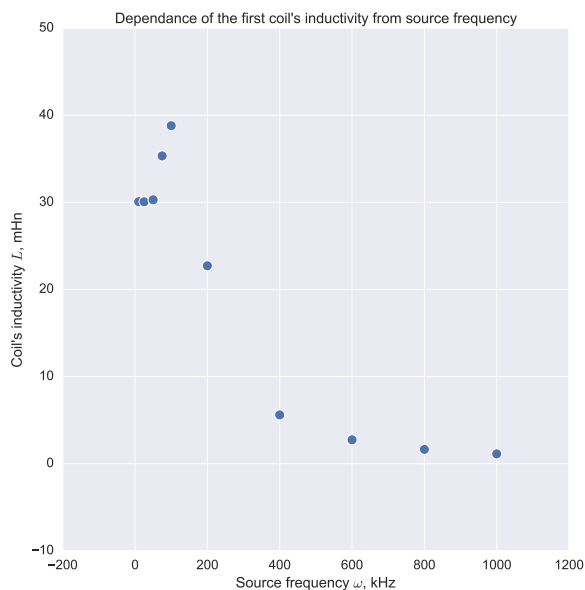
3. Выполнение работы

3.1. Определение характеристик катушки

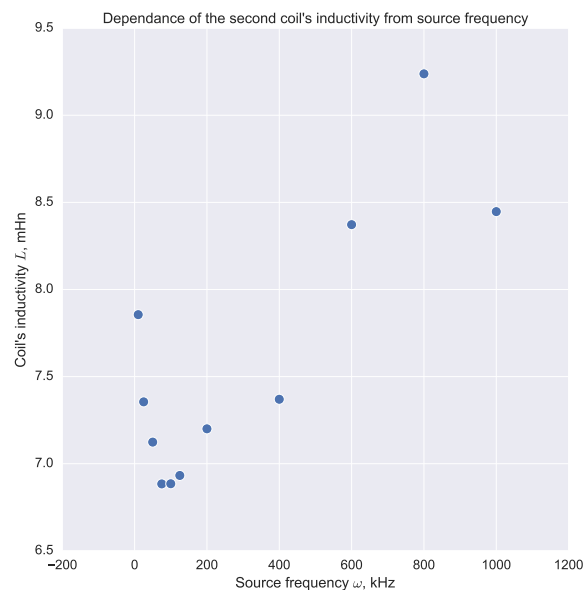
Сперва нами было создано две катушки с сердечниками различных размеров (однако, оба из них были ферритовые). Данные об этих катушках приведены ниже.

Параметр	Первая катушка	Вторая катушка
Число витков	30	36
Высота сердечника, мм	12 ± 0.2	7 ± 0.2
Толщина сердечника, мм	8.5 ± 0.2	7 ± 0.2
Внешний диаметр сердечника, мм	45 ± 0.2	38 ± 0.2
Средний диаметр сердечника, мм	36.5 ± 0.2	31 ± 0.2
Длина сердечника, мм	114.67 ± 0.2	97.39 ± 0.2

На основании полученных данных с помощью формулы (1) были получены зависимости индуктивностей катушек от частоты колебаний источника, представленные на рисунках 3(a) и 3(b) соответственно.



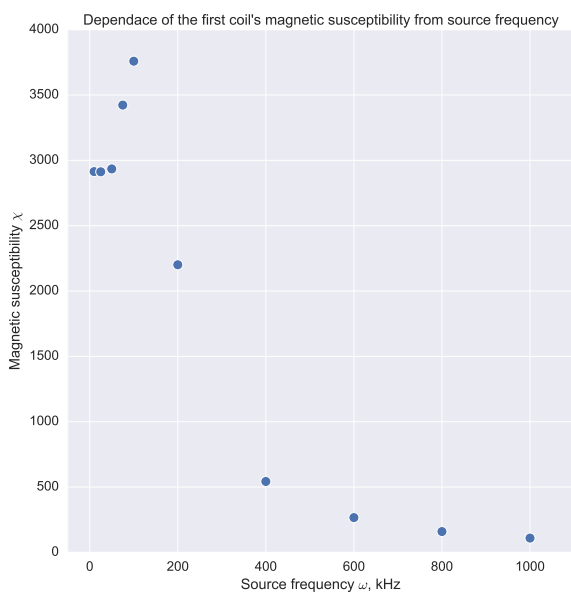
(a)



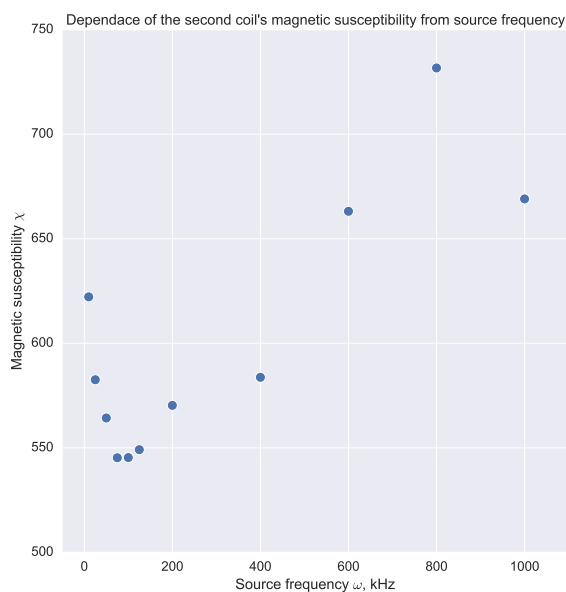
(b)

Рис. 3. Зависимость индуктивности катушки 1 (a) и катушки 2 (b) от частоты источника

Кроме того, зная индуктивность, возможно построить и зависимость магнитной восприимчивости материала сердечника, воспользовавшись формулой 2. Полученные зависимости отображены на рисунках 4(a) и 4(b).



(a)

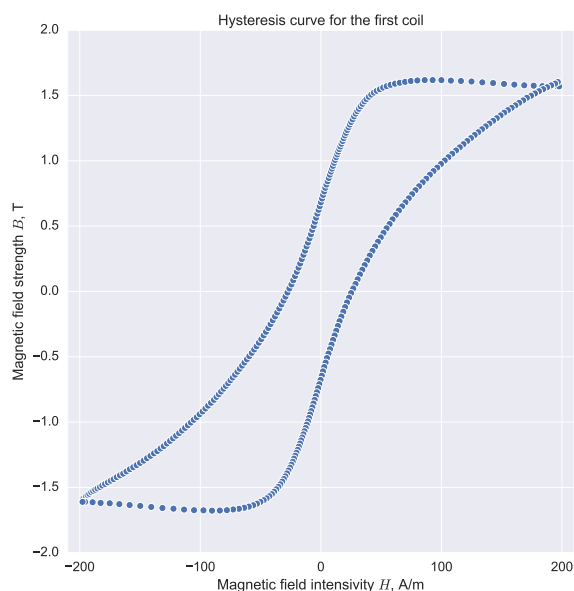


(b)

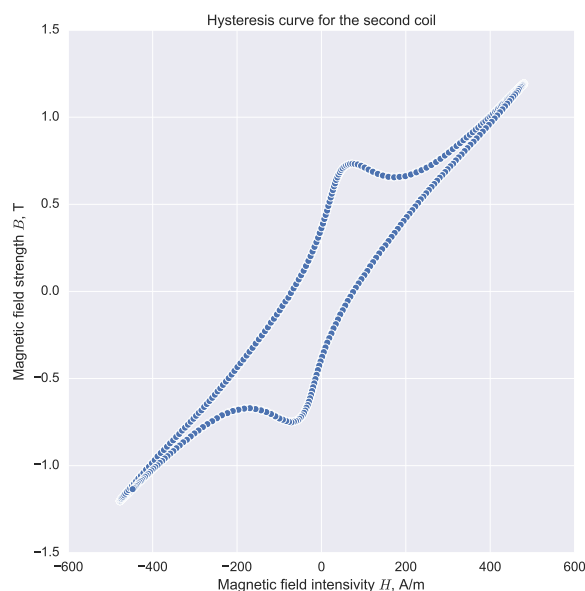
Рис. 4. Зависимость магнитной проницаемости катушек 1 (a) и 2 (b) от частоты источника

3.2. Работа с наблюдаемой петлей магнитного гистерезиса

С помощью схемы, представленной на рисунке 2, а также формул (6) и (3) для каждой из катушек была получена петля магнитного гистерезиса. Петли представлены на рисунках 5(a) и 5(b).



(a)



(b)

Рис. 5. Петли магнитного гистерезиса первой (a) и второй (b) катушек.

На основании изложенной теории было также установлено, что для первой катушки остаточная намагниченность равна $B_{r1} = 0.68 \pm 0.04$ Тл, для второй катушки $B_{r2} = 0.35 \pm 0.031$ Тл. Коэрцитивные силы оказались равны $H_{r1} = 24.4 \pm 0.53$ А/м и $H_{r2} = 87.4 \pm 0.5$ А/м.

4. Заключение

- 1) В ходе работы было установлено, что для небольших частот индуктивность катушек равна соответственно 30 мГн и 70 мГн.
- 2) Для одной из катушек также получилось пронаблюдать т.н. кривую Столетова.
- 3) Удалось пронаблюдать петлю гистерезиса
- 4) Была определена остаточная намагниченность, равная $B_{r1} = 0.68 \pm 0.04$ Тл и $B_{r2} = 0.35 \pm 0.031$ Тл для первой и второй катушек соответственно.
- 5) Была определена коэрцитивная сила, равная $H_{r1} = 24.4 \pm 0.53$ А/м и $H_{r2} = 87.4 \pm 0.5$ А/м для первой и второй катушек соответственно.