



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

## **Практикум**

Лабораторная работа № Э19  
«Определение индуктивности катушки»  
по дисциплине

### **«Физика»**

Авторы  
Кудря А. П.,  
Жданова Т. П.,  
Лемешко Г. Ф.,  
Лещёва О. А.,  
Пруцакова Н. В.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Указания содержат краткую теорию переменного тока в цепи, содержащую катушку индуктивности, и методику определения индуктивности катушки методом вольтамперметра.

Методические указания предназначены для студентов инженерных специальностей всех форм обучения, в программу учебного курса которых входит выполнение лабораторных работ по физике (раздел «Электричество и магнетизм»).

## Авторы

ст. преподаватель кафедры «Физика»  
Кудря А.П.,  
к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»  
Жданова Т.П.,  
к.ф.-м.н., профессор кафедры «Физика»  
Лемешко Г.Ф.,  
доцент кафедры «Физика» Лещева О.А.,  
к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»  
Пруцакова Н.В.



## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Теоретическая часть .....</b>	<b>4</b>
<b>Порядок выполнения работы .....</b>	<b>8</b>
<b>Контрольные вопросы .....</b>	<b>11</b>
<b>Литература.....</b>	<b>11</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: 1. Определить индуктивность катушки без сердечника и со стальным сердечником.

2. Найти магнитную проницаемость стального сердечника.

Оборудование: Источники постоянного и переменного тока, амперметр, вольтметр, реостат, ключ, катушка индуктивности, соединительные провода, стальной сердечник.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

**Электромагнитная индукция** – явление возникновения индукционного тока  $I_i$  в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока  $\Phi$  через площадь, ограниченную этим контуром.

Если в контуре протекает ток  $I_i$ , значит в нем действует электродвижущая сила, которая получила название *ЭДС электромагнитной индукции*.

**Закон Фарадея.** ЭДС электромагнитной индукции в замкнутом контуре равна скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром, взятой со знаком «минус»,

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Знак «минус» следует из закона сохранения энергии и соответствует **правилу Ленца**: индукционный ток всегда направлен так, чтобы своим магнитным полем противодействовать причине, его вызвавшей.

**Магнитный поток** через произвольную поверхность равен

$$\Phi = \int_S B_n dS.$$

Для однородного поля через плоскую поверхность

$$\Phi = B_n S,$$

где  $B_n = B \cos \alpha$ ,  $\alpha$  – угол между направлениями вектора магнитной индукции и нормалью к площадке.

Вокруг каждого проводника с током существует магнитное поле. Поэтому с проводящим контуром, по которому протека-

ет ток, всегда сцеплен некоторый магнитный поток, который пропорционален силе тока, текущего по контуру,  $\Phi \sim I$ :

$$\Phi = L \cdot I,$$

где  $L$  - коэффициент пропорциональности, называемый *индуктивностью контура*, которая зависит от размеров, формы контура и магнитной проницаемости среды  $\mu$ .

*Магнитная проницаемость*  $\mu$  показывает, во сколько раз индукция магнитного поля в веществе больше (или меньше), чем в вакууме.

Если контур не деформируется и  $\mu$  не изменяется,  $L = const$ .

Индуктивность соленоида (катушки):

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2}{l} S,$$

где  $S$  - площадь поперечного сечения соленоида,  $l$  - длина соленоида,  $N$  - полное число витков,  $\mu$  - магнитная проницаемость сердечника. Очевидно, что без сердечника ( $\mu = 1$ ) индуктивность  $L_0 = L / \mu$ .

**Самоиндукция** - явление возникновения индукционного тока  $I_i$  в замкнутом проводящем контуре при изменении силы тока в этом контуре.

ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения силы тока в контуре

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

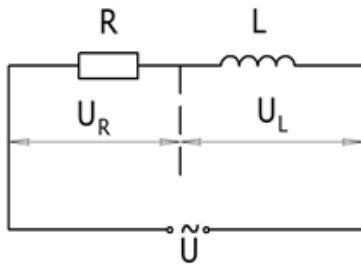


Рис. 1

Реальная катушка, обладающая активным сопротивлением  $R$  и индуктивностью  $L$ , в цепи переменного тока соответствует последовательно включенным  $R$  и  $L$  (рис. 1).

Пусть ток в цепи изменяется по гармоническому закону

$$I = I_0 \sin(\omega t), \quad (2)$$

где  $I_0$  - амплитудное значение силы тока,  $\omega$  - циклическая частота переменного тока.

Напряжение на резисторе определяется законом Ома:

$$U_R = IR = I_0 R \sin \omega t = U_{0R} \sin \omega t, \quad (3)$$

где  $U_{0R} = I_0 R$  - амплитудное значение напряжения на резисторе. Сравнивая (2) и (3), заключаем, что напряжение и сила тока на резисторе изменяются в одинаковой фазе (синфазно).

При протекании переменного тока через катушку индуктивности  $L$  в ней возникнет ЭДС самоиндукции, определяемая выражением (1). Тогда закон Ома для участка цепи, содержащего катушку  $L$ , будет иметь вид:

$$U_L - L \frac{dI}{dt} = 0,$$

где  $U_L$  - напряжение на катушке индуктивности.

Отсюда имеем

$$U_L = L \frac{dI}{dt}$$

и, учитывая (2), получаем

$$U_L = L\omega I_0 \cos \omega t = U_{0L} \sin(\omega t + \pi/2), \quad (4)$$

где  $U_{0L} = L\omega I_0$  - амплитудное значение напряжения на катушке, а  $\omega L = X_L$  называют **реактивным индуктивным** сопротивлением.

Сравнивая (2) и (4), заключаем, что напряжение на катушке индуктивности опережает ток на  $\pi/2$ .

Общее напряжение на участке  $R - L$  цепи имеет вид:

$$U = U_R + U_L = U_{0R} \sin \omega t + U_{0L} \sin(\omega t + \pi/2).$$

Соотношения между переменными токами и напряжениями делают особенно наглядными, если изображать их с помощью векторов.

Выберем ось токов и отложим на ней амплитудные значения силы тока

$I_0$  и напряжений  $U_{0R}$  и  $U_{0L}$  (рис. 2).

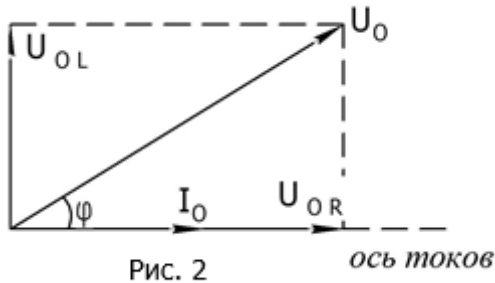


Рис. 2

Из диаграммы следует, что:

$$U_0^2 = U_{0R}^2 + U_{0L}^2 = (I_0 R)^2 + (I_0 \omega L)^2 = I_0^2 (R^2 + \omega^2 L^2),$$

где  $U_0$  - амплитудное значение результирующего напряжения.

Откуда амплитуда силы тока имеет значение

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}.$$

Величина

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (5)$$

называется полным сопротивлением цепи катушки и активного сопротивления. Угол  $\varphi$  (рис. 2) дает разность фаз между напряжением  $U$  и силой тока  $I$ .

Из выражения (5) получаем **ИНДУКТИВНОСТЬ катушки**

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega} = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi \nu}, \quad (6)$$

где  $\nu = 50$  Гц – частота переменного тока.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Задание 1. Определение активного сопротивления катушки без сердечника

1. Собрать цепь по схеме, изображенной на рис. 3, и подключить к источнику **постоянного** напряжения.
2. Определить цену деления амперметра  $c_A$  и вольтметра  $c_V$ , записать в таблицу 1.
3. Установить по заданию преобразователя первое значение силы тока, заметить при этом соответствующее значение напряжения, записать показания амперметра  $c_V$  и вольтметра  $n_V$  в делениях в таблицу 1.

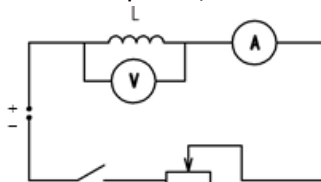


Рис. 3

4. Изменяя ток с помощью реостата, измерить еще два значения напряжения, записать показания приборов в делениях в таблицу.
5. Вычислить значения силы тока и напряжения соответственно по формулам:

$$I = c_A \cdot n_A \qquad U = c_V \cdot n_V .$$

6. Вычислить активное сопротивление катушки по формуле

$$R = \frac{U}{I} \text{ для каждого значения силы тока } I .$$

7. Вычислить среднее значение  $\langle R \rangle$ , определить абсолютную погрешность  $\Delta R$  и среднее значение  $\langle \Delta R \rangle$ .
8. Определить относительную погрешность  $\delta R$  по формуле

$$\delta R = \frac{\langle \Delta R \rangle}{\langle R \rangle} 100\% , \text{ результаты записать в табл. 1.}$$

9. **Вставить стальной сердечник в катушку** при тех же значениях напряжения и убедиться, что показания амперметра не зависят от наличия сердечника (активное сопротивление катушки не зависит от наличия сердечника), однако при внесении или удалении сердечника показания амперметра изменяются. Сделать выводы, как и почему изменяются в этом случае



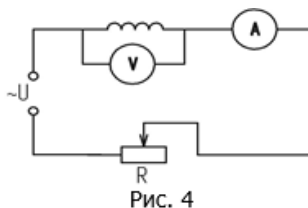
показания амперметра.

Таблица 1

$c_A =$			$c_V =$				
№	$n_A$	$I$	$n_V$	$U$	$R$	$\Delta R$	$\delta R$
	-	A	-	B	Ом	Ом	%
1							X
2							
3							
Средние значения							

**Задание 2.** *Определение полного сопротивления цепи катушки без сердечника и вычисление индуктивности  $L_0$*

1. Собрать цепь по схеме, изображенной на рис. 4, и подключить к источнику **переменного** напряжения.



2. Определить цену деления амперметра  $c_A$  и вольтметра  $c_V$ ; записать в таблицу 2.
3. Установить по заданию преподавателя первое значение силы тока, заметить при этом соответствующее значение напряжения, записать показания амперметра  $n_A$  и вольтметра  $n_V$  в делениях в таблицу 2.
4. Изменяя ток с помощью реостата, измерить еще два значения напряжения, записать показания приборов в делениях в таблицу.
5. Вычислить значения силы тока и напряжения соответственно по формулам:

$$I = c_A \cdot n_A, \quad U = c_V \cdot n_V.$$

6. Вычислить полное сопротивление катушки по формуле

$$Z = \frac{U}{I} \text{ для каждого значения силы тока } I.$$

7. Вычислить среднее значение  $\langle Z \rangle$ , определить абсолютную погрешность  $\Delta Z$  и среднее значение  $\langle \Delta Z \rangle$ .
8. Вычислить относительную погрешность полного сопротивления катушки по формуле  $\delta Z = \frac{\langle \Delta Z \rangle}{\langle Z \rangle} 100\%$ , результаты записать в таблицу 2.
9. Используя найденные значения  $\langle R \rangle$  из таблицы 1,  $Z$  из таблицы 2 и значение частоты  $\nu = 50$  Гц, определить индуктивность катушки  $L_0$  по формуле (6) для каждого значения  $Z$ .
10. Вычислить среднее значение  $\langle L_0 \rangle$ , определить абсолютную погрешность  $\Delta L_0$  и ее среднее значение  $\langle \Delta L_0 \rangle$ .
11. Вычислить относительную погрешность индуктивности по формуле  $\delta L_0 = \frac{\langle \Delta L_0 \rangle}{\langle L_0 \rangle} 100\%$ , результаты записать в таблицу 2.

Таблица 2

$\mu = 1$		$c_A =$			$c_V =$					
№	$n_A$	$I$	$n_V$	$U$	$Z$	$\Delta Z$	$\delta Z$	$L_0$	$\Delta L_0$	$\delta L_0$
-	-	A	-	B	Ом	Ом	%	Гн	Гн	%
1							X			X
2										
3										
Средние значения										

**Задание 3.** *Определение полного сопротивления цепи катушки с сердечником, вычисление индуктивности  $L$*

1. Использовать схему, изображенную на рис. 4.
2. Вставить внутрь катушки стальной сердечник.
3. Повторить пункты 2-11 задания 2.

- Результаты занести в таблицу 3.
- Вычислить магнитную проницаемость стального сердечника по формуле

$$\mu = \frac{L}{L_0}$$

Таблица 3

		$c_A =$				$c_V =$				
№	$n_A$	$I$	$n_V$	$U$	$Z$	$\Delta Z$	$\delta Z$	$L$	$\Delta L$	$\delta L$
-	-	$A$	-	$B$	$Ом$	$Ом$	%	$Гн$	$Гн$	%
1							X			X
2										
3										
Средние значения										

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- В чем состоит явление электромагнитной индукции?
- В чем состоит явление самоиндукции?
- Запишите основной закон электромагнитной индукции.
- Запишите формулу для эдс самоиндукции.
- Что такое индуктивность, и от каких параметров она зависит?
- Сформулируйте правило Ленца.
- Что называется магнитной проницаемостью?
- Напишите формулу полного сопротивления цепи, содержащей катушку индуктивности.
- Объясните, в какую сторону и почему изменятся показания амперметра, если при неизменном напряжении в катушку внести стальной сердечник?
- Изобразите векторную диаграмму и с ее помощью определите сдвиг по фазе между током в  $R - L$  цепи и напряжением на ее концах.
- Сформулируйте закон Ома для цепи переменного тока, содержащей  $R - L$  – участка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М.: Высш. шк., 2004.