

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.07

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ КАТУШКИ

Цель работы

Целью данной работы является изучение явления электромагнитной индукции и его законов, измерение индуктивности катушки, исследование зависимости индуктивности катушки от силы тока, протекающего по ее обмотке, а также индуктивности катушки, ее полного и индуктивного сопротивлений от частоты переменного тока.

Краткая теория

Всякий контур, по которому течет ток, пронизывается магнитным полем, созданным этим током. Если сила тока в контуре меняется, то изменяется и сцепленный с контуром магнитный поток, поэтому вследствие явления электромагнитной индукции в контуре возникает ЭДС. Возникновение ЭДС в контуре при изменении силы тока в нем называется самоиндукцией. В соответствии с законом Фарадея величина ЭДС индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего контур, то есть,

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (2.07.1)$$

Магнитный поток, создаваемый током, протекающим в контуре, называется потоком самоиндукции Φ_s . Поток самоиндукции пропорционален индукции магнитного поля, создаваемого этим током, которая, в свою очередь, пропорциональна величине силы тока в контуре. Поэтому магнитный поток самоиндукции пропорционален величине силы тока

$$\Phi_s = L \cdot I, \quad (2.07.2)$$

где L – индуктивность контура.

Индуктивность контура – это скалярная физическая величина, характеризующая способность контура создавать поток самоиндукции и зависящая от его формы, размеров и магнитной проницаемости среды. Из (2.07.2) следует, что индуктивность контура измеряется величиной магнитного потока, сцепленного с

контуром, при силе тока в нем равной 1 А. За единицу измерения индуктивности в системе СИ принимается 1 Гн – это индуктивность такого контура, с которым сцеплен магнитный поток в 1 Вб при силе тока в контуре, равной 1 А.

При неизменной индуктивности закон Фарадея для самоиндукции выглядит следующим образом:

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}, \quad (2.07.3)$$

т. е. ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения силы тока в контуре. В соответствии с законом Фарадея можно дать другое определение индуктивности. Индуктивность определяется величиной ЭДС, возникающей в контуре, при изменении в нем силы тока на 1 А за 1 с. Тогда, согласно (2.07.3), 1 Гн – это индуктивность такого контура, в котором индуцируется ЭДС, равная 1 В, при изменении в нем силы тока на 1 А за 1 с. Знак минус в формуле (2.07.3) отражает правило Ленца, согласно которому самоиндукция противодействует всякому изменению силы тока в контуре и представляет собой аналогию с инерцией в механике.

В электрической цепи наличие индуктивности приводит к возникновению добавочного индуктивного сопротивления катушки переменному току

$$X_L = 2\pi \nu L, \quad (2.07.4)$$

где ν – частота переменного тока.

Модуль полного сопротивления Z катушки переменному току определяется по закону Ома

$$Z = \frac{U}{I}. \quad (2.07.5)$$

где U и I – эффективные значения напряжения и силы тока в катушке.

Полное сопротивление катушки Z складывается из сопротивления катушки в цепи постоянного тока R (омического или активного сопротивления) и индуктивного сопротивления X_L в соответствии с формулой:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}. \quad (2.07.6)$$

или, подставив X_L ,

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi\nu L)^2}, \quad (2.07.7)$$

из которого можно выразить индуктивность катушки L

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi\nu} = \frac{1}{2\pi\nu} \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}. \quad (2.07.8)$$

Соотношение (2.07.8) лежит в основе опыта по определению индуктивности. Для того, чтобы определить индуктивность, необходимо измерить частоту переменного тока, действующее значение силы переменного тока, протекающего через катушку, действующее значения напряжения на катушке и омическое сопротивление катушки.

Индуктивность длинного соленоида с сердечником может быть рассчитана по формуле

$$L_C = \mu\mu_0 n^2 V, \quad (2.07.9)$$

где μ – магнитная проницаемость сердечника; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; n – число витков, приходящихся на единицу длины катушки; V – объем катушки.

Измеряя индуктивность катушки, можно определять магнитную проницаемость материала, из которого изготовлен сердечник. В частности, таким способом можно определять магнитную проницаемость горных пород. Определив индуктивность катушки с сердечником из исследуемой породы L_C и без сердечника L_0 , по отношению этих индуктивностей L_C/L_0 определяют μ . Определение магнитной проницаемости горных пород и минералов необходимо для изучения вопросов, связанных с установлением качества железных руд и железистых пород, магнитным обогащением полезных ископаемых, с разведкой рудных тел, исследованием трещиноватости массива горных пород.

Выполнение работы

Необходимые приборы: лабораторный стенд, внутри которого смонтированы все элементы схемы; генератор периодических сигналов; цифровой вольтметр. Рабочая схема опыта показана на рис. 18 и на панели стенда.

Порядок выполнения работы

Для того, чтобы определить индуктивность катушки по формуле (2.07.8), необходимо знать четыре параметра: R (омическое сопротивление катушки), ν (частоту переменного тока), U (напряжение на катушке) и I (силу тока в катушке).

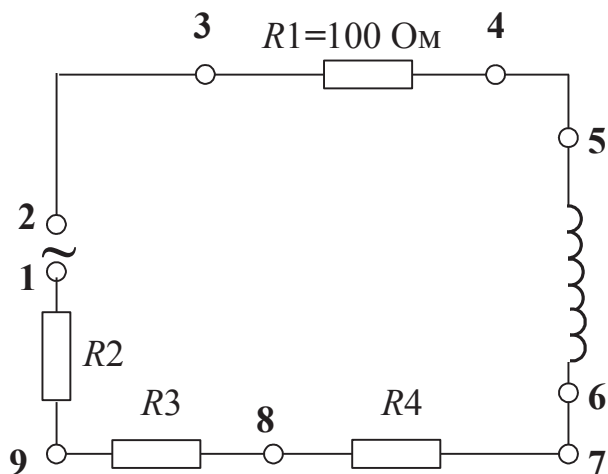


Рис. 18. Рабочая схема опыта

универсальный вольтметр к клеммам 5 – 6. Переключатель "**РОД РАБОТЫ**" нужно установить в положение "**R**". Переключатель пределов измерения должен находиться в положении 1. Запишите в табл. 7.1 значение омического сопротивления катушки, снятое с табло вольтметра.

3. Подготовьте вольтметр к последующим измерениям, для чего переведите его в режим измерения эффективных значений переменных напряжений (переключатель "**РОД РАБОТЫ**" установите в положение \tilde{U}).

4. Подключите к клеммам 1 – 2 генератор сигналов (регулятор уровня сигнала должен быть в крайнем правом положении). Установите вращением ручки "**ЧАСТОТА**" частоту генерируемого сигнала **10** кГц. Запишите ее в табл. 7.1.

5. Силу тока в катушке определяем по закону Ома для участка цепи 3 – 4. Для этого необходимо:

а) измерить **НАПРЯЖЕНИЕ НА РЕЗИСТОРЕ R_1** , включенном последовательно с катушкой. Для этого подключаем вольтметр к клеммам 3 – 4, а переключатель «**ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЙ**» переводим в положение 1;

1. Подготовьте к работе универсальный вольтметр и генератор периодических сигналов **Л-31** в соответствии с инструкциями по эксплуатации, находящимися на лабораторном столе.

2. Определите омическое сопротивление обмотки катушки R . Для этого подключите

б) поскольку сопротивление R_1 равно 100 Ом, по закону Ома величина силы тока в цепи будет равна величине напряжения, деленной на 100:

$$I = \frac{U_{R_1}}{R} = \frac{U_{R_1}}{100}.$$

Результат запишите в табл. 7.1.

6. Для измерения напряжения на катушке подключаем вольтметр к клеммам 5 – 6, при этом переключатель «**ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЙ**» установить в положение **10**. Результат запишите в табл. 7.1.

7. Для второго и третьего опыта измените значения силы тока в цепи. Для второго опыта исключаем из цепи сопротивления R_2 и R_3 , для чего подключите генератор к клеммам 2 – 8. Повторите пункты 5, 6.

8. Для третьего опыта исключите все три сопротивления R_2 , R_3 и R_4 , подключив генератор к клемма 2 – 7. Повторите пункты 5, 6.

По данным измерений рассчитайте три значения индуктивности катушки по формуле (2.07.8), подставляя значение частоты генератора 10 кГц.

Таблица 7.1

Результаты измерений

Номер опыта	U , В	I , мА	L , Гн
1			
2			
3			
Частота переменного тока $\nu = 10$ кГц			
Омическое сопротивление катушки $R =$			

В работе также исследуется зависимость индуктивности катушки L , ее индуктивного X_L и модуля полного сопротивлений Z от частоты переменного тока при неизменной величине силы тока.

9. Подключите генератор к клеммам 1 - 2 и установите частоту $\nu = 20$ кГц

10. Измерьте напряжение и силу тока согласно пунктам 5,6. Запишите в табл. 7.2.

11. Установите следующую частоту, приведенную в табл. 7.2, $\nu = 10$ кГц.

12. Подключите вольтметр, как указано в п. 5. РУЧКОЙ ГЕНЕРАТОРА «УРОВЕНЬ» ДОБЕЙТЕСЬ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ СИЛЫ ТОКА В ЦЕПИ (какой был при $\nu = 20$ кГц).

13. Измерьте напряжение на катушке согласно пункту 6.

14. Опыт повторите при других значениях частоты ν , приведенных в табл. 7.2, КАЖДЫЙ РАЗ УСТАНОВЛИВАЯ С ПОМОЩЬЮ РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ СИЛЫ ТОКА.

ПРИМЕЧАНИЕ: Чтобы установить частоту 1 кГц, необходимо нажать на генераторе кнопку “множитель 0,1” и поставить значение частоты 10 кГц.

Таблица 7.2

Результаты измерений

Номер опыта	ν , кГц	I , мА	U , В	Z , Ом	X_L , Ом	L , Гн	ΔL , Гн
1	20						
2	10						
3	5						
4	2						
5	1						
Средние значения						\bar{L}	$\Delta \bar{L}$

15. Рассчитайте в каждом случае величину индуктивности, индуктивного и полного сопротивлений катушки. По результатам измерений постройте графики зависимости полного и индуктивного сопротивлений от частоты.

Вычислите среднее значение индуктивности и среднюю абсолютную погрешность. Результат запишите в виде:

$$\bar{L} = \bar{L} \pm \Delta \bar{L}. \quad (2.07.9)$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается явление самоиндукции?
2. Что называется индуктивностью и в каких единицах она измеряется?
3. От чего зависит индуктивность катушки?
4. Запишите формулы для индуктивного и модуля полного сопротивлений катушки.
5. Выведите расчетную формулу для определения индуктивности катушки.
6. Как зависит модуль полного сопротивления катушки от частоты изменения тока в ней?
7. Какое влияние оказывает наличие сердечника в катушке на величину силы тока в ней при переменном и постоянном токах?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. Т. 2. М.: Высшая школа, 1977. 376 с.

Зисман Г. А., Тодес О. М. Курс общей физики. Т. 2. М.: Наука, 1974. 336 с.