

4198

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ**

Методические указания
к лабораторной работе

Рязань 2009

УДК 539.1

Изучение явления электромагнитной индукции: методические указания к лабораторной работе / Рязан. гос. радиотехн. ун-т.; сост.: М.В.Дубков, Б.А.Гузовский. Рязань, 2009. 8 с.

Изложены основные сведения о явлении электромагнитной индукции, приведены элементы теории возникновения взаимной индукции, порядок выполнения работы.

Предназначены для студентов всех специальностей, изучающих курс «Физика».

Ил. 5. Табл. 1. Библиогр.: 1 назв.

Электромагнитная индукция, самоиндукция, взаимная индукция, э.д.с. индукции

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра общей и экспериментальной физики РГРТУ
(зав. кафедрой проф. Б.И.Колотилин)

Исследование контактных явлений

Составители: Д у б к о в Михаил Викторович
Г у з о в с к и й Борис Андреевич

Редактор М.Е. Цветкова

Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать 30.04.09. Формат бумаги 60 × 84 1/16.

Бумага газетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,5.

Уч.-изд. л. 0,5. Тираж 200 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

Цель работы: изучение явления электромагнитной индукции и определение индуктивности и коэффициентов взаимной индукции.

Приборы и принадлежности: генератор сигналов ГСФ-1, мультиметр В7-22, осциллограф, катушки индуктивности, набор соединительных проводов.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ

В замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром, возникает электродвижущая сила индукции, определяемая скоростью изменения магнитного потока

$$E_i = - \frac{d \Phi}{d t}, \quad (1)$$

которая приводит к появлению индукционного электрического тока. Это явление называется электромагнитной индукцией.

Направление индукционного тока определяется по правилу Ленца: индукционный ток всегда направлен так, чтобы противодействовать причине, его вызывающей.

Если контур, в котором индуцируется э.д.с., состоит не из одного витка, а из N витков, то, поскольку витки соединяются последовательно, E_i будет равна сумме э.д.с., индуцируемых в каждом из витков в отдельности

$$E_i = - \sum \frac{d \Phi}{d t} = - \frac{d}{d t} \sum \Phi. \quad (2)$$

Величина $\Psi = \sum \Phi$ называется потокосцеплением или полным магнитным потоком. Если поток, пронизывающий каждый из N витков, одинаков, то

$$\Psi = N \cdot \Phi. \quad (3)$$

Э.д.с., индуцируемая в сложном контуре, определяется формулой

$$E_i = - \frac{d \Psi}{d t}. \quad (4)$$

Электрический ток, текущий в любом контуре, создает потокосцепление Ψ , пронизывающее этот контур. При изменении I изменяется также и Ψ , вследствие чего в контуре индуцируется э.д.с. Это явление называется самоиндукцией.

Ток в контуре I и создаваемый им полный магнитный поток Ψ через контур пропорциональны друг другу

$$\Psi = L \cdot I. \quad (5)$$

Коэффициент пропорциональности L между силой тока и полным магнитным потоком называется индуктивностью контура.

При изменениях силы тока в контуре возникает э.д.с. самоиндукции E_s , равная

$$E_s = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{d(L \cdot I)}{dt} = -\left(L \frac{dI}{dt} + I \frac{dL}{dt}\right). \quad (6)$$

В случае отсутствия ферромагнетиков индуктивность жесткого контура при изменении тока остается постоянной и выражение для э.д.с. самоиндукции имеет вид:

$$E_s = -L \frac{dI}{dt}. \quad (7)$$

Взаимной индукцией называется явление возбуждения э.д.с. электромагнитной индукцией в одной электрической цепи при изменении электрического тока в другой цепи или при изменении взаимного расположения этих двух цепей. Возьмем два контура 1 и 2, расположенные близко друг к другу (рис.1).

Если в контуре 1 течет ток силы I_1 , он создает через контур 2 полный магнитный поток $\Psi_2 = L_{21} \cdot I_1$. При изменениях тока I_1 в отсутствие ферромагнетиков в контуре 2 индуцируется э.д.с.

$$E_{i2} = -L_{21} \frac{dI_1}{dt}. \quad (8)$$

Аналогично, при протекании в контуре 2 тока I_2 возникает потокосцепление $\Psi_1 = L_{12} \cdot I_2$. При изменениях тока I_2 в контуре 1 индуцируется э.д.с.

$$E_{i1} = -L_{12} \frac{dI_2}{dt}. \quad (9)$$

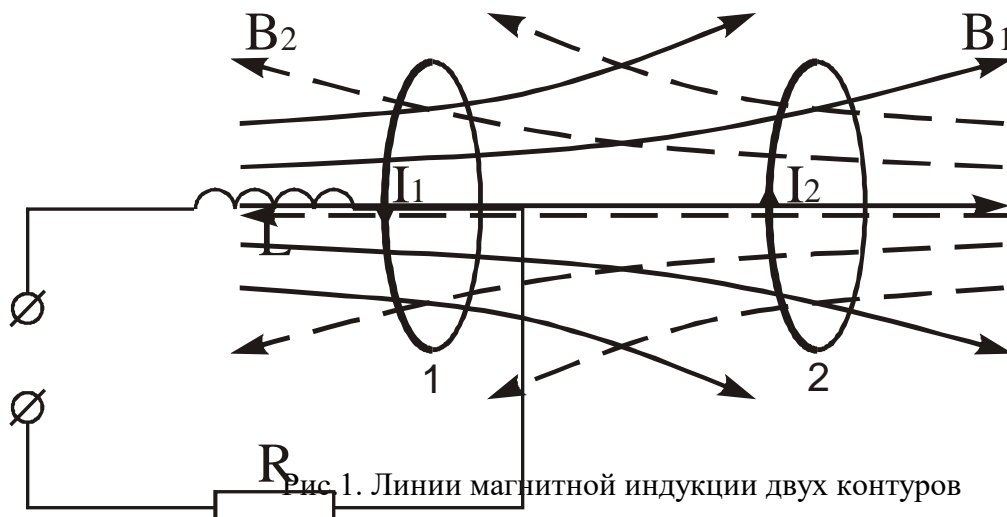


Рис. 1. Линии магнитной индукции двух контуров

Рис. 2. Схема эксперимента

Коэффициенты пропорциональности

L_{12} и L_{21} называются взаимной индуктив-

ностью контуров. Их величина зависит от формы, размеров, а также от магнитной проницаемости окружающей контуры среды.

В отсутствие ферромагнетиков эти коэффициенты всегда равны друг другу

$$L_{12}=L_{21}. \quad (10)$$

Если два контура, имеющих общий магнитный поток, соединить последовательно, то их общая индуктивность зависит от коэффициентов взаимной индукции

$$L=L_1+L_2\pm 2L_{12}. \quad (11)$$

L_1 и L_2 — индуктивности контуров.

Знак L_{12} при этом определяется взаимным расположением контуров. Знак «+» отвечает условию, когда магнитные потоки, создаваемые каждым контуром в отдельности, складываются, а знак «-» соответствует вычитанию создаваемых магнитных потоков.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Измерение индуктивности

Для измерения индуктивности используется установку, включающую в себя (рис.2) последовательно соединенный резистор R, исследуемую катушку индуктивности L и источник напряжения, создающий в цепи переменную э.д.с. с амплитудой U_0 :

$$U=U_0 \sin \omega t. \quad (12)$$

В этом случае амплитудное значение тока в цепи

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{\omega^2 L^2 + R^2}}, \quad (13)$$

где ω — циклическая частота переменного тока.

Амплитудное значение тока в цепи можно найти, если известно амплитудное значение напряжения на резисторе U_{0R} .

$$I_0 = \frac{U_{0R}}{R}. \quad (14)$$

Измеряя эффективное напряжение на резисторе R U_R , связанное с амплитудным значением напряжения $U_{0R} = \sqrt{2} U_R$, находим силу тока в цепи

$$I_0 = \frac{\sqrt{2} U_R}{R}. \quad (15)$$

В этом случае

$$\frac{U_R}{R} = \frac{U}{\sqrt{\omega^2 L^2 + R^2}}. \quad (16)$$

U — эффективное значение э.д.с., действующего в контуре. Из формулы (16) получим:

$$L = \frac{R}{2\pi\nu} \sqrt{\frac{U^2}{U_R^2} - 1}, \quad (17)$$

где ν — частота переменного тока, действующего в контуре: $\omega = 2\pi\nu$.

2. Измерение коэффициентов взаимной индукции

Для измерения коэффициентов взаимной индукции воспользуемся условием, что при линейном изменении тока в одном из контуров во втором наводится э.д.с. взаимной индукции постоянной величины. Для этого подадим на один из контуров пилообразное напряжение U_1 (рис. 3,а).

Во втором контуре в этом случае возникает импульсное напряжение, изображенное на рис. 3,б.

Действительно, на интервале времени от 0 до $\frac{T}{4}$ напряжение U_1 описывается функцией

$$U_1 = \frac{2 \Delta U_1}{T} t. \quad (18)$$

Тогда ток в контуре

$$I_1 = \frac{2 \Delta U_1}{R T} t. \quad (19)$$

R – сопротивление контура. В этом случае

$$U_2 = -L_{21} \frac{dI}{dt} = -\frac{L_{21} 2 \Delta U_1}{R T} = -\frac{L_{21} 2 \Delta U_1 \nu}{R}. \quad (20)$$

Аналогично можно показать, что при убывании напряжения U_1

$$U_2 = \frac{2 L_{21} \Delta U_1 \nu}{R}. \quad (21)$$

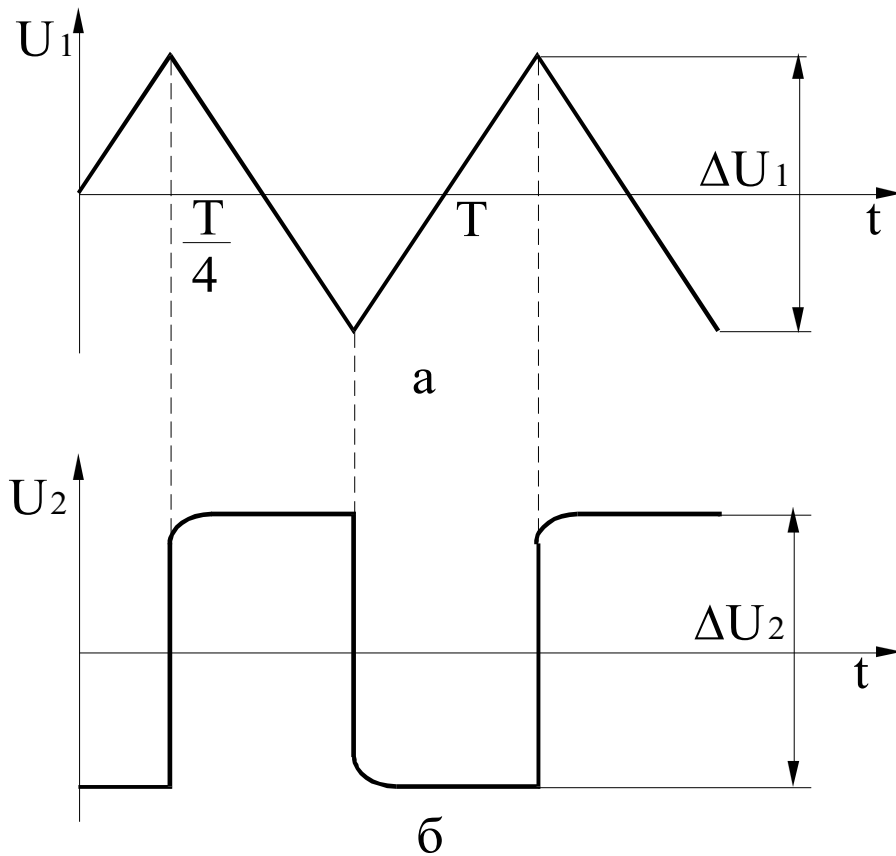


Рис. 3. Форма напряжений

Тогда

$$L_{21} = \frac{R \Delta U_2}{4 \nu \Delta U_1}. \quad (22)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Порядок выполнения работы смотрите в отдельном файле

Задание 1. Определение индуктивности катушек

1. Собрать схему, изображенную на рис. 4, для одной из катушек. В схеме $R=100$ Ом.
2. Включить генератор ГСФ-1 и цифровой мультиметр Р7-22 в режиме вольтметра. Подать на катушку гармоническое напряжение, установив на генераторе частоту 1 кГц.

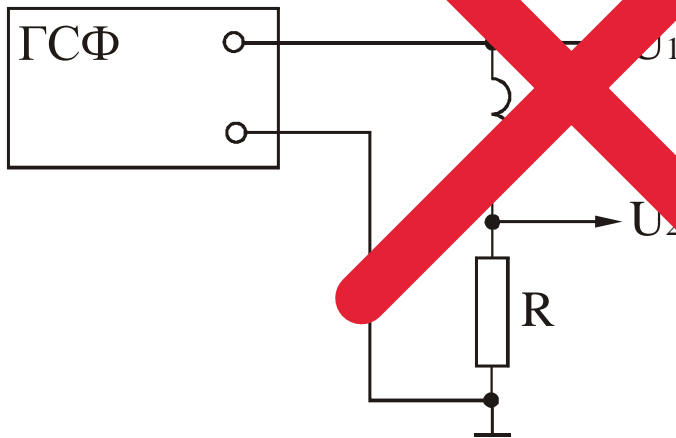


Рис.4. Схема экспериментальной установки к заданию 1

3. Измерить значение напряжений U и U_R . Результаты измерений занести в таблицу.
4. Рассчитать по формуле (15) значение индуктивности для данной катушки.
5. Повторить измерения для второй катушки.
6. Установить катушки на расстоянии 70 мм и соединить последовательно. Измерить индуктивность системы при различных взаимных ориентациях катушек друг относительно друга (токи в катушках либо совпадают, либо не совпадают по направлению). Результаты измерений занести в таблицу.

7. Повторить п.6, установив катушки на расстоянии 140 мм друг от друга.

Таблица

	Одиночные катушки		Катушки на расстоянии 70 мм		Катушки на расстоянии 140 мм	
	Катушка 1	Катушка 2	+L ₁₂	-L ₁₂	+L ₁₂	-L ₁₂
U						
U_R						

L						
-----	--	--	--	--	--	--

Задание 2. Определение коэффициентов взаимной индукции

1. Собрать схему, изображенную на рис. 5. В схеме $R=100$ Ом.
2. Включить генератор и подать на катушку L_1 пилообразное напряжение частотой 200 Гц.
3. Включить осциллограф.
4. Зарисовать форму напряжения на резисторе R и определить размах ΔU_1 пилообразного напряжения.
5. Подключить осциллограф к катушке L_2 .
6. Определить размах ΔU_2 индуцированной э.д.с.
7. Рассчитать коэффициент взаимной индукции по формуле (22).
8. Проверить выполнение соотношения (11).

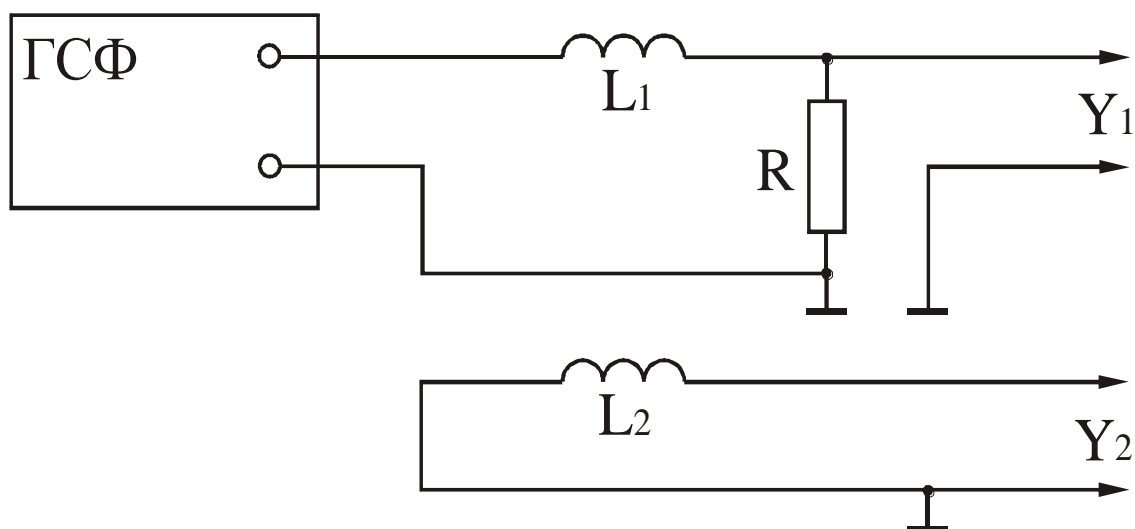


Рис. 5. Схема экспериментальной установки к заданию 2

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Объяснить явление электромагнитной индукции.
2. Сформулировать правило Ленца.
3. Дать определение индуктивности.
4. Объяснить явление возникновения взаимной индукции.

5. Объяснить методику измерения коэффициента взаимной индукции.

Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1983. Т II. С. 181-195.