

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ
ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ**

Методические указания

**к лабораторной работе № 54
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ

Методические указания
к лабораторной работе № 54
по дисциплине «Физика»

Уфа 2012

Составитель В.Р. Строкина

УДК
ББК

Методические указания к лабораторной работе № 54 по дисциплине «Физика» «Изучение явления взаимной индукции» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.Р. Строкина – Уфа, 2012, – 12 с.

Знакомят студентов с явлением электромагнитной индукции, самоиндукции, взаимной индукции, а также с одним из методов определения взаимной индуктивности контуров.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика».

Табл. 2. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Тучков С.В.,
канд.техн. наук, доц. Крайнова Т.М.

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2012

Составитель СТРОКИНА Венера Рамазановна

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ

Методические указания

к лабораторной работе № 54
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2012. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.
Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отт. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.
Тираж 300 экз. Заказ №
ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

Содержание

Введение	4
1. Цель работы.....	4
2. Задачи.....	4
3. Теоретическая часть	5
3.1. Явление электромагнитной индукции	5
3.2. Явление взаимной индукции	6
4. Экспериментальная часть.....	8
4.1. Приборы и оборудование	8
4.2. Теория метода	8
5. Требования по технике безопасности	9
6. Задания.....	9
7. Методика выполнения заданий	10
7.1. Измерение взаимной индуктивности контуров M_{12} и M_{21} и исследование ее зависимости от взаимного расположения катушек.....	10
7.2. Измерение M_{21} при различных частотах питающего напряжения	11
8. Контрольные вопросы	11
9. Требования к содержанию и оформлению отчета	11
10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы .	12
Список литературы	12

Лабораторная работа № 54

Изучение явления взаимной индукции

Введение

Открытие Фарадеем явления электромагнитной индукции имело огромное научное и практическое значение. Открытием этого явления была окончательно утверждена взаимная связь между электрическими и магнитными полями. На базе явления электромагнитной индукции были созданы мощные генераторы постоянного и переменного тока, трансформаторы, электрические машины, без которых современное развитие техники было бы невозможным.

В данной лабораторной работе изучается связь между электрическими и магнитными полями двух коаксиально расположенных катушек. Изучение теории метода, выполнение работы позволит студентам глубже понять и усвоить явление электромагнитной индукции и вытекающих из него явлений самоиндукции и взаимной индукции, что, безусловно, поможет им в их дальнейшей профессиональной деятельности.

1. Цель работы

1. Изучение явления электромагнитной индукции, взаимной индукции.
2. Определение взаимной индуктивности двух коаксиально расположенных катушек и исследование ее зависимости от расстояния между центрами катушек.
3. Измерение взаимной индуктивности катушек при различных частотах питающего напряжения.

2. Задачи

1. Усвоение важнейших физических явлений – явления электромагнитной индукции, самоиндукции и взаимной индукции.
2. Освоение одного из методов измерения и исследования взаимной индуктивности двух контуров.
3. Приобретение навыков правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории; обработки и интерпретации результатов эксперимента.

3. Теоретическая часть

3.1. Явление электромагнитной индукции

В 1831 году Фарадей установил, что в замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции сквозь поверхность, ограниченную этим контуром, возникает электрический ток. Это явление было названо электромагнитной индукцией, а возникающий ток индукционным.

Возникновение индукционного тока проводимости свидетельствует о том, что при изменении магнитного потока в контуре появляются сторонние силы. Работа этих сил по переносу единичного положительного заряда получила название электродвижущей силы электромагнитной индукции \mathcal{E}_i .

Дальнейшие исследования индукционного тока в проводящих контурах различной формы и размеров показали, что величина \mathcal{E}_i не зависит от способа изменения магнитного потока Φ , а определяется лишь скоростью его изменения

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (3.1)$$

Знак минус в формуле поставлен в соответствии с правилом Ленца: индукционный ток в контуре всегда направлен так, чтобы препятствовать изменению магнитного потока, вызвавшего этот ток.

Формула (3.1), объединяющая в себе закон Фарадея и правило Ленца, является математическим выражением основного закона электромагнитной индукции.

Если контур, в котором индуцируется ЭДС, состоит из N витков, то \mathcal{E}_i равна сумме ЭДС, индуцируемых в каждом из витков в отдельности

$$\mathcal{E}_i = -\sum_{i=1}^N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \left(\sum_{i=1}^N \Phi_i \right). \quad (3.2)$$

Величина

$$\Psi = \sum_{i=1}^N \Phi_i \quad (3.3)$$

называется потокосцеплением или полным магнитным потоком. Если поток, пронизывающий каждый из витков, одинаков, то

$$\Psi = N\Phi. \quad (3.4)$$

ЭДС, индуцируемая в таком контуре, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_i = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt}. \quad (3.5)$$

Электрический ток I , текущий в любом контуре, создает магнитный поток, сцепленный с этим контуром

$$\Psi = LI, \quad (3.6)$$

где L – индуктивность контура.

Следует отметить, что формула (3.6) правомерна в случае $L = \text{const}$.

При изменении силы тока в контуре изменяется и магнитный поток Ψ , вследствие чего в контуре индуцируется ЭДС самоиндукции, а само явление называется явлением самоиндукции

$$\mathcal{E}_{si} = -\frac{d\Psi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}. \quad (3.7)$$

3.2. Явление взаимной индукции

Явление взаимной индукции заключается в наведении ЭДС индукции во всех проводниках, находящихся вблизи цепи переменного тока.

Рассмотрим два неподвижных контура 1 и 2, расположенных достаточно близко друг от друга (рис. 3.1).

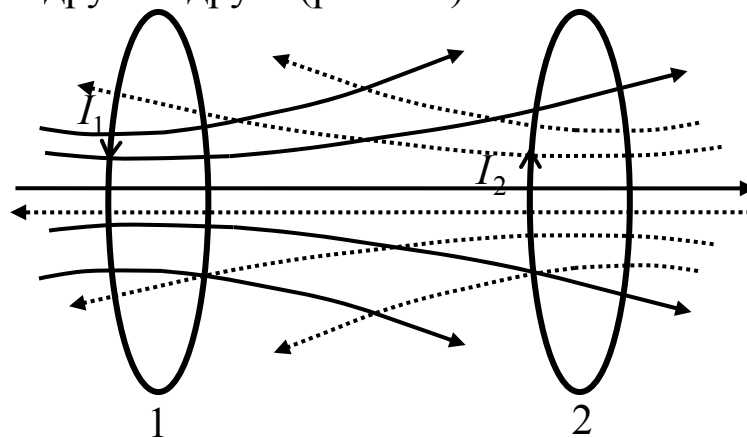


Рис. 3.1

Магнитный поток, создаваемый током I_1 и сцепленный с контуром 2, определяется выражением

$$\Psi_{21} = M_{21} I_1, \quad (3.8)$$

где Ψ_{21} – потокосцепление контура, M_{21} – коэффициент взаимной индукции контуров 1 и 2, который численно равен магнитному потоку через контур 2, создаваемому контуром 1 при силе тока в нем, равном 1 А.

Аналогично при протекании в контуре 2 тока силой I_2 возникает сцепленный с контуром 1 поток

$$\Psi_{12} = M_{12} I_2, \quad (3.9)$$

где Ψ_{12} – потокосцепление контура 1, M_{12} – коэффициент взаимной индукции контуров 1 и 2.

Расчеты, подтверждаемые опытом, показывают, что

$$M_{12} = M_{21}, \quad (3.10)$$

поэтому коэффициенты M_{12} и M_{21} называют взаимной индуктивностью двух контуров.

Взаимная индуктивность зависит от геометрической формы, размеров, взаимного расположения контуров и от магнитной проницаемости окружающей контуры среды. Единица взаимной индуктивности та же, что и для индуктивности – генри (Гн).

Наличие магнитной связи между контурами проявляется в том, что при изменении силы тока в одном из контуров, в другом наводится ЭДС взаимной индукции и возникает индукционный ток.

Из основного закона электромагнитной индукции следует, что

$$\mathcal{E}_{12} = -\frac{d\Psi_{12}}{dt} = -M_{12} \frac{dI_1}{dt}, \quad (3.11)$$

$$\mathcal{E}_{21} = -\frac{d\Psi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}. \quad (3.12)$$

где \mathcal{E}_{12} – ЭДС взаимной индукции, возникающей в контуре 1, а \mathcal{E}_{21} – ЭДС взаимной индукции, возникающей в контуре 2.

4. Экспериментальная часть

4.1. Приборы и оборудование

Схема лабораторной установки представлена на рис. 4.1.

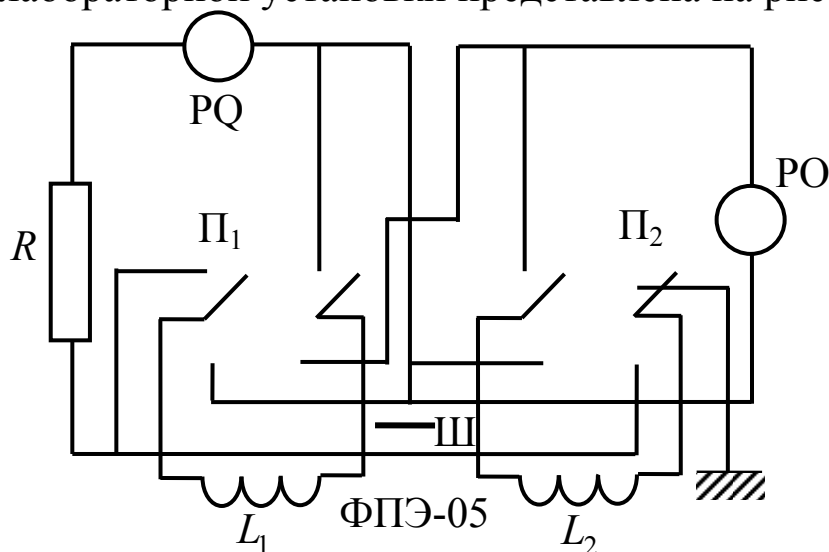


Рис. 4.1

PQ – звуковой генератор, PO – электронный осциллограф, ФПЭ-05 – кассета, L_1 и L_2 – катушки индуктивности на одной оси, Ш – шток со шкалой, показывающий взаимное расположение катушек L_1 и L_2 , Π_1 и Π_2 – переключатели.

4.2. Теория метода

В данной работе определяется взаимная индуктивность между длинной катушкой 1 и короткой катушкой 2, которая надевается на катушку 1 и может перемещаться вдоль ее оси. Питание одной из катушек, например 1, осуществляется от звукового генератора PQ, напряжение которого

$$u = u_0 \cos \omega t \quad (4.1)$$

подается через сопротивление $R = 10^4$ Ом. R выбирается таким образом, чтобы выполнялось неравенство

$$R \gg \sqrt{R_1^2 + L_1^2 \omega^2}, \quad (4.2)$$

где L_1 – индуктивность катушки 1, R_1 – ее активное сопротивление, $\omega = 2\pi\nu$ – частота генератора.

В этом случае ток, протекающий через катушку 1, равен

$$I_1 = \frac{u}{R} = \frac{u_0}{R} \cos \omega t = I_{01} \cos \omega t. \quad (4.3)$$

где I_{01} – амплитудное значение тока в катушке 1.

Переменный ток в катушке 1 создает переменную ЭДС взаимной индукции в катушке 2

$$\mathcal{E}_{21} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt} = -M_{21} \frac{u_0}{R} \omega \sin \omega t. \quad (4.4)$$

Для измерения \mathcal{E}_{21} используется осциллограф.

Выражение, стоящее в формуле (4.4) перед функцией $\sin \omega t$ определяет амплитуду ЭДС взаимной индукции \mathcal{E}_{021} в контуре 2

$$\mathcal{E}_{021} = M_{21} \frac{u_0}{R} \omega = M_{21} \frac{u_0}{R} 2\pi \nu. \quad (4.5)$$

Из формулы (4.5) следует, что взаимная индуктивность контуров M_{21} равна

$$M_{21} = \frac{\mathcal{E}_{021} R}{2\pi \nu u_0}. \quad (4.6)$$

Если поменять местами катушки 1 и 2, то можно определить взаимную индуктивность контуров M_{12}

$$M_{12} = \frac{\mathcal{E}_{012} R}{2\pi \nu u_0}, \quad (4.7)$$

где \mathcal{E}_{012} – амплитуда ЭДС взаимной индукции в катушке 1.

Для перестановки катушек необходимо переключатели Π_1 и Π_2 перебросить в противоположное положение (рис. 4.1).

5. Требования по технике безопасности

Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с заданием и оборудованием.

1. Проверьте заземление лабораторной установки и изоляцию токонесущих проводов. Немедленно сообщите преподавателю о замеченных неисправностях.

2. Не оставляйте без присмотра лабораторную установку, это может привести к несчастному случаю.

3. По окончании работы приведите в порядок свое рабочее место. Обесточьте приборы, отключите стенд.

6. Задания

1. Измерение взаимной индуктивности контуров M_{12} и M_{21} и исследование ее зависимости от взаимного расположения катушек.

2. Измерение M_{21} при различных частотах питающего напряжения.

7. Методика выполнения заданий

7.1. Измерение взаимной индуктивности контуров M_{12} и M_{21} и исследование ее зависимости от взаимного расположения катушек

1. Задать частоту $\nu = 20$ кГц сигнала генератора и напряжение $U_0 = 10$ В (для этого регулятор выходного напряжения поставить на максимум). Подать напряжение на катушку 1 (с помощью переключателя Π_1), а ЭДС катушки 2 – на осциллограф (с помощью переключателя Π_2).

2. Получить на экране осциллографа четкое изображение синусоиды, отражающей характер изменения ЭДС взаимной индукции в катушке 2.

3. Перемещая катушку 1 в противоположное крайнее положение, фиксировать ее координату x через 1 см шкалы штока и измерять в делениях шкалы экрана осциллографа координату y , соответствующую амплитуде ЭДС взаимной индукции в катушке 2. Координата x определяет расстояние между центрами катушек 1 и 2.

4. Перевести полученные значения амплитуды ЭДС в вольты. Для этого значения координаты y умножить на цену деления шкалы осциллографа k_y , устанавливаемую переключателем «V/дел». Таким образом, $\mathcal{E}_{021} = k_y \cdot y$.

5. По формуле (4.6) рассчитать значения M_{21} . Полученные результаты занести в табл. 1.

6. Поменяв местами катушки L_1 и L_2 (с помощью переключателя Π_1 и Π_2), повторить измерения по п.п. 2, 3, 4 и по формуле (4.7) рассчитать M_{12} . Результаты занести в табл. 1.

7. Построить графики зависимости M_{21} и M_{12} от координаты x .

Таблица 1

$U_0 = 10$ В		$R = 10^4$ Ом		$\nu = 20$ кГц		
x , см	\mathcal{E}_{021}		M_{21} , Гн	\mathcal{E}_{012}		M_{12} , Гн
	y	В		y	В	

7.2. Измерение M_{21} при различных частотах питающего напряжения

1. Поставить катушку 1 в среднее положение относительно катушки 2.
2. Поставить переключатели Π_1 и Π_2 в первоначальное положение.
3. Задать выходное напряжение генератора.
4. Измерить амплитуду ЭДС взаимной индукции при различных частотах звукового генератора от 5 до 50 кГц (через 5 кГц).
5. По формуле (4.6) рассчитать M_{21} . Полученные данные занести в табл. 2.
6. Для одного из полученных значений M_{21} определить абсолютную погрешность измерений M_{21} .

Таблица 2

$U_0 = 10 \text{ В}$		$R = 10^4 \text{ Ом}$						
$\nu, \text{ кГц}$								
\mathcal{E}_{021}	$U, \text{ см}$							
	V							
$M_{21}, \text{ Гн}$								

8. Контрольные вопросы

1. В чем суть явления электромагнитной индукции? Сформулируйте основной закон электромагнитной индукции. Запишите формулу.
2. Сформулируйте правило Ленца.
3. В чем суть явления взаимной индукции? Запишите и объясните формулу для ЭДС взаимной индукции двух контуров.
4. Чему равна ЭДС взаимной индукции двух контуров?
5. От каких параметров зависит взаимная индуктивность двух контуров?
6. Объясните график зависимости $M_{21} = f(x)$, полученный в данной работе.

9. Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Номер и название лабораторной работы.

2. Теоретическую основу метода определения взаимной индуктивности катушки.
3. Схему установки.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений M_{12} и M_{21} .
5. Графики зависимости $M_{12}(x)$ и $M_{21}(x)$ на миллиметровой бумаге.
6. Формулу и результаты определения абсолютной погрешности измерений M_{21} .
7. Выводы к работе.

10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы

1. Знание явлений электромагнитной индукции, самоиндукции, взаимной индукции. Умение записать и объяснить уравнения основного закона электромагнитной индукции, ЭДС самоиндукции, взаимной индукции.
2. Знание теории метода определения взаимной индуктивности, используемого в работе.
3. Выполнение экспериментальной и расчетной частей работы.
4. Соответствие отчета предъявленным требованиям.

Список литературы

1. *Савельев И.В.* Курс физики. Т.2. – СПб.: Издательство «Лань», 2011.
2. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Академия, 2009.
3. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Академия, 2010.