

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

ИЗУЧЕНИЕ ВИХРЕВОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

**Методические указания
к лабораторной работе № 57
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2013

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

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ВИХРЕВОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Методические указания
к лабораторной работе № 57
по дисциплине «Физика»

Уфа 2013

Составитель В.Р. Строкина

УДК 537.8(07)

ББК 2233(Я7)

Методические указания к лабораторной работе № 57 по дисциплине «Физика» «Изучение вихревого электрического поля» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. В.Р. Строкина. – Уфа, 2013. – 12 с.

Методические указания знакомят студентов с явлением электромагнитной индукции, с уравнением Максвелла для вихревого электрического поля. Приведена теория метода, дано описание лабораторной установки для изучения вихревого электрического поля.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Электричество и магнетизм», на всех реализуемых направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Табл. 1. Ил. 4. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Тучков С.В.,
канд. техн. наук, доц. Уразбахтина Ю.О.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2013

Содержание

Введение	4
1. Цели работы	5
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть	5
3.1. Явление электромагнитной индукции.....	5
Уравнение Максвелла для электрического поля	5
3.2. Вихревые токи (токи Фуко).....	7
4. Экспериментальная установка и принцип ее работы.....	9
5. Требования по технике безопасности	9
6. Задания.....	10
7. Методика выполнения заданий	10
8. Контрольные вопросы	11
9. Требования к содержанию и оформлению отчёта	12
10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы .	12
Список литературы	12

Лабораторная работа № 57

Изучение вихревого электрического поля

Введение

В 1860-1864 годы Д.К. Максвелл, основываясь на идеях Фарадея об электрических и магнитных полях, обобщил законы, установленные экспериментальным путем, и разработал законченную теорию единого электромагнитного поля, создаваемого произвольной системой зарядов и токов. В работах Максвелла идеи Фарадея подверглись дальнейшему углублению и развитию и были превращены в строгую математическую теорию.

Теория Максвелла явилась величайшим вкладом в развитие классической физики. Четыре уравнения, лежащие в основе его теории, позволяют с единой точки зрения охватить огромный круг явлений, начиная с электрического поля и кончая электромагнитной природой света.

В данной лабораторной работе изучается первое уравнение Максвелла, являющееся обобщением явления электромагнитной индукции, имеющего огромное практическое и научное значение.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие **компетенции**:

- способность демонстрировать базовые знания в области общенаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности;

- способность проводить эксперименты по заданной методике, обработку результатов, оценку погрешности и достоверности их результатов.

Перечисленные компетенции формируются через **умения**:

- работать с измерительными приборами;
- рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;

- анализировать результаты опыта;

- оформлять отчет;

а также **владения**:

- теоретическим материалом;

- навыками измерения физических величин по приборам;
- технологией обработки экспериментальных данных.

1. Цели работы

1. Изучение явления электромагнитной индукции.
2. Изучение уравнения Максвелла для электрического поля.
3. Исследование свойств вихревого электрического поля.

2. Задачи

1. Закрепление студентами знаний явления электромагнитной индукции.
2. Овладение методом экспериментального построения силовых линий вихревого электрического поля, индуцируемого в массивном проводнике.
3. Приобретение навыков обработки экспериментальных результатов и определения удельной мощности тепловых потерь.

3. Теоретическая часть

3.1. Явление электромагнитной индукции.

Уравнение Максвелла для электрического поля

В 1931 году М. Фарадей открыл явление электромагнитной индукции, согласно которому любое изменение сцепленного с проводящим контуром магнитного потока приводит к возникновению в контуре электродвижущей силы (ЭДС). Появление в контуре ЭДС индукции не связано с изменением свойств проводника в магнитном поле, а обусловлено самим полем.

Величина ЭДС индукции определяется по формуле

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

где Φ – поток магнитной индукции через площадь S , ограниченную рассматриваемым контуром L

$$\Phi = \int_s \vec{B} d\vec{S}. \quad (3.2)$$

Знак минус в правой части уравнения (3.1) соответствует правилу Ленца: при всяком изменении магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную проводящим контуром, в последнем возникает индукционный ток такого направления, что его магнитное поле противодействует изменению магнитного потока.

Формула (3.1), объединяющая в себе закон Фарадея и правило Ленца, является математическим выражением основного закона электромагнитной индукции: электродвижущая сила электромагнитной индукции в замкнутом проводящем контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную контуром рис. 3.1.

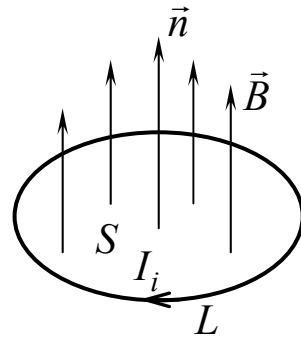


Рис. 3.1

Анализируя явление электромагнитной индукции, Максвелл установил, что причиной появления ЭДС индукции является возникновение в контуре электрического поля. При этом проводники играют второстепенную роль и являются своего рода приборами, обнаруживающими это поле.

Возникающее электрическое поле не является электростатическим. Это поле имеет замкнутые силовые линии, т.е. является вихревым. В вихревом электрическом поле на электроны действует сила, которая вызывает их движение по замкнутым траекториям, что приводит к возникновению ЭДС индукции (рис. 3.2). Циркуляция вектора напряженности такого поля по замкнутому контуру не равна нулю.

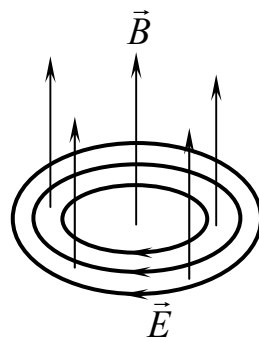


Рис. 3.2

ЭДС, действующая в любом контуре L , равна

$$\mathcal{E} = \oint_L \vec{E}_{\text{ст}} d\vec{l}, \quad (3.3)$$

где $\vec{E}_{\text{ст}}$ – напряженность поля сторонних сил. В данном случае сторонними силами являются силы вихревого электрического поля, поэтому $\vec{E}_{\text{ст}} = \vec{E}$, и для ЭДС индукции справедливо выражение

$$\mathcal{E}_i = \oint \vec{E} d\vec{l}. \quad (3.4)$$

С учетом (234) выражение (3.1) принимает вид

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (3.5)$$

Максвелл предложил считать, что соотношение (3.5) справедливо не только для проводника, но и для любого замкнутого контура, мысленно выбранного в переменном магнитном поле. Обобщенное таким образом уравнение (3.5) называется уравнением Максвелла в интегральной форме для вихревого электрического поля: циркуляция вектора напряженности электрического поля по произвольному замкнутому контуру L равна взятой с обратным знаком скорости изменения потока магнитной индукции через поверхность, опирающуюся на данный контур. Физический смысл этого уравнения заключается в следующем: переменное магнитное поле в любой точке пространства создает вихревое электрическое поле независимо от того, находится в этой точке проводник или нет.

Если в рассматриваемом контуре, помимо ЭДС электромагнитной индукции, имеются другие ЭДС $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_n$, то для такого контура

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt} + \sum_{k=1}^n \mathcal{E}_k. \quad (3.6)$$

3.2. Вихревые токи (токи Фуко)

Индукционный ток возникает не только в линейных, но и в массивных сплошных проводниках, помещенных в переменное магнитное поле. Эти токи являются замкнутыми и поэтому называются вихревыми. Их также называют токами Фуко – по имени первого их исследователя. Направление токов Фуко, как и индукционных токов в линейных проводниках, подчиняется правилу Ленца: магнитное поле, созданное ими, направлено так, чтобы

противодействовать изменению магнитного потока, индуцирующего вихревые токи.

Взаимодействуя с магнитным полем, вихревые токи вызывают появление сил, действующих на движущийся проводник, противодействуя его движению. Силы, вызываемые токами Фуко и действующие на движущиеся проводники в магнитном поле, используются для демпфирования (успокоения) подвижных частей гальванометров, сейсмографов и других измерительных приборов.

Токи Фуко вызывают нагревание проводников. Тепловое действие токов Фуко используется в индукционных металлургических печах. С помощью токов Фуко осуществляется также прогрев внутренних металлических частей вакуумных установок для их обезгаживания.

Во многих случаях токи Фуко бывают нежелательными, и приходится принимать для борьбы с ними специальные меры. Так, для уменьшения потерь на нагревание якоря генераторов и сердечника трансформаторов, их делают не сплошными, а изготавливают из тонких пластин, отделенных одна от другой слоями изолятора, и устанавливают так, чтобы вихревые токи были направлены поперек пластин.

Количество теплоты, выделяющееся за единицу времени в единице объема проводника, называется удельной тепловой мощностью. Она равна

$$\omega = \frac{1}{\rho} E^2, \quad (3.7)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, E – напряженность вихревого электрического поля.

Учитывая, что разность потенциалов между двумя точками поля, находящимися на расстоянии l друг от друга, равна

$$U = El, \quad (3.8)$$

формулу (3.6) можно представить в виде

$$\omega = \frac{U^2}{\rho l^2}. \quad (3.9)$$

4. Экспериментальная установка и принцип ее работы

Схема лабораторной установки представлена на рис. 4.1.

При включении тумблера 2 по катушке электромагнита 1 течет переменный ток и в железном сердечнике возникает переменное магнитное поле. В листе латуни 3 индуцируется вихревое электрическое поле. Изучение этого поля осуществляется с помощью зонда 4 и цифрового вольтметра 5.

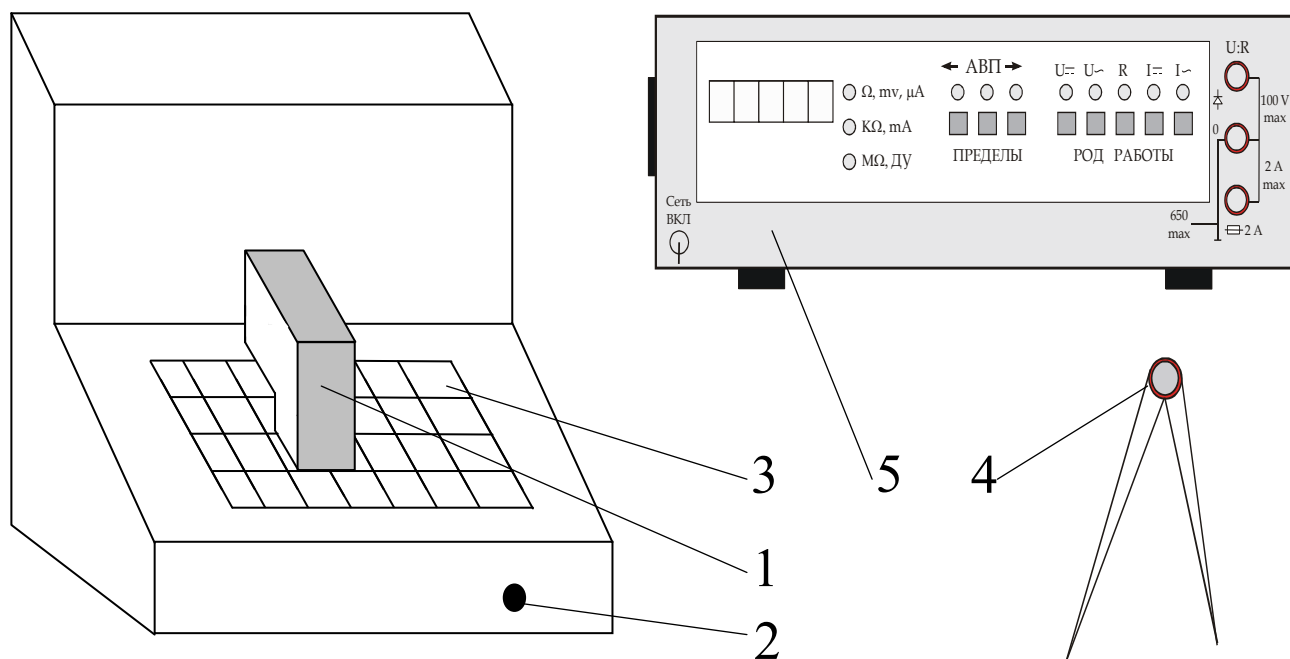


Рис. 4.1

5. Требования по технике безопасности

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

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

3. Запрещается оставлять без присмотра включенную лабораторную установку.

4. По окончании работы приведите свое рабочее место в порядок. Обесточьте приборы.

6. Задания

1. Построить силовые линии для вихревого электрического поля.
2. Определить удельную мощность тепловых потерь в листе латуни.
3. Определить абсолютную и относительную погрешности измерений удельной мощности.

7. Методика выполнения заданий

1. Включить установку в сеть.
2. Включить цифровой вольтметр. Нажать на вольтметре, предназначенном для измерения напряжения, клавишу «U =» и клавишу «АВП», соответствующую автоматическому выбору пределов измерения.
3. Расстояние между иглами двойного зонда сделать равным 20 мм.
4. Поместить одну иглу двойного зонда в точку А с координатами (2, 25) на листе латуни. Нанести эту точку на лист миллиметровой бумаги.
5. Вращая зонд относительно точки А, найти второй иглой на листе латуни точку, соответствующую максимальному значению показаний вольтметра. Полученную точку наколоть второй иглой. Эту точку также нанести на лист миллиметровой бумаги.
6. Оставляя вторую иглу неподвижной, найти первой иглой точку на листе, соответствующую максимальному значению показаний вольтметра, и т.д. по всему листу латуни вокруг электромагнита.
7. Соединить точки. Полученная линия есть силовая линия вихревого электрического поля в области листа латуни.
8. Помещая иглу двойного зонда последовательно в точки с координатами (3, 25; 4, 25) и повторяя п.п. 3-6, построить на том же листе миллиметровой бумаги еще 2 силовые линии.
9. Рассчитать удельную тепловую мощность по формуле

$$\omega = \frac{U^2}{\rho l^2},$$

где U – напряжение между двумя точками вдоль силовой линии, находящимися на расстоянии $l = R\alpha$ друг от друга; $\rho = 7,1 \cdot 10^{-8}$ Ом·м – удельное сопротивление латуни; R – радиус кривизны силовой линии,

равный расстоянию от отрезка силовой линии l до средней части электромагнита; α – угол, соответствующий дуге l (рис. 7.2). Угол α измерить транспортиром и выразить в радианах.

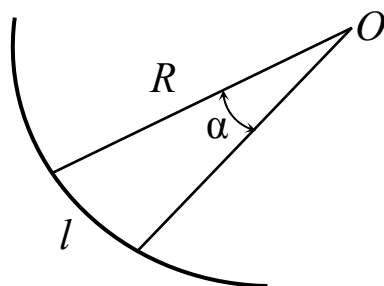


Рис. 7.2

10. Получить 3 значения ω для различных силовых линий, подсчитать среднее значение удельной мощности потерь, абсолютную и относительную погрешности. Результаты занести в табл.

Таблица

п/п	$U, В$	$R, м$	$\alpha, рад$	$l, м$	$\omega, \frac{Дж}{м^3}$	$\Delta\omega/\omega$	$\Delta\omega, \frac{Дж}{м^3}$
1							
2							
сред.							

8. Контрольные вопросы

1. В чем суть явления электромагнитной индукции?
2. Сформулируйте и запишите основной закон электромагнитной индукции.
3. В чем разница в интерпретациях явления электромагнитной индукции Фарадеем и Максвеллом?
4. Запишите уравнение Максвелла для вихревого электрического поля. Раскройте физический смысл этого уравнения.
5. Какова природа вихревых токов (токов Фуко)?
6. Какую форму имеют силовые линии вихревого электрического поля?
7. Объясните метод построения силовых линий вихревого электрического поля с помощью двойного зонда.
8. Как определяется удельная мощность потерь в латуни за счет вихревых токов?

9. Требования к содержанию и оформлению отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Название, номер, цели и задачи лабораторной работы.
2. Основные положения теории метода.
3. Основные формулы для выполнения расчётов.
4. Схему экспериментальной установки.
5. Таблицу с результатами измерений и вычислений.
6. Лист миллиметровой бумаги с силовыми линиями для вихревого электрического поля.
7. Формулы для расчёта относительной и абсолютной погрешности определения удельной мощности.
8. Выводы к работе.

10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- овладел понятиями индукционный ток, ЭДС индукции, вихревое электрическое поле;
- может записать и объяснить основной закон электромагнитной индукции, правило Ленца, записать и раскрыть физический смысл уравнения Максвелла;
- освоил метод построения силовых линий вихревого электрического поля и определения удельной мощности потерь в листе латуни за счет вихревых токов Фуко;
- правильно выполнил экспериментальную и расчетную части работы;
- составил отчет, соответствующий требованиям;
- сформулировал выводы о проделанной работе;
- грамотно ответил на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Т.2. – Спб.: Изд-во Лань, 2011.
2. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Академия, 2009.
3. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Академия, 2012.

Составитель СТРОКИНА Венера Рамазановна

ИЗУЧЕНИЕ ВИХРЕВОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Методические указания
к лабораторной работе № 57
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2013. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отг. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 100 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12