

## Лабораторная работа № 4.2

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

#### 4.2.1. Цель работы

Целью работы является знакомство с моделированием явления электромагнитной индукции (ЭМИ) и экспериментальное подтверждение его закономерностей.

#### 4.2.2. Краткая теория

Элементарным потоком вектора индукции магнитного поля  $d\Phi_B$  через элементарную площадку поверхности  $dS$  называется скалярное произведение вектора индукции  $\vec{B}$  на вектор  $d\vec{S}$ , сонаправленный с вектором нормали  $\vec{n}$  к этой площадке

$$d\Phi_B = \vec{B} d\vec{S} = B dS \cos\alpha = B_n dS, \quad (4.2.1)$$

где  $d\vec{S} = \vec{n} dS$ ,  $|d\vec{S}| = dS$ ;

$\alpha$  – угол между векторами  $\vec{B}$  и  $d\vec{S}$ ;

$B_n$  – проекция вектора  $\vec{B}$  на нормаль к этой площадке.

Полным магнитным потоком  $\Phi_B$  через поверхность площадью  $S$  называется сумма всех элементарных потоков через все элементы этой поверхности (интеграл по поверхности):

$$\Phi_B = \int_S \vec{B} d\vec{S}. \quad (4.2.2)$$

Полный поток определяет число линий индукции, пронизывающих поверхность  $S$ .

Для однородного поля и плоской поверхности  $S$ , расположенной перпендикулярно вектору индукции,  $B_n = B = \text{const}$ , тогда

$$\Phi = B S. \quad (4.2.3)$$

*Электромагнитной индукцией* называется возникновение электродвижущей силы в проводящем контуре при его перемещении в магнитном поле или при изменении магнитного потока, сцепленного с данным контуром.

Если контур замкнутый, то в нем возникает электрический ток, называемый индукционным током.

Используя закон Ома для полной цепи, можно получить выражение для тока индукции:

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}, \quad (4.2.4)$$

где  $R$  – сопротивление контура.

В соответствии с *законом Фарадея* ЭДС индукции равна с обратным знаком скорости изменения магнитного потока, сцепленного с контуром.

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (4.2.5)$$

Знак "–" в формуле (4.2.5) соответствует *правилу Ленца*: индукционный ток всегда имеет такое направление, что созданное им магнитное поле, противодействует всякому изменению внешнего магнитного поля, в результате которого возникает этот ток.

*Магнитный поток, сцепленный с контуром*, – это поток через произвольную поверхность  $S$ , которая опирается на замкнутый контур.

Явлением *самоиндукции* называется возникновение ЭДС индукции в контуре при изменении силы тока, протекающего в этом же контуре.

*По закону Фарадея* ЭДС самоиндукции

$$\varepsilon_S = -L \frac{dI}{dt}, \quad (4.2.6)$$

где  $L$  – индуктивность проводника.

### 4.2.3. Порядок выполнения работы

Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите «Электричество и магнетизм» и «Электромагнитная индукция». Нажмите сверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

В данной лабораторной работе используется компьютерная модель, в которой изменяющийся магнитный поток возникает в результате движения проводящей перемычки по параллельным проводникам, замкнутым с одной стороны (рис. 4.2.1).

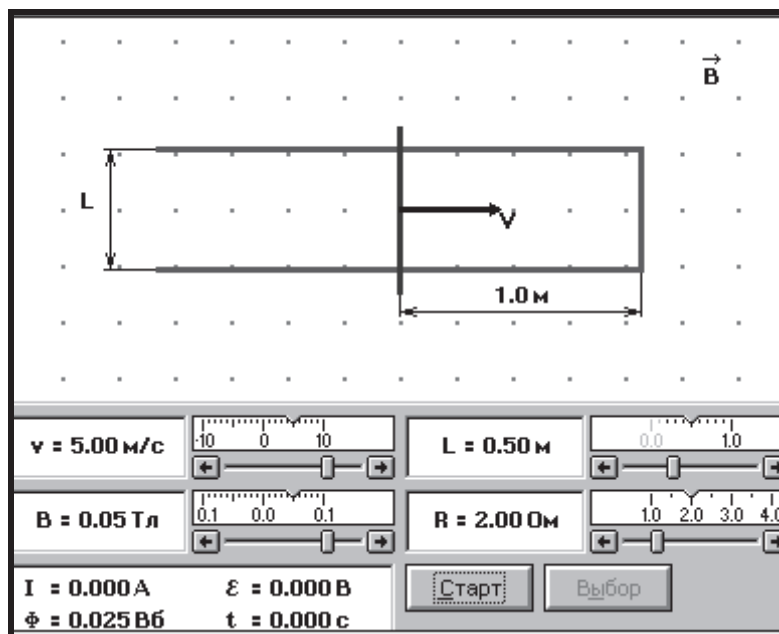


Рис. 4.2.1. Электромагнитная индукция

Найдите регуляторы с движками, задающими скорость  $v$  движения перемычки, расстояния  $L$  между проводниками, индукции поля  $B$ , сопротивления перемычки  $R$ , и запишите их в соответствующую таблицу в отчете (см. с. 6). Запустите эксперимент, щелкнув мышью по кнопке «Старт». Наблюдайте за движением перемычки и изменением магнитного потока  $\Phi$  (в окне опыта).

Зацепив мышью, перемещайте движки регуляторов  $L$ ,  $R$  и установите значения, указанные в табл. 4.2.1 для вашей бригады. Аналогично установите первое значение индукции магнитного поля  $B_1$  и запишите его в табл. 4.2.2.

Таблица 4.2.1

#### Значения характеристик

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
$R$ , Ом	1	1	1	1	2	2	2	2
$L$ , м	1	1	1	1	0,7	0,7	0,7	0,7
$B_1$ , мТл	-30	-40	-50	-60	-30	-40	-50	-60
$B_2$ , мТл	40	20	10	-20	40	20	10	-20
$B_3$ , мТл	90	80	70	100	90	80	70	100

Установите первое значение скорости движения переключки, указанное в табл. 4.2.2, и нажмите кнопку «Старт». Значения ЭДС и тока индукции занесите в табл. 4.2.2. В соответствии с правилом Ленца поставьте знаки «+» или «-» перед значениями тока и ЭДС. Если магнитный поток через замкнутый контур, образованный переключкой и проводами, увеличивается при заданной скорости, то  $\Delta\Phi > 0$ , тогда  $\varepsilon_i < 0$ ,  $I_i < 0$ . Если магнитный поток уменьшается, то  $\Delta\Phi < 0$ ,  $\varepsilon_i > 0$ ,  $I_i > 0$ .

Повторите измерения для других значений скорости (см. табл. 4.2.2).

Установите второе значение индукции магнитного поля  $B_2$  для вашей бригады (см. табл. 4.2.1), запишите его в табл. 4.2.2. Выполните также измерения для всех значений скорости.

Повторите измерения для третьего значения  $B_3$ , запишите результаты также в табл. 4.2.2.

Таблица 4.2.2

#### Результаты измерений

$v, \text{ м/с}$	$B_1 =$ Тл		$B_2 =$ Тл		$B_3 =$ Тл	
	$I, \text{ А}$	ЭДС, В	$I, \text{ А}$	ЭДС, В	$I, \text{ А}$	ЭДС, В
-10						
-8						
-6						
-4						
-2						
0						
2						
4						
6						
8						
10						

Повторите измерения для двух других значений индукции магнитного поля  $B_2$  и  $B_3$  (см. табл. 4.2.1). Полученные результаты запишите в табл. 4.2.2.

#### 4.2.4. Обработка результатов измерений

1. Постройте на одном листе графики зависимости индукционного тока от скорости движения переключки при трех значениях индукции магнитного поля.

2. Для каждой прямой рассчитайте тангенс угла наклона

$$\operatorname{tg}(\varphi)_{\text{эксп}} = \frac{\Delta I}{\Delta U}. \quad (4.2.7)$$

3. Вычислите теоретическое значение тангенса для каждой прямой.

$$\operatorname{tg}(\varphi)_{\text{теор}} = \frac{BL}{R}. \quad (4.2.8)$$

4. Результаты расчетов запишите в табл. 4.2.3.

Таблица 4.2.3

#### Итоговая таблица

Номер измерения	$\operatorname{tg}(\varphi)_{\text{эксп}}, \text{A}\cdot\text{с/м}$	$\operatorname{tg}(\varphi)_{\text{теор}}, \text{A}\cdot\text{с/м}$	$E$	Средняя абсолютная погрешность
1				
2				
3				

5. Для каждого опыта рассчитайте относительную погрешность

$$E = |\operatorname{tg}(\varphi)_{\text{теор}} - \operatorname{tg}(\varphi)_{\text{эксп}}| / \operatorname{tg}(\varphi)_{\text{теор}}. \quad (4.2.9)$$

и запишите полученные значения в табл. 4.2.3.

6. Рассчитайте средние абсолютные погрешности и запишите результаты также в табл. 4.2.3 (см. с. 8).

7. Для каждого опыта запишите окончательные результаты и сделайте **ВЫВОДЫ**.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется элементарным магнитным потоком?
2. Что называется полным магнитным потоком?
3. Дайте определение электромагнитной индукции.
4. В каких случаях возникает индукционный ток?
5. Сформулируйте закон Фарадея для явления электромагнитной индукции.
6. Дайте определение явления самоиндукции.
7. Сформулируйте закон Фарадея для явления самоиндукции.
8. Как изменяется со временем магнитный поток при положительных и отрицательных значениях скорости движения перемычки? Какой знак будут иметь при этом ЭДС индукции и индукционный ток?