

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9.

### Изучение явления электромагнитной индукции и определение коэффициента самоиндукции катушки индуктивности.

**Цель работы:** Экспериментально изучить явление самоиндукции и взаимной индукции. Определить индуктивность и взаимную индуктивность катушки методом измерения ее сопротивления по переменному и постоянному току.

**Приборы и принадлежности:** Катушка индуктивности (L2), трансформатор (тороид), источник переменного и постоянного тока (ИП), миллиамперметр (мА), вольтметр, реостат (R), переключатель (S).

#### Краткая теория

##### 1. Электромагнитная индукция.

В 1831 г. Фарадей экспериментально открыл явление электромагнитной индукции, состоящее в возникновении электродвижущей силы индукции в контуре при изменении потока магнитной индукции, охватываемого контуром. Если контур является замкнутым и проводящим, то в нем возникает индукционный ток. Правило, определяющее направление ЭДС индукции, было сформулировано в 1833г Ленцом: *индукционный ток направлен так, что создаваемое им поле препятствует изменению магнитного потока.* В 1845 г. Ф.Э. Нейман дал математическое определение *закона электромагнитной индукции* в современной форме:

$$\varepsilon_{\text{э.и.}} = -\frac{d\hat{O}}{dt} \quad (1)$$

*ЭДС индукции  $\varepsilon_{\text{инд}}$ , возникающая в замкнутом контуре, пропорциональна скорости изменения магнитного потока, сцепленного с этим контуром - закон Фарадея-Максвелла.*

##### 2. Самоиндукция.

Электродвижущая сила индукции (1) возникает при любых причинах изменения потока  $\Phi$ , охватываемого контуром тока. В частности, сам линейный замкнутый ток создает поток магнитной индукции сквозь поверхность, которую он ограничивает. Следовательно, при изменении силы тока в контуре возникает ЭДС. Это явление называется *самоиндукцией*. Сформулируем явление самоиндукции: *возникновение ЭДС индукции вследствие изменения магнитного потока, создаваемого током в этом же самом контуре, называется самоиндукцией.*

Ток  $i$  в замкнутом контуре создает в окружающем пространстве магнитное поле, напряженность которого пропорциональна току. Сцепленный с контуром магнитный поток  $\Phi$  поэтому пропорционален току в контуре:

$$\hat{O} = Li \quad (2)$$

где  $L$  - постоянный коэффициент пропорциональности, не зависящий от силы тока и индукции магнитного поля. Он называется *индуктивностью* контура. Индуктивность контура численно равна потокосцеплению самоиндукции контура при силе тока в контуре, равной 1 А. Формула (1) для ЭДС самоиндукции принимает вид

$$\varepsilon_{\text{н.э.и.}} = -\frac{d(Li)}{dt} \quad (3)$$

Индуктивность  $L$  в общем смысле зависит от геометрии контура и магнитной проницаемости среды, окружающей контур. Если эти величины не изменяются, то  $L = \text{const}$ ,  $dL/dt = 0$ , и

$$\varepsilon_{\text{н.дт}} = -L \frac{di}{dt} \quad (4)$$

ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения тока в контуре. Если  $di/dt > 0$ , то  $\varepsilon_{\text{с.инд}} < 0$ , т.е. ток самоиндукции имеет направление, противоположное возрастающему току в контуре, и тормозит его возрастание (правило Ленца).

### 3. Взаимная индуктивность.

Явлением взаимной индукции двух контуров называется возникновение ЭДС индукции в одном из них при изменении тока в другом. Изменение тока вызывает изменение магнитного потока, сцепленного с первым из контуров, и индукционную ЭДС в нём.

Магнитный поток  $\Phi_{12}$ , сцепленный с контуром 1, прямо пропорционален создающему этот поток току  $i_2$  во втором контуре:

$$\hat{O}_{12} = L_{12} i_2 \quad (5)$$

Коэффициент  $L_{12}$  называется коэффициентом взаимной индукции обеих контуров (взаимной индуктивностью). Если изменять ток  $i_1$  в первом контуре, то магнитный поток, сцепленный со вторым контуром равен

$$\hat{O}_{21} = L_{21} i_1 \quad (6)$$

Опыт и подробное теоретическое рассмотрение показывают, что

$$L_{12} = L_{21} = M \quad (7)$$

т.е. коэффициент взаимной индукции двух контуров равен магнитному потоку, сцепленному с одним из контуров, когда ток в другом контуре равен 1 А. Единица измерения  $L$ ,  $L_{ij}$  и  $M$  - 1 Гн (Генри). Когда ток  $i_1$  в 1 контуре меняется, то пропорционально ему изменяется магнитный поток  $\Phi_{21}$ , сцепленный со вторым контуром, и в последнем возникает ЭДС взаимной индукции:

$$\varepsilon_{21\text{дт}} = -\frac{d\hat{O}_{21}}{dt} = -M \frac{di_1}{dt} = -i_1 \frac{dM}{dt} \quad (8)$$

Если контур неподвижен и не изменяет геометрии, то  $M = \text{const}$ : и

$$\varepsilon_{21\text{дт}} = -M \frac{di_1}{dt} \quad (9)$$

и соответственно

$$\varepsilon_{12\text{дт}} = -M \frac{di_2}{dt} \quad (10)$$

Т.е. взаимная индуктивность двух контуров есть величина, изменяемая ЭДС индукции, возникающей в одном из них, когда ток в другом уменьшается на единицу за единицу времени. Таким образом, 1 Гн - это взаимная индуктивность таких контуров, в которых изменение тока в одном на 1 А/с вызывает в другом ЭДС индукции, равную 1 в.

На явлении взаимной индукции основано действие трансформаторов, служащих для повышения или понижения напряжения переменного тока.

## Экспериментальная часть.

### 1. Изучение явления самоиндукции.

1.1. Собрать схему (рис.1).

1.2. Установить на вольтметре предел измерения 20 В и в зависимости от рода тока нажать клавишу "~" или "-".

1.3. Ввести реостат. **R15**

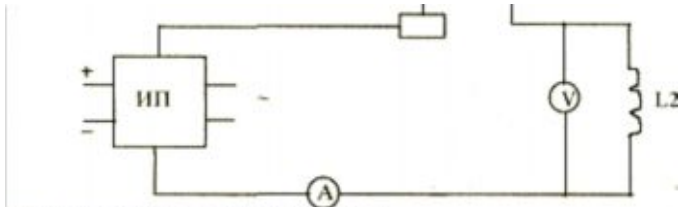


Рис.1. Принципиальная схема для определения  $L$ .

1.4. Подключить исследуемую цепь к источнику постоянного тока.

1.5. Установить реостатом в цепи катушки  $L2$  ток равный 50 мА.

1.6. Измерить вольтметром напряжение  $U_-$ . Результат зафиксировать.

1.7. Разомкнуть цепь и подключить источник переменного тока. Установить значение напряжения, равное значению постоянного тока.

1.8. Установив реостатом значение тока 50 мА, 100 мА, 150 мА снять показания вольтметра  $U_{\sim}$  и результаты записать в таблицу.

1.9. По формуле

$$\varepsilon_{\text{н.э.д.}} = \sqrt{\sim U^2 - (I \cdot r)^2}$$

рассчитать ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке  $L2$ . Активное сопротивление катушки  $r$  замерить цифровым прибором или рассчитать по постоянному току.

1.10. Рассчитать среднее значение  $\varepsilon_{\text{с.инд}}$

1.11. По формуле

$$L_1 = \frac{\sqrt{\sim U^2 - (I \cdot r)^2}}{I \omega \sim}$$

определить индуктивность  $L2$  катушки для каждого значения силы тока. Результаты занести в таблицу.

1.12. Сравнить величины  $U_-$  и  $U_{\sim}$  при одинаковых значениях силы тока в катушке и объяснить результаты сравнения.

### 2. Изучение явления индукции.

2.1. Собрать рабочую схему (рис.2).

2.2. Установить на вольтметре предел измерения 20 В и в зависимости от рода тока нажать соответствующую клавишу "~" или "-".

2.3. Ввести реостат.

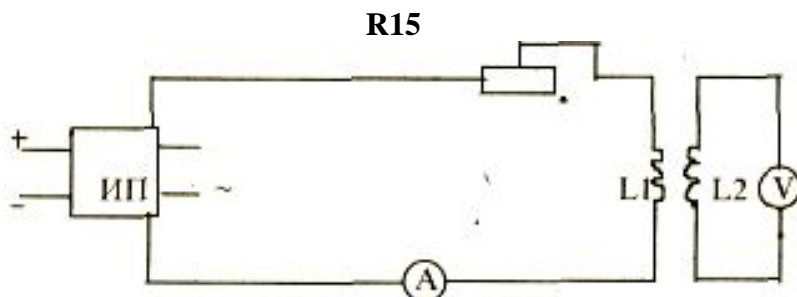


Рис.2. Принципиальная схема для определения взаимной индуктивности

- 2.4. Подключить первичную обмотку тороида к источнику постоянного тока.
- 2.5. Установить реостатом в цепи первичной обмотки ток  $I_1$  равный 50 мА.
- 2.6. Измерить вольтметром напряжение на вторичной обмотке  $U_{2-}$ . Результаты замеров занести в таблицу.
- 2.7. Провести измерения для тока 100 мА, 150 мА.
- 2.8. Подключить источник переменного тока.
- 2.9. Провести измерения зависимости тока от напряжения устанавливая ток 50 мА, 100 мА, 150 мА.
- 2.10. Сравнить величины  $U_{2\sim}$  и  $U_{2-}$  при одинаковых значениях силы тока в цепи первичной обмотки тороида и объяснить результаты.
- 2.11. Определить среднее значение

$$L_{12} = \frac{U_{2\sim}}{\omega I_{2\sim}}$$

- 2.12. Поменять местами катушки и определить  $L_{21}$

### **3. Определение коэффициента самоиндукции катушки индуктивности.**

- 3.1. По результатам первого задания для переменного тока по формуле

$$Z = \frac{U_{\dot{\phi}\phi}}{I_{\dot{\phi}\phi}}$$

определить полное сопротивление катушки индуктивности для каждого опыта и вычислить среднее значение.

- 3.2. По результатам первого задания для постоянного тока по формуле

$$R = \frac{U}{I}$$

определить активное сопротивление катушки индуктивности для каждого опыта и вычислить среднее значение.

- 3.3. По формуле

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega}, \text{ где } \omega = 2\pi f, f = 50 \text{ Гц}$$

определить коэффициент самоиндукции катушки.

### **Контрольные вопросы.**

1. Закон Фарадея - Максвелла?
2. Что такое индуктивность? Единицы измерения Ъ?
3. Что такое самоиндукция? Коэффициент самоиндукции и единицы измерения
4. Что такое взаимная индуктивность?
5. Порядок выполнения работы.

### **Литература.**

1. Савельев И.В. "Курс общей физики", Т.2, М., Наука, 1983 г.
2. Путилов К.А. "Курс общей физики", Т.2, М., Физматгиз, 1963г.
3. Матвеев А.Н. "Электричество и магнетизм ", М., Высшая школа, 1983г.