

Электромагнитная индукция

Явление электромагнитной индукции обнаружено в 1831 г. Фарадеем. Оно выражает взаимосвязь электрических и магнитных явлений.

Явление возникновения ЭДС в контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего контур, называется электромагнитной индукцией.

Содержание :

Магнитный поток

Правило Ленца

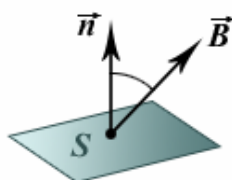
Вихревое электрическое поле

Закон электромагнитной индукции

ЭДС индукции в движущихся проводниках

Самоиндукция

Магнитный поток



Магнитный поток Φ через площадь S контура называется величина

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

B – модуль вектора магнитной индукции

α – угол между вектором магнитной индукции и нормалью к плоскости рамки

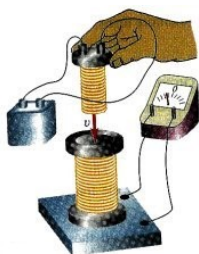
Магнитный поток, пронизывающий контур, может меняться по двум причинам:

1

За счет изменения магнитного поля, в котором находится неподвижный контур.



Постоянный магнит вставляют в катушку, замкнутую на гальванометр, или вынимают из нее. При движении магнита в контуре возникает электрический ток.



Аналогичный результат будет иметь место в случае перемещения электромагнита, по которому пропускают постоянный ток, относительно первичной катушки

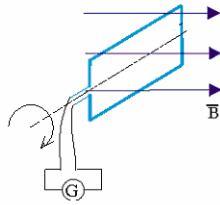


При изменении тока в процессе замыкания и размыкания цепи неподвижной первичной катушки.

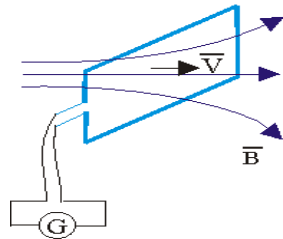
Обратите внимание :

Для возникновения индукционного тока в замкнутом контуре необходимо, чтобы магнитный поток, пронизывающий контур, изменялся.

2

За счет движения самого контура
в магнитном поле

Вращение рамки, замкнутой на гальванометр, в однородном магнитном поле. В рамке возникает электрический ток. Если же рамка движется поступательно, не пересекая силовых линий, то ток в ней не возникает.



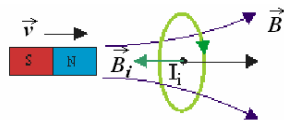
Движение рамки в неоднородном магнитном поле. Число линий индукции, пересекающих рамку, изменяется. В рамке возникает электрический ток.

Ток, возникающий в контуре при изменении магнитного потока, называют **ИНДУКЦИОННЫМ ТОКОМ**.

Наличие электродвижущей силы, называемой ЭДС индукции (\mathcal{E}_i), приводит к появлению в замкнутом проводящем контуре индукционного тока.

Индукционный ток направлен так, чтобы своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван.

Правило Ленца



Пример. Виток проводника помещен в неоднородное магнитное поле, созданное движущимся постоянным магнитом. Т.к. \mathbf{B} нарастает, то вектора \mathbf{B}_i и \mathbf{B} антипараллельны.

Природа ЭДС индукции заключается в возникновении **вихревого электрического поля** в любой области пространства, где существует переменное магнитное поле. Свойства индукционного (вихревого) поля:

- линии напряженности индукционного поля замкнуты, поэтому его называют вихревым;
- в электрическом поле работа по перемещению заряда равна нулю. Работа индукционного поля вдоль замкнутого пути не равна нулю;
- возникает независимо от наличия или отсутствия замкнутого проволочного контура.

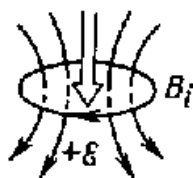
Вихревое
электрическое
полеЗакон
электромагнитной
индукции

ЭДС индукции в замкнутом контуре равна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего контур.

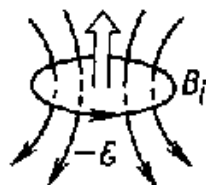
$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'(t)$$

Знак "-" отражение правила Ленца.

Появление индукционного тока указывает на то, что изменяющееся магнитное поле вызывает появление в контуре ЭДС индукции.



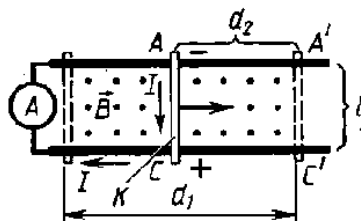
Если магнитный поток убывает, то $\varepsilon_i > 0$.



Если магнитный поток растёт, то $\varepsilon_i < 0$.

Если появление ЭДС индукции в неподвижном контуре, находящемся в переменном магнитном поле вызвано вихревым электрическим полем, то движущаяся в однородном магнитном поле проводнике ЭДС индукции вызвано действием силы Лоренца.

ЭДС индукции в движущихся проводниках



Пусть проводник AC длиной l перемещается со скоростью v в однородном магнитном поле, пересекая силовые линии. Вместе с проводником движутся заряды, находящиеся в проводнике. На движущийся в магнитном поле заряд действует сила Лоренца. Свободные электроны смещаются к одному концу проводника, а на другом остаются нескомпенсированные положительные заряды. Возникает разность потенциалов, которая и представляет собой ЭДС индукции ε_i . Её величину можно определить, рассчитав работу, совершаемую силой Лоренца при перемещении заряда вдоль проводника:

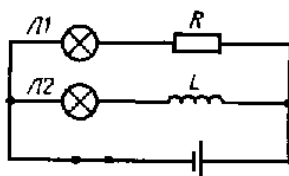
$$A = F_{\text{Л}} l = qvBl$$

$$\varepsilon_i = \frac{A}{q} = Bvl$$

$$\varepsilon_i = Bvl \sin \alpha$$

Самоиндукция

является частным случаем проявления электромагнитной индукции.



Самоиндукция – явление возникновения ЭДС индукции в электрической цепи в результате изменения силы тока.

Рассмотрим электрическую цепь, содержащую катушку индуктивности L . При замыкании цепи нарастающий магнитный поток порождает вихревое электрическое поле, которое создаёт ЭДС самоиндукции ε_{is} , препятствующую нарастанию тока. Л2 зажигается позже.

Электрический ток I создаёт в окружающем пространстве катушки магнитное поле. В результате чего, контур пронизывается собственным магнитным потоком Φ . Собственный магнитный поток пропорционален току в контуре, создавшему магнитное поле:

$$\Phi = LI.$$

Коэффициент пропорциональности L называется индуктивностью контура и зависит:

- от размеров,
- формы проводника,
- магнитных свойств среды.

Единица измерения индуктивности в системе СИ – 1 Генри (Гн).

В момент размыкания цепи вихревое электрическое поле поддерживает убывающий ток. При этом $\varepsilon_{is} \gg \varepsilon_{\text{батареи}}$. Следовательно, ток после размыкания увеличивается.

Из закона электромагнитной индукции следует, что

$$\varepsilon_{is} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Чтобы создать в проводнике с индуктивностью L ток I , источник тока должен совершить против ЭДС самоиндукции работу, которая по закону сохранения энергии равна энергии магнитного поля тока:

$$W_M = \frac{LI^2}{2}$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называют ЭДС индукции?
2. Какая формула выражает закон электромагнитной индукции?
3. Какова природа ЭДС индукции, возникающей в неподвижном контуре при изменении магнитного поля, в котором находится этот контур?
4. Сделав рисунок, объясните, как определяется направление индукционного тока в неподвижном контуре в зависимости от характера изменения магнитного потока. Как формулируют правило Ленца?
5. Напишите формулу, по которой определяется ЭДС индукции в прямолинейном проводнике, движущемся с пересечением линий индукции однородного магнитного поля.
6. Что называют явлением самоиндукции?
7. Объясните явление самоиндукции при замыкании и размыкании цепи.
8. Напишите формулу по которой определяется ЭДС самоиндукции.
9. Что называется индуктивностью проводника? Каков физический смысл индуктивности?
10. Укажите единицу измерения индуктивности в СИ.
11. Почему для создания тока в проводнике должна быть совершена работа? За счет какой энергии она совершается?
12. Напишите формулу энергии магнитного поля проводника с током.