

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. ЭДС САМОИНДУКЦИИ И ВЗАИМОИНДУКЦИИ

Цель: ознакомиться с понятиями электромагнитной индукции, взаимной индукции, самоиндукции; рассмотреть электрические цепи с взаимной индуктивностью, использование явления взаимной индукции в электротехнических устройствах.

План:

1. Электромагнитная индукция. Закон электромагнитной индукции.
2. ЭДС самоиндукции и взаимной индукции. Взаимная индуктивность. Вихревые токи.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Электромагнитная индукция – явление возникновения тока в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего его.

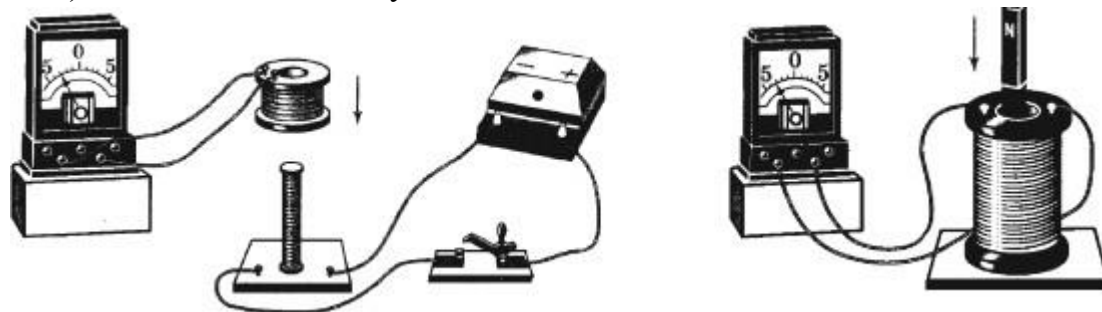
Явление электромагнитной индукции было открыто М. Фарадеем.

Опыты Фарадея

На одну непроводящую основу были намотаны две катушки: витки первой катушки были расположены между витками второй. Витки одной катушки были замкнуты на гальванометр, а второй – подключены к источнику тока. При замыкании ключа и протекании тока по второй катушке в первой возникал импульс тока. При размыкании ключа также наблюдался импульс тока, но ток через гальванометр тек в противоположном направлении.

Первая катушка была подключена к источнику тока, вторая, подключенная к гальванометру, перемещалась относительно нее. При приближении или удалении катушки фиксировался ток.

Катушка замкнута на гальванометр, а магнит движется – вдвигается (выдвигается) – относительно катушки.



Опыты показали, что индукционный ток возникает только при изменении линий магнитной индукции. Направление тока будет различно при увеличении числа линий и при их уменьшении.

Сила индукционного тока зависит от скорости изменения магнитного потока. Может изменяться само поле, или контур может перемещаться в неоднородном магнитном поле.

Почему возникает индукционный ток? Ток в цепи может существовать, когда на свободные заряды действуют сторонние силы. Работа этих сил по перемещению единичного положительного заряда вдоль замкнутого контура равна ЭДС. Значит, при изменении числа магнитных линий через поверхность, ограниченную контуром, в нем появляется ЭДС, которую называют ЭДС индукции.

Электроны в неподвижном проводнике могут приводиться в движение только электрическим полем. Это электрическое поле порождается изменяющимся во времени магнитным полем. Его называют **вихревым электрическим полем**. Представление о вихревом электрическом поле было введено в физику великим английским физиком Дж. Максвеллом в 1861 году.

Свойства вихревого электрического поля:

- источник – переменное магнитное поле;
- обнаруживается по действию на заряд;
- не является потенциальным;
- линии поля замкнутые.

Работа этого поля при перемещении единичного положительного заряда по замкнутому контуру равна ЭДС индукции в неподвижном проводнике.

Магнитный поток в 1 вебер создается однородным магнитным полем с индукцией 1 Тл через поверхность площадью 1 м², расположенную перпендикулярно вектору магнитной индукции:

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2.$$

Магнитный поток можно наглядно представить как величину, пропорциональную числу магнитных линий, проходящих через данную площадь.

В зависимости от угла α магнитный поток может быть положительным ($\alpha < 90^\circ$) или отрицательным ($\alpha > 90^\circ$). Если $\alpha = 90^\circ$, то магнитный поток равен 0.

Изменить магнитный поток можно меняя площадь контура, модуль индукции поля или расположение контура в магнитном поле (поворачивая его).

Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея): ЭДС индукции в замкнутом контуре равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Знак «—» в формуле позволяет учесть направление индукционного тока. Индукционный ток в замкнутом контуре имеет всегда такое направление, чтобы магнитный поток поля, созданного этим током сквозь поверхность, ограниченную контуром, уменьшал бы те изменения поля, которые вызвали появление индукционного тока.

Если контур состоит из N витков, то ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = - N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Сила индукционного тока в замкнутом проводящем контуре с сопротивлением R:

$$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$$

При движении проводника длиной l со скоростью v в постоянном однородном магнитном поле с индукцией B ЭДС электромагнитной индукции равна:

$$\mathcal{E}_i = B \cdot v \cdot l \cdot \sin \alpha,$$

где α – угол между векторами B и v

Возникновение ЭДС индукции в движущемся в магнитном поле проводнике объясняется действием силы Лоренца на свободные заряды в движущихся проводниках. Сила Лоренца играет в этом случае роль сторонней силы.

Движущийся в магнитном поле проводник, по которому протекает индукционный ток, испытывает магнитное торможение. Полная работа силы Лоренца равна нулю.

Количество теплоты в контуре выделяется либо за счет работы внешней силы, которая поддерживает скорость проводника неизменной, либо за счет уменьшения кинетической энергии проводника.

Важно! Изменение магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур, может происходить по двум причинам:

- магнитный поток изменяется вследствие перемещения контура или его частей в постоянном во времени магнитном поле. Это случай, когда проводники, а вместе с ними и свободные носители заряда, движутся в магнитном поле;
- вторая причина изменения магнитного потока, пронизывающего контур, – изменение во времени магнитного поля при неподвижном контуре. В этом случае возникновение ЭДС индукции уже нельзя объяснить действием силы Лоренца. Явление электромагнитной индукции в неподвижных проводниках, возникающее при изменении окружающего магнитного поля, также описывается формулой Фарадея.

Таким образом, явления индукции в движущихся и неподвижных проводниках протекают одинаково, но физическая причина возникновения индукционного тока оказывается в этих двух случаях различной:

- в случае движущихся проводников ЭДС индукции обусловлена силой Лоренца;
- в случае неподвижных проводников ЭДС индукции является следствием действия на свободные заряды вихревого электрического поля, возникающего при изменении магнитного поля.

ЭДС САМОИНДУКЦИИ И ВЗАИМОИНДУКЦИИ

Самоиндукция – это явление возникновения ЭДС индукции в проводнике в результате изменения тока в нем.

При изменении силы тока в катушке происходит изменение магнитного потока, создаваемого этим током. Изменение магнитного потока, пронизывающего катушку, должно вызывать появление ЭДС индукции в катушке.

В соответствии с правилом Ленца ЭДС самоиндукции препятствует нарастанию силы тока при включении и убыванию силы тока при выключении цепи.

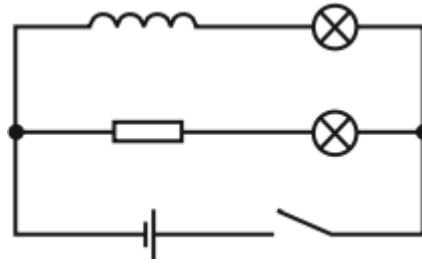
Это приводит к тому, что при замыкании цепи, в которой есть источник тока с постоянной ЭДС, сила тока устанавливается через некоторое время.

При отключении источника ток также не прекращается мгновенно. Возникающая при этом ЭДС самоиндукции может превышать ЭДС источника.

Явление самоиндукции можно наблюдать, собрав электрическую цепь из катушки с большой индуктивностью, резистора, двух одинаковых ламп накаливания и источника тока. Резистор должен иметь такое же электрическое сопротивление, как и провод катушки.

Опыт показывает, что при замыкании цепи электрическая лампа, включенная последовательно с катушкой, загорается несколько позже, чем лампа, включенная последовательно с резистором. Нарастанию тока в цепи катушки при замыкании

препятствует ЭДС самоиндукции, возникающая при возрастании магнитного потока в катушке.



При отключении источника тока вспыхивают обе лампы. В этом случае ток в цепи поддерживается ЭДС самоиндукции, возникающей при убывании магнитного потока в катушке.

ЭДС самоиндукции ε_{is} , возникающая в катушке с индуктивностью L , по закону электромагнитной индукции равна:

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

ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна индуктивности катушки и скорости изменения силы тока в катушке.

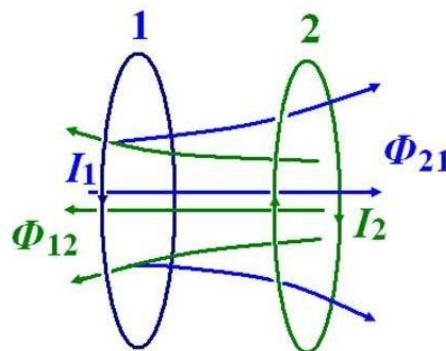
Итак, мы знаем, что ЭДС индукции в катушке можно вызвать и не перемещая в ней электромагнит, а изменяя лишь ток в его обмотке. Но чтобы вызвать ЭДС индукции в одной катушке за счет изменения тока в другой, совершенно не обязательно вставлять одну из них внутрь другой, а можно расположить их рядом

И в этом случае при изменении тока в одной катушке возникающий переменный магнитный поток будет пронизывать (пересекать) витки другой катушки и вызовет в ней ЭДС.

$$\varepsilon_1 = -M_{12} \frac{dI_2}{dt}$$

$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

Взаимоиндукция дает возможность связывать между собой посредством магнитного поля различные электрические цепи. Такую связь принято называть индуктивной связью.



Чтобы иметь возможность различать между собой различные пары катушек по их способности взаимно индуцировать ЭДС, введено понятие о взаимной индуктивности или коэффициенте взаимной индукции.

Обозначается взаимная индуктивность буквой M . Единицей ее измерения, так же как и индуктивности, служит генри.

Генри — это такая взаимоиндуктивность двух катушек, при которой изменение тока в одной катушке на 1 ампер в 1 секунду вызывает в другой катушке ЭДС взаимоиндукции, равную 1 вольту.

На явлении взаимоиндукции основана работа такого важного электротехнического устройства, как трансформатор.

Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции и заключается в следующем. На железный сердечник наматывают две обмотки, одну из них соединяют с источником переменного тока, а другую — с потребителем тока (сопротивлением).

Обмотка, соединенная с источником переменного тока, создает в сердечнике переменный магнитный поток, который в другой обмотке индуцирует ЭДС.

Обмотку, соединенную с источником переменного тока, называют первичной, а обмотку, к которой присоединяется потребитель, — вторичной. Но так как переменный магнитный поток пронизывает одновременно обе обмотки, то в каждой из них индуцируются переменные ЭДС.