



Лекция 12.

Электромагнитная индукция

Составитель: доцент кафедры МФиИТ,
канд. физ.-мат. наук Маринова С.А.

Кемерово 2019



План лекции

1. Явление электромагнитной индукции
2. Закон Фарадея
3. Индуктивность контура. Самоиндукция
4. Токи при размыкании и замыкании цепи
5. Энергия магнитного поля



1. Явление электромагнитной индукции

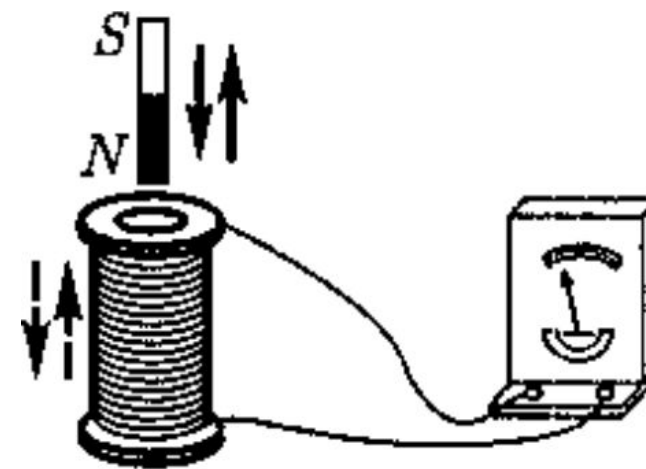
Электромагнитная индукция – явление, заключающееся в возникновении электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции, охватываемого этим контуром. Данный ток называется **индукционным**.

Индукционный ток возникает всегда, когда происходит изменение сцепленного с контуром потока магнитной индукции.

Значение индукционного тока совершенно не зависит от способа изменения потока магнитной индукции, а определяется лишь скоростью его изменения.

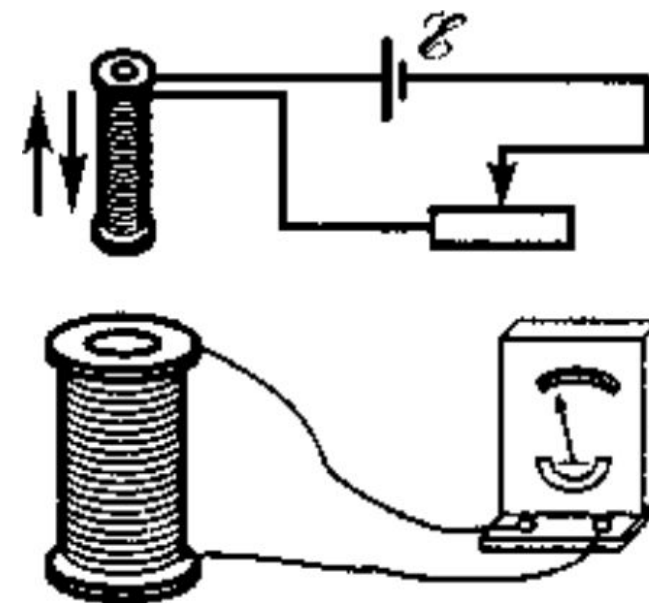


Опыт I. Если в замкнутый на гальванометр соленоид вдвигать или выдвигать постоянный магнит, то в моменты его вдвигания или выдвигания наблюдается отклонение стрелки гальванометра (возникает индукционный ток); направления отклонений стрелки при вдвигании и выдвигании магнита противоположны. Отклонение стрелки гальванометра тем больше, чем больше скорость движения магнита относительно катушки. При изменении полюсов магнита направление отклонения стрелки изменится. Для получения индукционного тока магнит можно оставлять неподвижным, тогда нужно относительно магнита передвигать соленоид.





Опыт II. Концы одной из катушек, вставленных одна в другую, присоединяются к гальванометру, а через другую катушку пропускается ток. Отклонение стрелки гальванометра наблюдается в моменты включения или выключения тока, в моменты его увеличения или уменьшения, при перемещении катушек друг относительно друга. Направления отклонений стрелки гальванометра также противоположны при включении или выключении тока, его увеличении или уменьшении, сближении или удалении катушек.





2. Закон Фарадея

Закон Фарадея

ЭДС ε_i электромагнитной индукции в контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Знак «-» показывает, что увеличение потока $\left(\frac{d\Phi}{dt} > 0\right)$ вызывает ЭДС $\varepsilon_i < 0$, т. е. поле индукционного тока направлено навстречу потоку;

уменьшение потока $\left(\frac{d\Phi}{dt} < 0\right)$ вызывает $\varepsilon_i > 0$ т. е. направления потока и поля индукционного тока совпадают. Знак «-» соответствует *правилу Ленца* — общему правилу для нахождения направления индукционного тока.



Правило Ленца

индукционный ток в контуре имеет всегда такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающему этот индукционный ток.

Возбуждение ЭДС индукции при движении контура в постоянном магнитном поле объясняется действием силы Лоренца, возникающей при движении проводника.



3. Индуктивность контура. Самоиндукция

Электрический ток, текущий в замкнутом контуре, создает вокруг себя магнитное поле, индукция которого, по закону Био – Савара – Лапласа, пропорциональна току. Сцепленный с контуром магнитный поток поэтому пропорционален току в контуре:

$$\Phi = LI,$$

где L — коэффициент пропорциональности, называемый **индуктивностью контура**.

При изменении силы тока в контуре будет изменяться также и сцепленный с ним магнитный поток; следовательно, в контуре будет индуцироваться ЭДС. Возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нем силы тока называется **самоиндукцией**



Единица индуктивности генри – (Гн): 1 Гн – индуктивность такого контура, магнитный поток самоиндукции которого при токе в 1 А равен 1 Вб $\left(\text{Гн} \equiv \frac{\text{Вб}}{\text{А}} \equiv \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}} \right)$.

Индуктивность соленоида

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l},$$

где N – число витков соленоида;

l – длина соленоида;

S – площадь соленоида;

μ – магнитная проницаемость вещества, из которого изготовлен сердечник соленоида.



Закон Фарадея для явления самоиндукции

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$$

Знак «-» обусловлен правилом Ленца, согласно которому наличие индуктивности в контуре приводит к замедлению изменения тока в нем.

Если ток со временем возрастает, $\frac{dI}{dt} > 0$ и $\varepsilon_s < 0$, т.е. ток самоиндукции направлен навстречу току, обусловленному внешним источником, и замедляет его возрастание. Если ток со временем убывает, $\frac{dI}{dt} < 0$ и $\varepsilon_s > 0$, т.е. индукционный ток имеет такое же направление, как и убывающий ток в контуре, и замедляет его убывание. Таким образом, контур, обладая определенной индуктивностью, приобретает электрическую инертность, заключающуюся в том, что любое изменение тока тормозится тем сильнее, чем больше индуктивность контура.



4. Токи при размыкании и замыкании цепи

При всяком изменении силы тока в проводящем контуре возникает ЭДС самоиндукции, в результате чего в контуре появляются дополнительные токи, называемые ***экстратоками самоиндукции***.

Экстратоки самоиндукции всегда направлены так, чтобы препятствовать изменениям тока в цепи, т. е. направлены противоположно току, создаваемому источником. При выключении источника тока экстратоки имеют такое же направление, что и ослабевающий ток. Следовательно, наличие индуктивности в цепи приводит к замедлению исчезновения или установления тока в цепи.



Рассмотрим процесс выключения тока в цепи, содержащей источник тока \mathcal{E} ЭДС, резистор сопротивлением R и катушку индуктивностью L . Под действием внешней ЭДС в цепи течёт постоянный ток I_0 .

При отключении источника тока сила тока в цепи будет изменяться по закону

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$

где τ – **время релаксации** – время, в течение которого сила тока уменьшается в e раз.

При замыкании цепи помимо внешней ЭДС \mathcal{E} возникает ЭДС самоиндукции \mathcal{E}_s , препятствующая возрастанию тока. Тогда значение силы тока в момент времени t

$$I = I_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right).$$



5. Энергия магнитного поля

Энергия магнитного поля, связанного с контуром $W = \frac{LI^2}{2}$.

Энергия магнитного поля внутри соленоида $W = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} V = \frac{BH}{2} V$ ($V = Sl$)