

Тема: Явление электромагнитной индукции

Поток магнитного поля Φ через произвольную поверхность S

Потоком магнитного поля Φ (эф) через произвольную поверхность S называется скалярная величина, равная поверхностному интегралу вида:

$$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S} = \int_S B dS \cos \alpha = \int_S B_n dS,$$

где $B_n = B \cos \alpha$ - проекция вектора $\vec{B}$ на нормаль $\vec{n}$ к элементу поверхности dS .
 $[\Phi] = B\delta$, Вебер.

Поток однородного магнитного поля Φ через плоскую поверхность S

Потоком однородного магнитного поля Φ через какую-либо плоскую поверхность S называется скалярная величина, равная

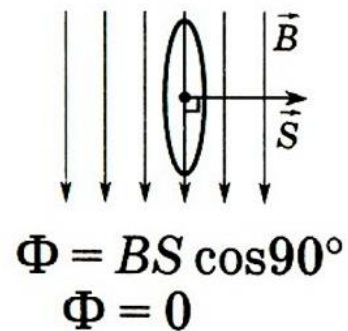
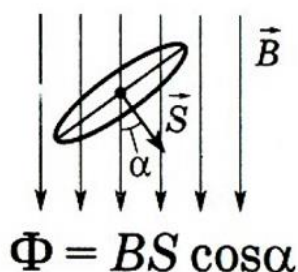
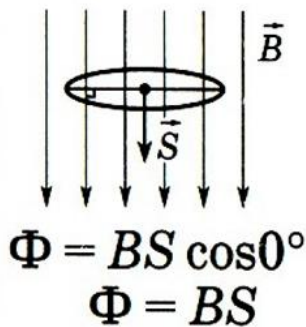
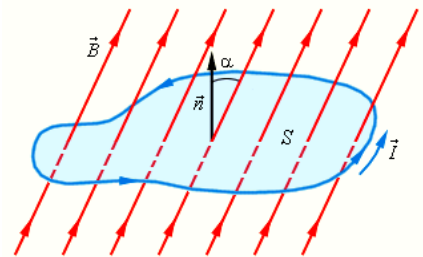
$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где Φ (эф) – магнитный поток, $[\Phi] = B\delta$ - Вебер,

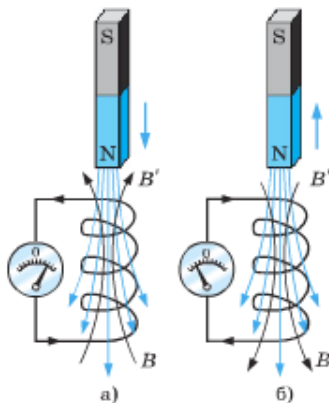
S – площадь контура, m^2 ;

$\vec{n}$ - вектор положительной нормали к плоскости контура,

α – угол между векторами $\vec{B}$ и $\vec{n}$.



Явление электромагнитной индукции



Электромагнитной индукцией называется явление возникновения в замкнутом проводящем контуре электрического тока при изменении магнитного потока через поверхность этого контура.

Или в более общем смысле:

Электромагнитной индукцией называется явление возникновения электродвижущей силы в замкнутом контуре при изменении магнитного потока через поверхность этого контура.

Физический смысл явления электромагнитной индукции: переменное магнитное поле создаёт вокруг себя вихревое электрическое поле, которое и является причиной возникновения тока в проводящем контуре.

Вихревое электрическое поле возникает всегда при изменении магнитного поля в не зависимости от того, в какой среде это происходит (то есть в вакууме, проводнике или диэлектрике).

Вихревое электрическое поле и его отличие от электростатического поля

1. Вихревое электрическое поле не связано с электрическими зарядами. Оно создаётся переменным во времени магнитным полем,
2. Силовые линии вихревого электрического поля (как и магнитного поля) всегда замкнуты.

Закон Фарадея для электромагнитной индукции

ЭДС электромагнитной индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}}$, возникающая в замкнутом контуре, прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность этого контура и существует в течение всего времени изменения магнитного потока:

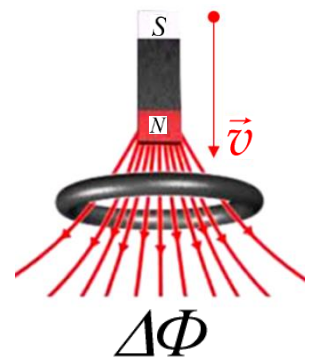
$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

где $\mathcal{E}_{\text{инд}}$ - ЭДС индукции, В, Вольт;

$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ - изменение магнитного потока через контур, Вб;

Δt - время изменения магнитного потока, с.

(знак минус в законе Фарадея позволяет через правило Ленца определить направление индукционного тока в замкнутом контуре).



Явление самоиндукции

Самоиндукцией называется явление возникновения в замкнутом проводящем контуре ЭДС индукции при изменении силы тока в этом контуре.

Индуктивность контура

Когда по замкнутому контуру течёт ток силой I , то он создаёт вокруг себя магнитное поле, которое пронизывает площадь, охватываемую этим контуром, создавая собственный магнитный поток $\Phi_{\text{собст}}$ через поверхность этого контура. Известно, что магнитный поток Φ пропорционален величине индукции магнитного поля B , которая, в свою очередь, пропорциональна силе тока I .

Таким образом:

$$\Phi_{\text{собст}} = LI,$$

где $\Phi_{\text{собст}}$ - собственный магнитный поток через поверхность контура, Вб;

I - сила тока в контуре, А;

L - индуктивность контура, Гн, Генри.

Индуктивность контура зависит только от его геометрических размеров и формы, а также от магнитных свойств среды, в которой он находится, и не зависит от материала контура и величины тока в нём.

Необходимо отметить, что если магнитная проницаемость среды, окружающей проводник, не зависит от индукции магнитного поля, создаваемого током, текущим по проводнику, то индуктивность данного проводника является постоянной величиной при любой силе тока, идущего в нём. Это имеет место, когда проводник находится в среде с диамагнитными или парамагнитными свойствами.

В случае ферромагнитной среды индуктивность контура зависит от силы тока, проходящего по проводнику.

Явление самоиндукции

Самоиндукцией называется явление возникновения в замкнутом проводящем контуре ЭДС индукции при изменении силы тока в этом контуре.

Закон Фарадея для явления самоиндукции

ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{сам}$, возникающая в замкнутом контуре, прямо пропорциональна скорости изменения силы тока в контуре и существует в течение всего времени изменения тока в контуре:

$$\mathcal{E}_{сам} = -\frac{d\Phi_{собст}}{dt} = -L \frac{dI}{dt},$$

где $\left[\mathcal{E}_{сам} \right] = В$ - ЭДС самоиндукции, Вольт,

$d\Phi_{собст} = \Phi_2 - \Phi_1$ - изменение собственного магнитного потока, Вб;

dt - время изменения собственного магнитного потока, с;

$d\Phi_{собст} = LdI$ - изменение собственного магнитного потока контура с током, Вб;

L - индуктивность контура или соленоида, Гн (Генри).

Среднее значение ЭДС самоиндукции $\langle \mathcal{E}_{сам} \rangle$ в одном контуре за какой-то промежуток времени Δt можно определить по формуле:

$$\langle \mathcal{E}_{сам} \rangle = -\frac{\Delta\Phi_{собст}}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

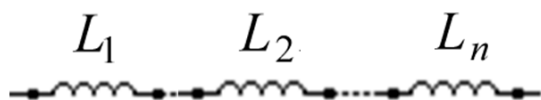
Если явление самоиндукции возникает в катушке с током из N одинаковых витков, то возникающая в катушке общая ЭДС самоиндукции в N раз больше, чем ЭДС в одном отдельно взятом витке:

$$\langle \mathcal{E}_{сам} \rangle = -N \frac{\Delta\Phi_{собст}}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где L - индуктивность катушки (соленоида), Гн.

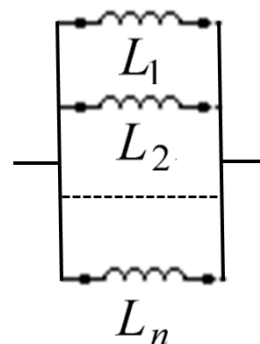
Соединение проводящих контуров

Последовательное соединение



$$L_{\text{общ}} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

Параллельное соединение

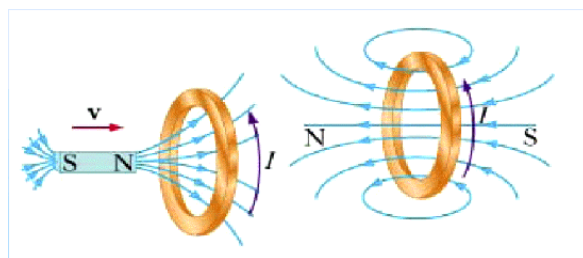


$$\frac{1}{L_{\text{общ}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

Направление индукционного тока в контуре

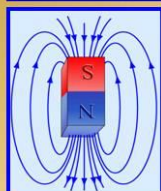
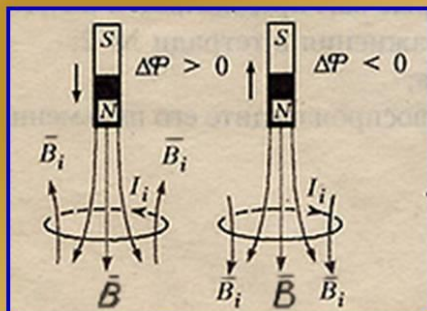
Направление индукционного тока зависит от того, возрастает или убывает магнитный поток, пронизывающий контур, а также от направления магнитного поля относительно контура и определяется по **правилу Ленца**:

возникающий в замкнутом контуре индукционный ток всегда имеет такое направление, что созданный им магнитный поток через площадь, ограниченную этим контуром, стремится скомпенсировать изменение магнитного потока, вызвавшего этот индукционный ток.



Из этого правила следует, что при возрастании магнитного потока возникающий индукционный ток имеет такое направление, чтобы порождаемое им магнитное поле было направлено против внешнего поля, противодействуя увеличению магнитного потока. Уменьшение магнитного потока, наоборот, приводит к появлению индукционного тока, создающего магнитное поле, совпадающее по направлению с внешним полем.

Алгоритм определения направления индукционного тока



$\Delta\Phi$ характеризуется изменением числа линий B , пронизывающих контур.

1. Определить направление линий индукции внешнего поля B (выходят из **N** и входят в **S**).
2. Определить, увеличивается или уменьшается магнитный поток через контур (если магнит вдвигается в кольцо, то $\Delta\Phi > 0$, если выдвигается, то $\Delta\Phi < 0$).
3. Определить направление линий индукции магнитного поля B' , созданного индукционным током (если $\Delta\Phi > 0$, то линии B и B' направлены в противоположные стороны; если $\Delta\Phi < 0$, то линии B и B' сонаправлены).
4. Пользуясь правилом буравчика (правой руки), определить направление индукционного тока.

ЭДС индукции, возникающая в прямолинейном проводнике, движущемся в магнитном поле

Опыт показывает, что в проводнике, движущемся в магнитном поле, возникает между его концами ЭДС индукции, которую можно определить по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = v B_{\perp} l \sin \alpha,$$

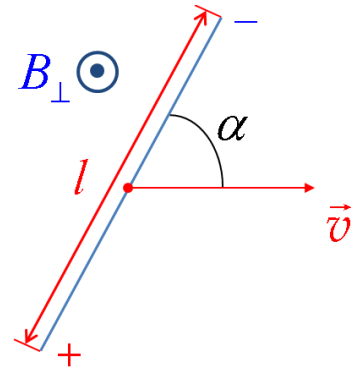
где $\mathcal{E}_{\text{инд}}$ - ЭДС индукции в проводнике, В;

$B_{\perp}$ - перпендикулярная составляющая вектора магнитной индукции к плоскости движения проводника, Тл ;

v - скорость проводника, м/с;

l - длина проводника, м;

α - угол между вектором скорости $\vec{v}$ и осью проводника.



Работа сил магнитного поля по перемещению проводника или контура с током

$$A_{\text{мп}} = I \Delta \Phi,$$

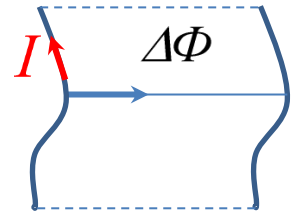
где $A_{\text{мп}}$ - работа сил магнитного поля, Дж;

I - сила тока в проводнике или контуре, А ;

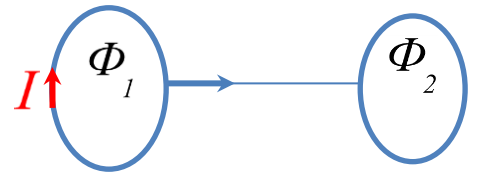
$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ - изменение магнитного потока через контур, Вб.

Возможны два случая:

1. Если перемещается проводник с током, то $\Delta \Phi$ - это поток магнитного поля через поверхность, которую «заметает» проводник при своём движении,



2. Если перемещается контур с током, то $\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ - это изменение потока магнитного поля через поверхность контура, при его движении.



Энергия магнитного поля контура или соленоида (катушки индуктивности) с током

Когда в контуре или соленоиде течёт ток, то вокруг них возникает магнитное поле, энергию которого можно определить по формуле:

$$W_{\text{мп}} = \frac{LI^2}{2}$$

где $W_{\text{мп}}$ - энергия магнитного поля, Дж;

L - индуктивность контура или соленоида, Гн;

I - сила тока в контуре или соленоиде, А.

