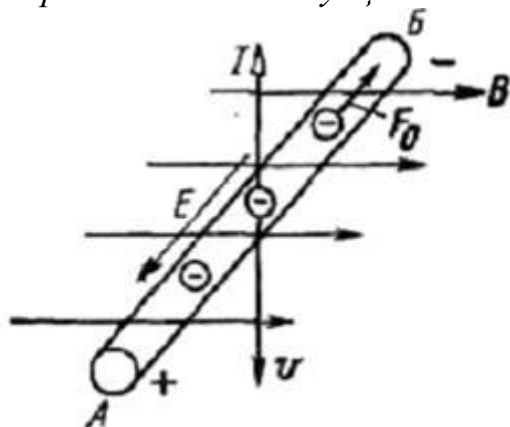


**Тема: Электромагнитная индукция.**

**Электромагнитная индукция. Закон электромагнитной индукции. ЭДС индукции в контуре.**

Суть закона электромагнитной индукции заключается в следующем:

*Всякое изменение магнитного поля, в котором помещен проводник произвольной формы, вызывает в проводнике появление ЭДС электромагнитной индукции.*



**Рис. Пояснение закона электромагнитной индукции.**



**Рис. Правило правой руки.**

Пусть проводник длиной  $l$  движется со скоростью  $v$ . Тогда на свободные электроны, движущиеся вместе с проводником, будет действовать сила Лоренца, направление которой определяется по правилу левой руки. Под действием этой силы электроны движутся вдоль

проводника, что приводит к разделению зарядов: на конце А проводника накапливаются положительные заряды, на конце Б — отрицательные. Но при разделении зарядов возникает электрическое поле, препятствующее этому процессу. Когда силы поля уравнивают силу Лоренца, разделение прекратится.

В процессе разделения зарядов силы Лоренца совершают работу. Для оценки этой работы можно определить появившуюся разность потенциалов между А и Б.

Получим напряжение между точками А и Б  $U_{AB} = Bvl$ .

Это напряжение равно Электродвижущей Силе электромагнитной индукции

$$E = Bv \sin \alpha$$

Направление ЭДС электромагнитной индукции определяют по правилу ПРАВОЙ РУКИ:

Правую руку располагают так, чтобы магнитные линии входили в ладонь, отогнутый под прямым углом палец совмещают с направлением скорости движения, тогда вытянутые четыре пальца покажут направление ЭДС электромагнитной индукции.

ПРОВОДНИК ДОЛЖЕН ДВИГАТЬСЯ ТАК, ЧТОБЫ ОН ПЕРЕСЕКАЛ ЛИНИИ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ. ДВИЖЕНИЕ ПРОВОДНИКА ВДОЛЬ ЛИНИЙ НЕ ИНДУЦИРУЕТ ВНЁМ ЭДС.

Рассмотрим движение замкнутого контура(рамки) в неоднородном магнитном поле

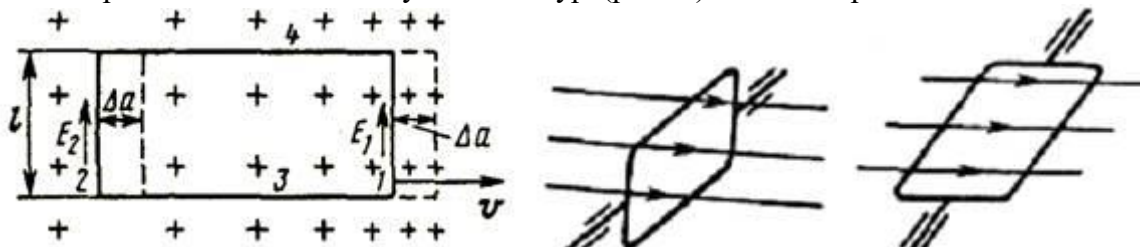


Рис. Схема индуцирования ЭДС магнитной индукции в рамке, движущейся в неоднородном магнитном поле и вращающейся в однородном магнитном поле.

Рамка перемещается в плоскости, перпендикулярной магнитному полю, направленному от нас, и в сторонах 1 и 2 рамки наводятся ЭДС. В сторонах 3 и 4 продольные ЭДС не наводятся, поскольку они не пересекают силовых линий магнитного поля. ЭДС в стороне 1 больше ЭДС в стороне 2, так как магнитное поле справа интенсивней.

ЭДС, индуцируемая в контуре при изменении магнитного потока, проходящего сквозь поверхность, ограниченную этим контуром, равна скорости изменения потока, взятой с отрицательным знаком.

$$e = - \Delta \Phi / \Delta t$$

Эта формулировка закона электромагнитной индукции справедлива для контуров любой произвольной формы.

Если контур состоит из  $\varpi$  последовательно соединенных витков и магнитный поток  $\Phi$  для каждого витка один и тот же, то индуцированная ЭДС

$$e = -\varpi \frac{\Delta \Phi}{t}$$

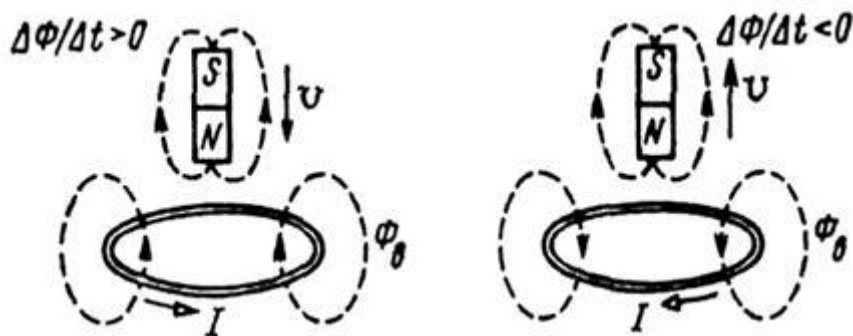
ДЛЯ ИНДУЦИРОВАНИЯ ЭДС В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ НЕОБХОДИМО ЧТОБЫ МАГНИТНЫЙ ПОТОК, ПРОНИЗЫВАЮЩИЙ КОНТУР, ИЗМЕНЯЛСЯ ПО ВЕЛИЧИНЕ.

Этого можно достигнуть разными способами:

- Рамка не меняет свою площадь относительно потока, а магнитное поле движется;
- Поле однородно, а рамка меняет свою форму (меняется площадь рамки относительно потока), например вращение рамки в однородном поле;
- Рамка движется в однородном поле с неравномерной скоростью.

### Принцип Ленца.

ЭДС, индуцируемая в контуре, стремится вызвать токи, препятствующие изменению магнитного потока. Следовательно, индуцированная в контуре ЭДС и ток всегда имеют такое направление, при котором они препятствуют причине, их вызывающей.



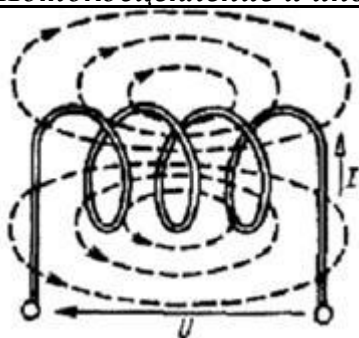
**Рис. К объяснению принципа Ленца.**

Показан виток, в который сначала вводят постоянный магнит. При этом магнитное поле увеличивается,  $\Delta \Phi / \Delta t > 0$ . В витке индуцируемая ЭДС и ток такого направления, при котором магнитное поле витка препятствует нарастанию внешнего магнитного поля, т. е. магнитный поток витка  $\Phi_{\text{в}}$  имеет направление, противоположное направлению магнитного поля постоянного магнита.

Когда постоянный магнит выводят из витка, магнитное поле уменьшается,  $\Delta \Phi / \Delta t < 0$ . Ток, возникающий в витке, создает магнитный поток, препятствующий убыванию магнитного поля постоянного магнита.

На основании этих рассуждений можно сделать вывод о том, что виток стремится сохранить неизменным свое магнитное состояние, т. е. сохранить постоянный магнитный поток, сцепленный с ним. Это явление можно сравнить с инерцией, которая наблюдается, например, при движении свободной материальной точки. Принцип инерции заключается в том, что свободная материальная точка стремится сохранить свое количество движения  $mv$ . Если под действием внешних сил изменяется количество движения материальной точки, то возникает сила инерции, противоположная внешним силам.

### Потокосцепление и индуктивность катушки.



**Рис. Магнитное поле катушки.**

Если через катушку проходит изменяющийся ток, то ее витки пересекаются переменным магнитным полем, вызываемым этим током, и на зажимах катушки возникает ЭДС индукции.

Для количественной характеристики этого процесса вводится понятия потокосцепления и индуктивности катушки. У катушки с током витки пронизывает различное число силовых линий: центральные витки — все силовые линии, крайние — только часть силовых линий. Следовательно, магнитные потоки различных витков различны. Эти магнитные потоки называют потоками самоиндукции  $\Phi_{\text{L}}$  так как они создаются током катушки.

Сумму потоков самоиндукции всех витков катушки называют потокосцеплением самоиндукции:

$$\Psi_L = \Phi_{L1} + \Phi_{L2} + \dots + \Phi_{L\omega}$$

Магнитный поток, пронизывающий катушку прямо пропорционален току, создавшему магнитный поток

$$\Psi_L = L I$$

$L$  - коэффициент пропорциональности, называемый индуктивностью катушки.

Единицей индуктивности является генри(Гн):  $L=1\text{Вб}/1\text{А}=1[\text{Гн}]$ .

ВОКРУГ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ КОНЦЕНТРИРУЕТСЯ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ\

ЭДС самоиндукции. Энергия магнитного поля. ЭДС взаимной индукции.

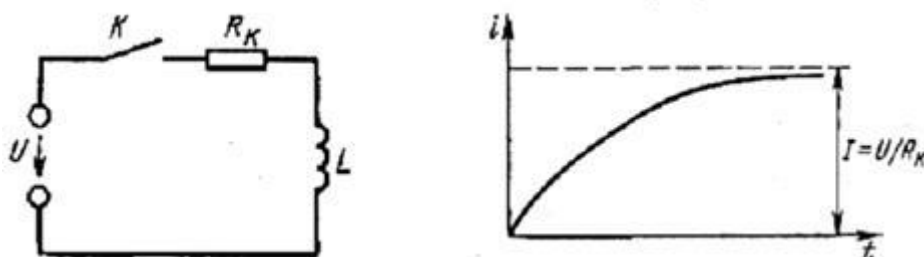


Рис. Схема индуцирования ЭДС самоиндукции в катушке и зависимость тока в катушке от времени при её подключению к источнику постоянного напряжения.

До замыкания ключа  $K$  ток в цепи  $I=0$ . После замыкания ключа  $K$  ток в цепи устанавливается не

мгновенно и лишь через определенное время достигает значения  $I=U/R_K$ .

Ток, проходящий через катушку, изменяется, а значит, изменяется поток  $\Phi_L$  каждого витка и

изменяется потокосцепление катушки  $\Psi_L$ .

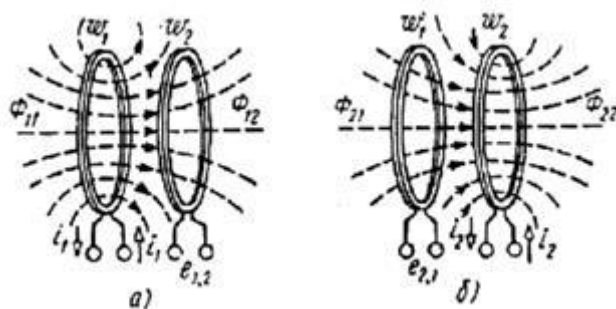
В каждом витке катушки индуцируется ЭДС  $e_L = -L \Delta I / \Delta t$

Самоиндукция – это явление возникновения ЭДС в катушке из-за изменения тока в этой катушке.

После размыкания ключа электрический ток уменьшается не сразу, а через определённое время из-за явления самоиндукции. То есть вырабатывается ЭДС самоиндукции, которая препятствует уменьшению тока. Это значит, что в катушке накопилась энергия, которая исчезает не сразу при размыкании ключа  $K$

$$W_L = L I^2 / 2$$

ЭДС взаимной индукции.



**Рис. Магнитосвязанные цепи.**

В том случае, когда переменное магнитное поле, созданное током одной катушки, пересекает витки второй катушки, и наоборот, на зажимах второй катушки возникает ЭДС, которую называют ЭДС взаимоиндукции.

Ток  $i_1$  в катушке  $\omega_1$  образует поток  $\Phi_{11}$ , часть которого  $\Phi_{12}$  индуцирует в катушке  $\omega_2$  эдс  $e_{1,2}$ .

Потокосцепление между  $\omega_1$  и  $\omega_2$  будет  $\Psi_{12} = M_{12} i_1$ , где  $M_{12}$  – коэффициент потокосцепления между  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

В свою очередь, эдс  $e_{1,2}$  катушки  $\omega_2$  создаёт ток  $i_2$ . Этот ток образует магнитный поток  $\Phi_{22}$ , часть которого  $\Phi_{21}$  пронизывает витки катушки  $\omega_1$  и индуцирует эдс  $e_{2,1}$  в катушке  $\omega_1$ .

Потокосцепление между  $\omega_2$  и  $\omega_1$  будет  $\Psi_{21} = M_{21} i_2$ , где  $M_{21}$  – коэффициент потокосцепления между  $\omega_2$  и  $\omega_1$ .

**ЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОИНДУКЦИИ ПРИМЕНЯЮТ ПРИ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ.**