

## Урок №3 (19.01.2007)

### ЭДС индукции. Закон Фарадея. Правило Ленца.

#### 1. Электромагнитная индукция

В 1820-1821 гг. были сделаны два открытия:

- электрический ток создает магнитное поле;
- со стороны магнитного поля на проводник с током действует сила.

Вопрос: может ли магнитное поле создавать электрический ток? В 1830-х годах Джозеф Генри и Майкл Фарадей ответили положительно на этот вопрос.

Основной вывод: при изменении магнитного поля в витке возбуждается электрический ток. По-другому: изменение магнитного поля приводит к появлению *ЭДС индукции*.

Еще несколько экспериментальных фактов:

- если поле не менять, но виток повернуть в нем, в витке начинает течь ток;
- если в постоянном поле виток «сплющить» – по нему течет ток.

#### 2. Закон электромагнитной индукции Фарадея.

Определим *магнитный поток*  $\Phi_B$  аналогично потоку электрического поля:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}.$$

Опыты Фарадея показывали, что при изменении магнитного потока, проходящего через контур, ЭДС, возникающая в этом контуре, пропорциональна скорости изменения потока:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}.$$

Единицей измерения магнитного потока в СИ служит вебер (Вб);  $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$ .

При  $N$  витках, закон электромагнитной индукции Фарадея приобретает вид:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt}.$$

**Правило Ленца:** ЭДС индукции возбуждает в контуре ток, индукция магнитного поля которого всегда противодействует первоначальному изменению магнитного потока.

*Правило Ленца фактически запрещает существование вечного двигателя, основанного на магнитном поле.*

Итак, ЭДС может быть индуцирована двумя способами: за счет 1) изменения индукции магнитного поля  $B$  или 2) изменения площади или ориентации витка.

#### 3. ЭДС, наводимая в движущемся проводнике.

Пусть у нас проводник длины  $l$  движется «перпендикулярно себе» со скоростью  $v$  в поле  $B$ , перпендикулярном  $v$  и  $l$ . Тогда заряды, находящиеся в нем, испытывают силу  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$  (*сила Лоренца*). Эта сила совершает работу (на длине провод-

ника)  $A = \vec{F} \cdot \vec{l} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{l}$ . Так как в нашем примере все перпендикулярно, векторы можно снять:  $A = qvBl$ . В итоге получается, что заряд под действием силы Лоренца приобретает энергию, как будто он проходит ЭДС  $\varepsilon = A/q$ . Итак, при движении проводника в магнитном поле, в нем возникает ЭДС  $\varepsilon = vBl$ , или в векторном виде:  $\varepsilon = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{l}$ .

На самом деле, с использованием закона Фарадея, то же выражение можно получить в общем виде. За время  $dt$  проводник проходит расстояние  $v dt$ , при этом площадь контура (представим, что проводник скользит по П-образной рамке) изменяется на  $dS = -lv dt$ . В соответствии с законом Фарадея  $\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{B dS}{dt}$ , или  $\varepsilon = lvB$ .

#### 4. Задачи.

1. (Меледин, 3.110) Кольцевой виток радиуса  $r$ , сделанный из проволоки с сопротивлением единицы длины  $\rho$ , находится в постоянном однородном магнитном поле, индукция которого  $\vec{B}$  перпендикулярна плоскости витка. Виток превратили в «восьмёрку», составленную из двух равных колец, не выводя при этом виток из его плоскости (т.е. соединили точки, находящиеся на концах диаметра). Какой заряд при этом пройдёт по проволоке?

*Дополнительный вопрос к предыдущей задаче: ЭДС, или по другому – разность потенциалов, возникает между некоторыми двумя точками. Что же это за точки в кольце?*

2. Проводник длины  $l = 1\text{ м}$  скользит по горизонтальным рельсам в вертикальном магнитном поле с индукцией  $B = 10^{-2}\text{ Тл}$ . Концы рельсов замкнуты на сопротивления  $R_1 = 1\text{ Ом}$  и  $R_2 = 2\text{ Ом}$  (см. рис.). Определить ток, текущий через проводник, если скорость проводника  $v = 10\text{ м/с}$ . Сопротивлением рельсов и проводника пренебречь.

