

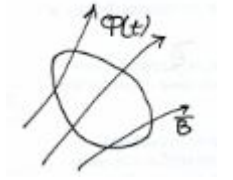
## Раздел II. Электричество и магнетизм.

### Глава 11. Электромагнитная индукция.

#### Энергия магнитного поля.

##### 1. Явление электромагнитной индукции.

Открыл Фарадей в 1831 г.

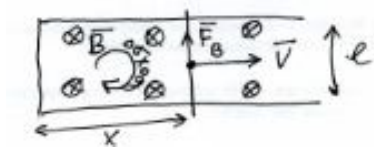


При изменении магнитного потока  $\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$ , пронизывающего контур, в контуре возникает ЭДС индукции:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Если контур замкнутый, то в нем течет ток. Направление индукционного тока определяет правило Ленца: индукционный ток направлен так, чтобы противодействовать причине его вызывающей. Явление не зависит от того каким способом происходит изменение  $\Phi(t)$  (изменяется  $B(t)$ , площадь контура  $S(t)$  или контур поворачивается).

**Пример:**



$$F_B = q v B$$

$$\varepsilon_{\text{инд}} = \frac{1}{q} \oint \vec{F}_{\text{стор}} \cdot d\vec{r} = \frac{1}{q} (-q v B \cdot l) = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = B S = B l x \Rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = B v l$$

В этом примере причина явления электромагнитной индукции сила Лоренца  $\vec{F}_B$  в подвижной перемычке.

Если контур содержит N витков то:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{d(N\Phi)}{dt} = -\frac{d\psi}{dt}$$

$$\psi = N\Phi \text{ - потокосцепление}$$

Проявление электромагнитной индукции: токи Фуко в массивных проводниках, трансформаторы набирают из пластин, микроволновые печи, скин-эффект.

##### 2. Явление самоиндукции.

Ток, текущий через контур сам создает магнитный поток, причем  $\psi \sim I$

$$\psi = LI \text{ где } L \text{ - индуктивность контура [Гн] (Генри)}$$

Если ток меняется, то в контуре возникает ЭДС самоиндукции:

$$\varepsilon_{\text{самоинд}} = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{d(LI)}{dt}$$

$$\varepsilon_{\text{самоинд}} = -L \frac{dI}{dt} \quad \text{при } L = \text{const}$$

Индуктивность соленоида:

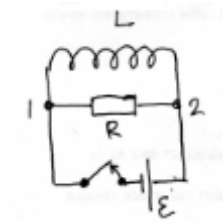


$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{NS \cdot \mu\mu_0 nI}{I} = \mu\mu_0 n^2 lS$$

$$L = \mu\mu_0 n^2 V \quad V = lS \text{ — объем соленоида}$$

$$n = \frac{N}{l} \text{ — плотность витков}$$

### 3. Энергия магнитного поля.



Рассмотрим следующий эксперимент. Первоначально ключ замкнут, через индуктивность  $L$  идет ток  $I_0$ . Затем ключ размыкают. Тепло, которое после размыкания выделится на  $R$ :

$$dQ = I U_{12} dt = I \left( -L \frac{dI}{dt} \right) \cdot dt$$

$$\int_0^{Q_0} dQ = -L \int_{I_0}^0 I dI$$

$$Q_0 = L \frac{I_0^2}{2}$$

Теплота  $Q_0$  выделилась за счет энергии, запасенной в катушке индуктивности:

$$W_L = L \frac{I^2}{2}$$

Если индуктивность представляет из себя соленоид, то:

$$W = \frac{\mu\mu_0 n^2 V I^2}{2} = \frac{\mu\mu_0 H^2 V}{2}$$

Плотность энергии:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{HB}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} \quad \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right]$$

В формулах для плотности энергии не содержатся величины, характеризующие индуктивность (число витков, размеры...), а содержатся только величины характеризующее магнитное поле и магнитные свойства вещества.  $\Rightarrow$  Магнитное поле само обладает энергией, а формулы описывают плотность энергии магнитного поля в веществе.

**Вопросы:**

1. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
2. В чем заключается явление самоиндукции?
3. ЭДС индукции и самоиндукции.
4. Что такое потокосцепление?
5. Что такое индуктивность?
6. Энергия катушки индуктивности.
7. Плотность энергии магнитного поля.