



ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

**Лекция «ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
ИНДУКЦИИ, САМОИНДУКЦИЯ»**

Классические опыты Фарадея

Опыт 1. Введение и выведение постоянного магнита в замкнутый на гальванометр соленоид:

- В моменты вдвигания или выдвигания магнита наблюдается отклонение стрелки гальванометра (возникает индукционный ток);
- направления отклонения стрелки при вдвигании и выдвигании магнита противоположны;
- отклонение стрелки гальванометра тем больше, чем больше скорость движения магнита относительно катушки.

Опыт 2. Две катушки вставляются одна в другую, концы одной из катушек, присоединяются к гальванометру, а через другую катушку пропускается ток:

- В моменты включения и выключения тока, в моменты его увеличения или уменьшения или при перемещении катушек друг относительно друга наблюдается отклонение стрелки гальванометра;
- направления отклонений стрелки гальванометра также противоположны при включении или выключении тока, его увеличении или уменьшении, сближении или удалении катушек.

Явление электромагнитной индукции

Электромагнитная индукция – физическое явление, заключающееся в возникновении электрического тока в замкнутом контуре при изменении потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром.

Закон электромагнитной индукции Фарадея: ЭДС

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

$$\varepsilon_i = - d\Phi/dt ,$$

где Φ - магнитный поток

Э.д.с. электромагнитной индукции выражается в вольтах.

$$\left[\frac{d\Phi}{dt} \right] = \frac{Вб}{с} = \frac{Н \cdot м^2}{А \cdot м \cdot с} = \frac{Дж}{А \cdot с} = \frac{А \cdot В \cdot с}{А \cdot с} = В$$

Правило Ленца- ЭДС индукции вызывает ток такого направления, чтобы препятствовать причине его возникновения.

Расчет электромагнитной индукции

ЭДС индукции в контуре, содержащем N витков:

$$\varepsilon_i = - N \cdot d\Phi/dt, \quad (1)$$

Магнитный поток:

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot \vec{n} dS, \quad (2)$$

где S – площадь поверхности контура.

ЭДС индукции в проводнике, перемещающемся в однородном магнитном поле:

$$\varepsilon_i = B \cdot v \cdot L \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

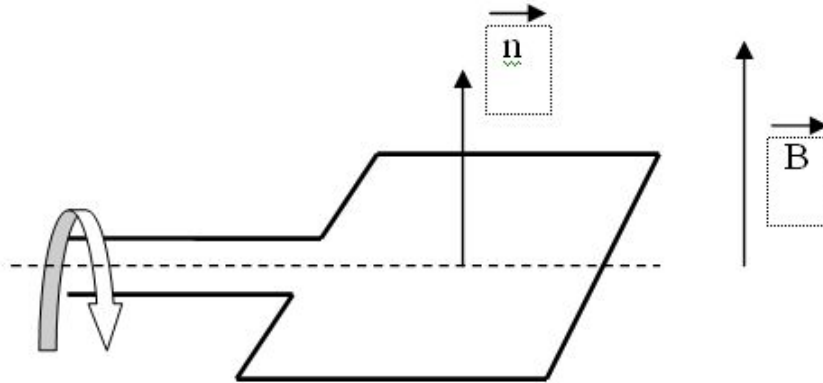
где B – вектор магнитной индукции,

L – длина проводника;

v – скорость перемещения проводника в однородном магнитном поле;

α – угол между направлениями векторов $\vec{B}$ и $\vec{v}$

Вращение рамки в магнитном поле



$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{d}{dt}(BS \cos(2\pi vt)) = NBS 2\pi v \sin(2\pi vt) \quad (1)$$

где N – число витков; Φ – магнитный поток; B - индукция магнитного поля;
 S - площадь рамки; v - частота вращения рамки.

Электрический индукционный ток в замкнутом контуре:

$$I = \varepsilon_i / R, \quad (2)$$

где R - сопротивление контура.

Применение явления электромагнитной индукции

- индукционные генераторы (постоянного и переменного тока)
- трансформаторы
- микрофоны и громкоговорители
- детекторы для обнаружения металлических предметов
- поезда на магнитной подушке
- считывание информации с магнитных лент

Природа ЭДС электромагнитной индукции

Возникновение ЭДС индукции в движущемся проводнике:

- свободные электроны внутри движущегося проводника под действием *силы Лоренца* смещаются к одному из концов проводника.
- на другом конце проводника остаются некомпенсированные положительные заряды
- между противоположными концами возникает разность потенциалов (ε_i).

Возникновение ЭДС индукции в неподвижных проводниках

(теория Максвелла):

Всякое переменное магнитное поле возбуждает в окружающем пространстве электрическое поле, которое и является причиной возникновения индукционного тока в проводнике.

Циркуляция вектора E_B этого поля по любому неподвижному контуру L проводника представляет собой ЭДС электромагнитной индукции:

$$\varepsilon_i = \oint E_B dl = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Вихревые токи (токи Фуко)

Вихревой ток (ток Фуко) - индукционный ток, возникающий в массивном сплошном проводнике, помещенном в переменное магнитное поле, который замкнут в толще проводника.

Проявление токов Фуко:

- силовое действие
- магнитный скин-эффект
- тепловое действие

Магнитный скин-эффект - явление вытеснения из ферромагнетика магнитного потока, изменяющегося с большой частотой.

Силовое действие токов Фуко

Силовое действие токов Фуко - торможение движущихся в сильном магнитном поле проводников из-за взаимодействия токов Фуко с магнитным полем.

Практическое применение :

- в успокоителях колебаний подвижных частей приборов и аппаратов, (пример - для демпфирования подвижных частей гальванометров, сейсмографов и др.)
- в индукционных тормозах, в которых массивный металлический диск вращается в поле электромагнитов.

Тепловое действие токов Фуко

Негативное проявление:

- потери энергии в магнитопроводах (в сердечниках трансформаторов и катушек переменного тока, в магнитных цепях машин).

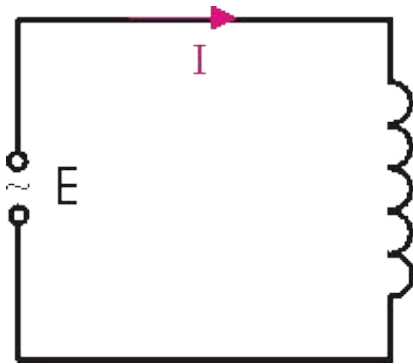
Использование на практике:

- в индукционных печах для плавления проводящих тел;
- прогрев металлических частей вакуумных установок для их дегазации;
- пайка, плавка и поверхностная закалка металлов;
- в бытовых микроволновых СВЧ-печах.

Явление самоиндукции.

Индуктивность контура.

Самоиндукция – возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нем силы тока.



$$\Phi = L \cdot I, \quad (1)$$

где L - индуктивность контура

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(LI) = -\left(L\frac{dI}{dt} + I\frac{dL}{dt}\right) \quad (2)$$

Если контур не деформируется и магнитная проницаемость среды не изменяется, то $L = \text{const}$ и

$$\varepsilon_i = -L \frac{dI}{dt} \quad (3)$$

Единица индуктивности в СИ – **генри** (Гн).

$$1 \text{ Гн} = 1 \text{ В} \cdot \text{с/А}.$$

Токи при замыкании и размыкании электрической цепи

Размыкание цепи:
$$I = I_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

где R - сопротивление цепи; τ_L - время релаксации. $\tau_L = L/R$

$$I = \frac{\varepsilon_{si}}{R} = -L \frac{dI}{dt} \cdot \frac{1}{R}, \quad \frac{dI}{I} = -\frac{R}{L} dt, \quad \ln \frac{I}{I_0} = -\frac{Rt}{L} = -\frac{t}{\tau},$$

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

Замыкание цепи
$$I = I_0 (1 - \exp(-\frac{t}{\tau}))$$

где $I_0 = \varepsilon/R$ – установившийся ток (при $t \rightarrow \infty$).



Благодарю за внимание