

Тема семинара:

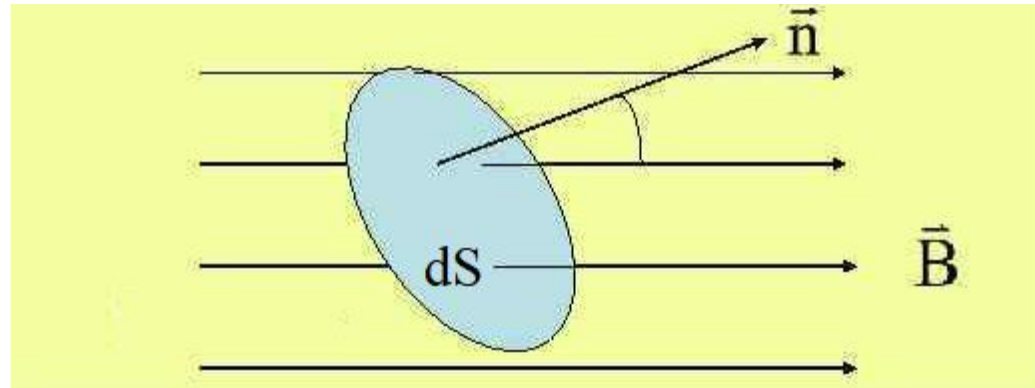
Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея.
Самоиндукция. Индуктивность. Энергия магнитного
поля.

Магнитный поток

• Поток вектора магнитной индукции \vec{B} (магнитным потоком) Φ через площадку dS называется скалярная физическая величина равная

$$d\Phi = \vec{B}d\vec{S} = B_n dS$$

$B_n = B\cos\alpha$ - проекция вектора \vec{B} на направление нормали \vec{n} к площадке dS , $d\vec{S}$ - вектор, модуль которого равен dS , а направление совпадает с направлением нормали \vec{n} к площадке, α - угол между векторами \vec{n} и \vec{B} .

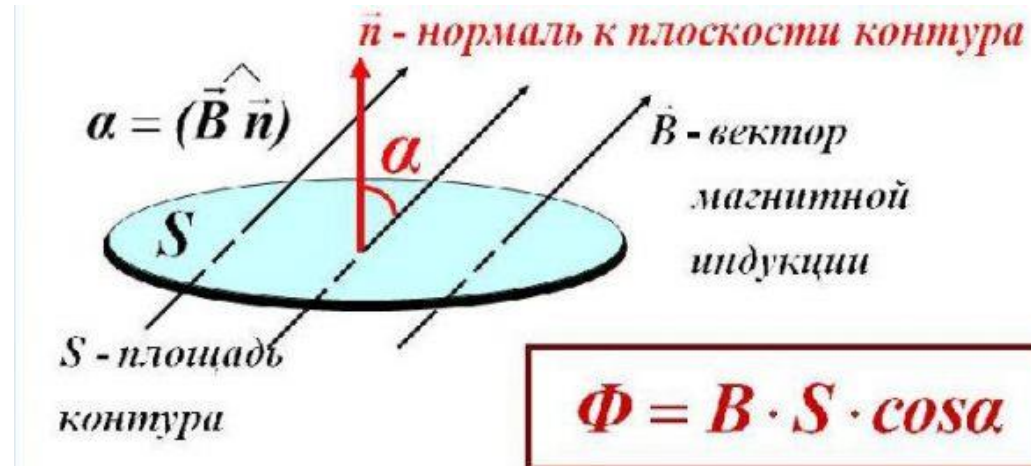


Магнитный поток

Поток вектора через произвольную поверхность равен интегралу по поверхности S :

$$\Phi = \int_S B_n dS$$

Для однородного магнитного поля и плоской поверхности S получим $\Phi = B_n S = B S \cos \alpha$. Единица измерения магнитного потока Вебер [Вб]. 1 Вб = 1 Тл·м². Один Вебер (1 Вб) – магнитный поток, проходящий через плоскую поверхность площадью 1 м², перпендикулярную однородному магнитному полю с индукцией $B = 1$ Тл.



Явление электромагнитной индукции

Явление электромагнитной индукции - это возникновение в замкнутом проводящем контуре электрического тока, обусловленное изменением потока вектора магнитной индукции через поверхность, ограниченную контуром.

Правило Ленца

Индукционный ток в контуре всегда направлен таким образом, что создаваемая этим током индукция магнитного поля стремится скомпенсировать изменение индукции магнитного поля, вызывающее этот ток.

Закон Фарадея. ЭДС индукции

Появление тока должно быть связано с возникновением в контуре электродвижущей силы – ЭДС индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}}$: если сопротивление контура R ,

$$I_{\text{инд}} R = \mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Закон электромагнитной индукции Фарадея

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Такая электродвижущая сила возникает в любом замкнутом контуре, если по каким-то причинам поток вектора \vec{B} через него $\Phi = \int_S B_n dS$ изменяется со скоростью $\frac{d\Phi}{dt}$.

Потокосцепление

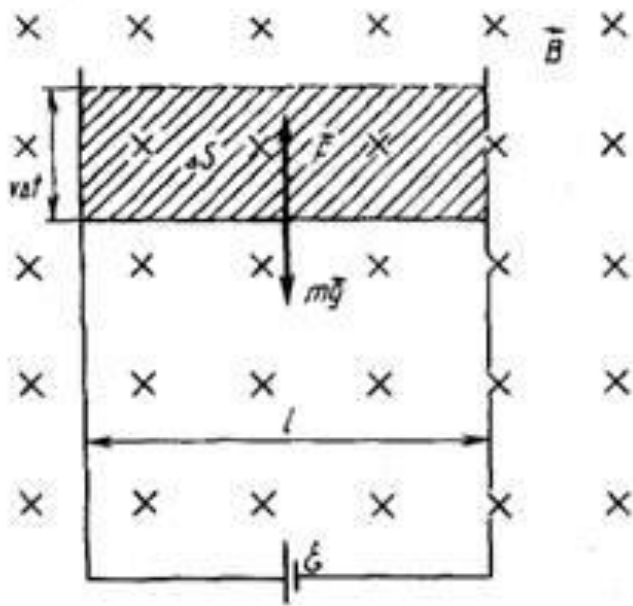
Если контур, в котором индуцируется ЭДС, состоит из N одинаковых витков (соленоид), и витки соединяются последовательно, то \mathcal{E} будет равна сумме ЭДС, индуцируемых в каждом из витков

$$\mathcal{E} = -\sum \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(\sum \Phi) = -\frac{d\Psi}{dt}$$

Величину $\Psi = \sum \Phi$ называют **потокосцеплением**. Если поток, пронизывающий каждый из витков, одинаков, то $\Psi = N\Phi$.

Задача 1

Горизонтально расположенный проводящий стержень, сопротивление которого R и масса m , может скользить без нарушения электрического контакта по двум вертикальным медным шинам. Расстояние между шинами равно l . Снизу их концы соединены с источником тока, ЭДС которого равна \mathcal{E} (рис.). Перпендикулярно плоскости, в которой находятся шины, приложено однородное магнитное поле с индукцией B . Найти постоянную скорость, с которой будет подниматься стержень. Сопротивлением шин и источника тока, а также трением пренебречь.



Задача 2

Проводник длиной $l = 0,5$ м движется со скоростью $v = 5$ м/с перпендикулярно силовым линиям в магнитном поле, индукция которого $B = 8$ мТл. Найти разность потенциалов, возникающую на концах проводника.

Явление самоиндукции

Самоиндукция – явление возникновения ЭДС индукции в контуре при изменении электрического тока в этом же контуре.

Когда ток идет по проводнику любой формы, создаваемая им индукция магнитного поля пропорциональна силе тока $B \sim I$ по закону Био-Савара-Лапласа. Поскольку также всегда поток $\Phi \sim B$, то для магнитного потока через контур и протекающего через него тока I имеем $\Phi \sim I$ или $\Phi = LI$, где коэффициент пропорциональности L называется **индуктивностью** проводника. Тогда ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_{\text{с.и.}} = -L \frac{dI}{dt}$$

Как и ранее, по правилу Ленца, *ток самоиндукции будет направлен так, чтобы скомпенсировать вызванное изменением тока изменение магнитной индукции.*

$$\mathcal{E}_{\text{с.и.}} = -L \frac{dI}{dt}$$

Задача 3

Катушка сопротивлением $R = 20$ Ом и индуктивностью $L = 0,01$ Гн находится в переменном магнитном поле. Когда создаваемый этим полем магнитный поток увеличился на $\Delta\Phi = 0,001$ Вб, ток в катушке возрос на $\Delta I = 0,05$ А. Какой заряд прошел за это время через поперечное сечение витка катушки?

Индуктивность соленоида

Если при изменении тока на 1 А за 1 секунду в контуре возникает ЭДС самоиндукции, равная 1 В, то говорят, что индуктивность L контура равна 1 Генри (Гн).

Индуктивность зависит только от геометрических свойств контура или катушки (формы и размеров), а также от магнитных свойств среды, в которую помещен контур.

Индуктивность соленоида – катушки, длиной l , сечением S , имеющей n витков на 1 метр $L = \mu_0 n^2 \cdot V$ ($V = lS$ – объем соленоида). Если соленоид заполнен веществом с магнитной проницаемостью μ , то $L = \mu_0 \mu n^2 \cdot V$

Задача 4

Сколько витков проволоки диаметром $d = 0,6$ мм имеет однослойная обмотка длинного соленоида, индуктивность которого $L = 1$ мГн и диаметр $D = 4$ см? Витки плотно прилегают друг к другу.

Энергия магнитного поля

Энергия магнитного поля соленоида с индуктивностью L , по которому идет ток I равна

$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

Энергия, приходящаяся на единицу объема соленоида, то есть плотность энергии магнитного поля

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{B_0^2}{2\mu_0}$$

Если в соленоиде имеется сердечник из ферромагнетика с большим значением μ , то

$L = \mu_0 \mu n^2 \cdot V$ и

$$w_m = \frac{\mu B_0^2}{2\mu_0}$$

Задача 5

Ток в катушке уменьшился с $I_1 = 12$ А до $I_2 = 6$ А. При этом энергия магнитного поля катушки уменьшилась на $\Delta W = 2,0$ Дж. Какова индуктивность катушки и энергия ее магнитного поля в обоих случаях?

ОТВЕТЫ

$$1. \quad v = \frac{\varepsilon}{Bl} - \frac{Rmg}{B^2 l^2}$$

$$2. \quad \Delta\varphi = Blv = 20 \text{ мВ.}$$

$$3. \quad \Delta q = (\Delta\Phi - L\Delta I) / R = 25 \text{ мкКл.}$$

$$4. \quad N = \frac{4Ld}{\mu_0 \mu \pi D^2} = 380.$$

$$5. \quad L = \frac{2\Delta W}{(I_1^2 - I_2^2)} = 37 \text{ мГн, } W_1 = \frac{LI_1^2}{2} = 2,66 \text{ Дж, } W_2 = \frac{LI_2^2}{2} = 0,67 \text{ Дж.}$$

Домашнее задание

№№ 3.7.30, 3.7.33, 3.7.35 , 3.7.37.