

Явление самоиндукции. Индуктивность.

Как было показано ранее, любое переменное магнитное создает вихревое электрическое поле. Если в некоторой цепи (рис.)

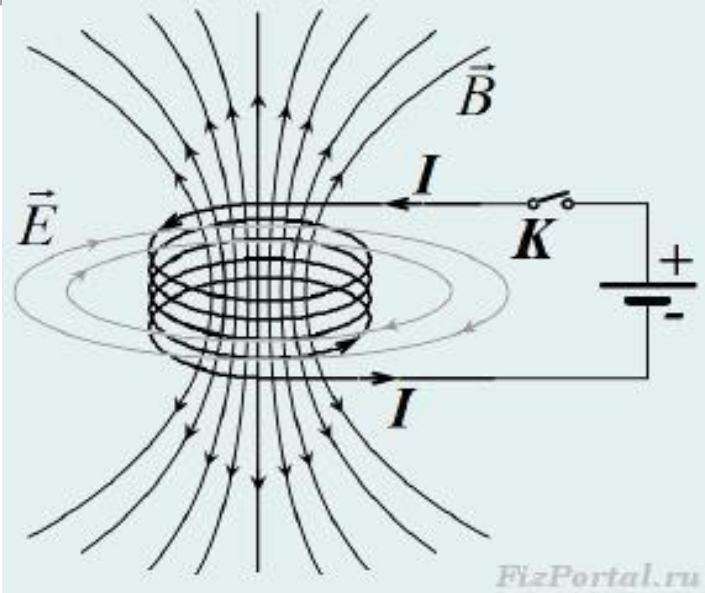


рис.

изменяется электрический ток, то этот ток создает изменяющееся магнитное поле B , которое приводит к появлению вихревого электрического поля E . Причем это поле появляется во всех точках пространства, где изменяется поле магнитное, в том числе и проводниках, образующих электрическую цепь. Таким образом, изменяющийся ток посредством переменного магнитного поля оказывает воздействие на себя самого. Явление возникновения ЭДС в цепи вследствие изменения силы тока в этой же цепи называется самоиндукцией. Это явление является частным случаем электромагнитной индукции, поэтому формула для ЭДС самоиндукции остается прежней

$$\mathcal{E}_{si} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (1)$$

где Φ - магнитный поток поля, создаваемого током в контуре. В соответствии с правилом Ленца возможный индукционный ток препятствует изменению магнитного потока через контур. Поэтому ЭДС самоиндукции препятствует изменению тока в цепи. Так если ток в цепи возрастает, то возрастает и магнитный поток, поэтому направление индукционного тока противоположно исходному току. При уменьшении силы тока в цепи, ЭДС индукции поддерживает затухающий ток.

Задание для самостоятельной работы.

1. Используя правила для определения направления индукции поля и направления индуцированного электрического поля, определите направления векторов этих полей в случаях включения и выключения тока в схеме на рис. 523.

Фигурирующий в формуле (1) магнитный поток всегда пропорционален силе тока в цепи I , так он является потоком поля, созданного этим током

$$\Phi = LI, (2)$$

коэффициент пропорциональности в этом выражении называется индуктивностью цепи. Используя это выражение для магнитного потока и закон электромагнитной индукции легко получить формулу для ЭДС самоиндукции, возникающей в цепи при изменении электрического тока

$$\mathcal{E}_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (3)$$

Величина индуктивности полностью определяется геометрическими размерами и формой цепи и магнитными свойствами среды, в которой расположена цепь. Часто индуктивность относят не ко всей цепи, а к некоторым ее элементам. Следует подчеркнуть, что любая электрическая цепь, любой ее элемент обладает индуктивностью. Однако во многих случаях явление самоиндукции оказывает настолько слабое влияние на ток в цепи, что часто им пренебрегают. Понятно, что это явление полностью отсутствует в цепях постоянного тока, когда токи и созданные ими магнитные поля не изменяются.

В таких цепях явления самоиндукции могут играть заметную роль только в моменты включения и выключения тока, когда поля могут изменяться достаточно резко и приводить к появлению сильных индукционных токов.

Индуктивность является важной характеристикой элементов цепи, поэтому в Международной системе единиц СИ введена специальная единица измерения Генри (сокращенно Гн), названная в честь американского физика Джозефа Генри (1797 - 1878).

Индуктивностью в 1 Генри обладает электрическая цепь (или элемент цепи), в которой при изменении тока на 1 Ампер за 1 секунду возникает ЭДС самоиндукции, равная 1 Вольту.

Наибольшей индуктивностью обладают катушки (соленоиды) с большим числом витков. В такой катушке ЭДС индукции возникает в каждом витке, поэтому ее суммарное значение может быть очень заметным. Рассчитаем индуктивность длинной цилиндрической катушки (соленоида) длиной l , содержащей N проволочных витков, плотно намотанных на сердечник радиуса r , изготовленный из материала с магнитной проницаемостью μ (рис. 524).

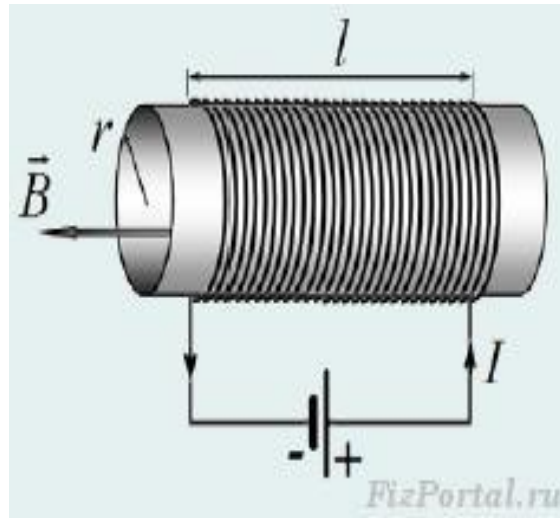


рис.

Если по обмотке соленоида протекает электрический ток силой I , то внутри его создается магнитное поле индуктивности B , направленное вдоль оси, причем модуль этого вектора равен

$$B = \mu\mu_0 nI, (4)$$

где $n = N/l$ - плотность намотки, т.е. число витков на единицу длины. Так как магнитное поле внутри соленоида однородное (если пренебречь краевыми эффектами), то магнитный поток через один виток равен $\Phi_1 = BS$ ($S = \pi r^2$ - площадь витка), а суммарный поток через все витки, т.е. поток через соленоид $\Phi = N\Phi_1$.

Часто для суммарного потока через катушку употребляют специальный термин - потокосцепление $\Psi = N\Phi_1$, однако мы в дальнейшем будем говорить о потоке через катушку, так как, во-первых, данная величина нас интересует для вычисления ЭДС в катушке, которая очевидно равна сумме ЭДС во всех витках; во-вторых, легко вообразить винтовую поверхность, опирающуюся на спиралевидную обмотку (рис.),

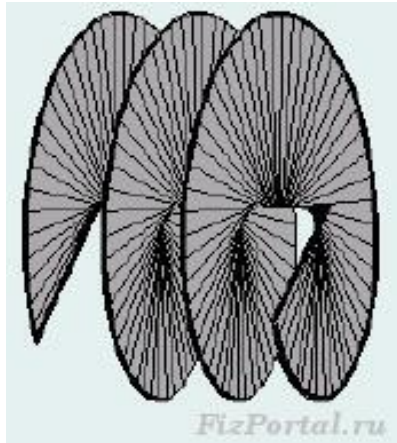


рис.

поток через которую и требуется подсчитать. К слову - эта поверхность называется геликоид.

Используя формулу (4) для индукции поля, запишем выражение для магнитного потока через обмотку $\Phi = NBS = N\mu\mu_0 nIS = \mu\mu_0 n^2 lSI = \mu\mu_0 n^2 VI$. (5)

Как и следовало ожидать, этот поток пропорционален силе тока в соленоиде, коэффициент пропорциональности, т.е. индуктивность соленоида равна

$$L = \mu\mu_0 n^2 V, \quad (6)$$

где $V = IS$ - объем соленоида.

Как следует из полученной формулы, индуктивность соленоида пропорциональна магнитной проницаемости сердечника. Это и понятно, токи намагничивания могут существенно усилить магнитное поле, а индуцированное электрическое поле создается любым переменным магнитным полем, не зависимо от того, что является его источником - токи проводимости, или токи намагничивания.

Для изготовления катушек с большой индуктивностью используют сердечники, изготовленные из ферромагнетиков с большой магнитной проницаемостью.

Используя формулу (6) для индуктивности соленоида, выразим размерность магнитной постоянной .

$$[\mu_0] = \frac{[L]}{[n]^2 [V]} = \frac{\Gamma_{\text{H}}}{\text{M}^{-2} \cdot \text{M}^3} = \frac{\Gamma_{\text{H}}}{\text{M}}$$



Генри Джозеф (1797–1878) – американский физик, член Национальной АН, ее президент (1866–1878).

Работы посвящены электромагнетизму. Первый сконструировал мощные подковообразные электромагниты (1828), применив многослойные обмотки из изолированной проволоки (грузоподъемность их достигала одной тонны), открыл в 1831 г. принцип электромагнитной индукции (М. Фарадей первый опубликовал открытие индукции). Построил электрический двигатель (1831), обнаружил (1832) явление самоиндукции и экстратоки, установил причины, влияющие на индуктивность цепи. Изобрел электромагнитное реле. Построил телеграф, действовавший на территории Принстонского колледжа, установил в 1842 г. колебательный характер разряда конденсатора.

Явление самоиндукции играет важную роль в электротехнике и радиотехнике. Как мы увидим дальше, благодаря самоиндукции происходит перезарядка конденсатора, соединенного последовательно с катушкой индуктивности, в результате в такой LC -цепочке (колебательном контуре) возникают электромагнитные колебания.

УСПЕХОВ В УЧЁБЕ !