

Урок 20 (22.01.2019)

Самоиндукция. Индуктивность. Индуктивность соленоида. Противо-ЭДС. Электродвигатель и электрогенератор.

1. Явление самоиндукции. Индуктивность.

Обобщим, что же мы знаем про взаимодействие электрических зарядов (токов) и магнитного поля:

- на движущийся заряд (ток) в магнитном поле действует сила Лоренца (Ампера);
- движущиеся заряды (ток) порождают вокруг себя (проводника) вихревое магнитное поле (законы Био-Савара и Ампера);
- изменяющееся магнитное поле, проходящее через проводящий контур, порождает в нём ЭДС (закон Фарадея), направление ЭДС определяется правилом Ленца.

Если мы возьмем проводящий контур, или катушку (соленоид) и пропустим по нему ток I , то в контуре (соленоиде) возникнет магнитное поле. В свою очередь это поле «породит» магнитный поток, проходящий через этот контур (соленоид), причём этот поток будет увеличиваться от нуля до некоторой величины (очевидно, т.к. мгновенно он возникнуть не может). Раз поток изменяется (увеличивается), то в контуре возникнет ЭДС индукции. Притом так, чтобы препятствовать пропускаемому току, по правилу Ленца и здравому смыслу, т.е. такая ЭДС, короткая создает магнитный поток, противоположный начальному.

Из этих размышлений следуют две вещи.

Первое: ток, протекающий в контуре, создает магнитный поток, проходящий через этот контур.

Второе: возникающая ЭДС имеет полярность, противоположную порождающему её току. Такую ЭДС называют *противо-ЭДС*, или *ЭДС самоиндукции*.

Первое явление называется *самоиндукцией*. При этом, очевидно, возникающий магнитный поток пропорционален току, его порождающему:

$$\Phi = LI,$$

где L – коэффициент пропорциональности, называемый *индуктивностью*.

Индуктивность зависит от формы контура (соленоида), количества витков, материала сердечника (а что такое сердечник?) и т.д. Если у нас есть готовая катушка, то мы можем определить экспериментально её индуктивность.

В системе СИ индуктивность измеряют в генри (Гн). Индуктивность контура равна 1 Гн, если при скорости изменения силы тока в нем, равной 1 А/с, возникает ЭДС самоиндукции 1 В.

По закону Фарадея

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}.$$

Индуктивность соленоида.

Обычно индуктивность определяют экспериментально, или считают по эмпирическим инженерным формулам. Тем не менее, можно «в лоб» посчитать индуктивность соленоида.

Мы вывели ранее поле соленоида:

$$B = \mu_0 n I ,$$

Значит, поток через один виток:

$$\Phi_1 = B S ,$$

а через все витки:

$$\Phi = B N S = \mu_0 n^2 l S I = L I .$$

Следовательно, по определению индуктивности:

$$L = \mu_0 n^2 l S = \mu_0 n^2 V .$$

Заметим, что обычно индуктивность в задаче задаётся явно, и её считать не нужно.

2. Генератор и электродвигатель.

Простейшая модель электродвигателя – проводящая планка сопротивления R , которая может скользить по рельсам, в перпендикулярном магнитном поле. Если к рельсам приложить напряжение U , то через планку пойдёт ток $I = U/R$ и на неё начинает действовать сила Ампера $F_A = \vec{I} \times \vec{B}$. В результате планка начинает двигаться. Но, как мы уже знаем, на отрезке провода, движущегося перпендикулярно линиям магнитного поля, возникает ЭДС $\varepsilon = -\vec{l} \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$, где знак минус показывает, что возникающая ЭДС направлена в противоположную сторону к идущему по проводнику току. Такая ЭДС в данном случае называется *противо-ЭДС*, т.к. она уменьшает суммарное напряжение, приложенное к планке.

Если планка движется без трения, то в результате противо-ЭДС станет равна внешнему напряжению: $\varepsilon = -U$, ток прекратится и планка продолжит равномерное движение.

Однако если планку двигать искусственно с помощью внешней силы, то она, наоборот, начнёт «вырабатывать» напряжение.

Из этого примера видно, что электрогенератор и электродвигатель – в сущности одно и то же... Аналогично можно рассмотреть вращение рамки в магнитном поле: если по рамке пустить ток, то она вращается (электродвигатель), а если её вращать внешними силами, то на концах рамки возникает ЭДС.