

Урок 13 (20.02.2007)

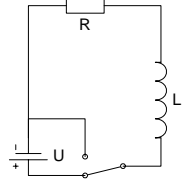
Энергия магнитного поля. Магнитная проницаемость.

0. Мысленный эксперимент.

Представим себе схему, состоящую из последовательно соединённых источника тока, сопротивления и соленоида (катушки индуктивности, как мы будем соленоид называть в электрических схемах). Предположим, схема у нас находится в стационарном состоянии, и по ней течёт постоянный ток.

Представим, теперь, себе, что источник тока мгновенно закорачивают. Что произойдет в этом случае?

Если бы в схеме не было катушки индуктивности, то, в соответствии с законом Ома ток бы мгновенно прекратился (т.е. ЭДС мгновенно становится равной нулю). Но теперь у нас при уменьшении тока в катушке возникнет ЭДС индукции, стремящаяся воспрепятствовать изменению тока в катушке (и, следовательно, изменению магнитного потока, пронизывающего контур). Т.е. у нас ток мгновенно не прекратится! Некоторое время без источника ЭДС в схеме будет циркулировать ток, и значит, будет выделяться тепло на сопротивлении. Это в свою очередь значит, что после отключения батареи в схеме осталась энергия – в катушке индуктивности.



1. Расчет энергии магнитного поля.

Очевидно, что в конце концов в нашем мысленном эксперименте вся энергия, запасённая в системе выделится в виде джоулевой теплоты. За время Δt на сопротивлении R выделяется количество теплоты

$$\Delta Q = I^2 R \Delta t.$$

По закону Ома ток в цепи будет равен (когда батарея уже отключена!)

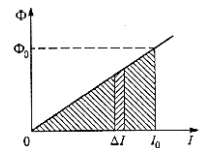
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{L}{R} \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где ε – возникающая в схеме ЭДС самоиндукции.

Подставляя ток в выражение для выделяющейся теплоты, получим:

$$\Delta Q = -LI_{\Delta} I = -\Phi(I)_{\Delta} I.$$

Т.к. $\Phi(I) \sim I$, то график функции $\Phi(I)$ от тока будет представлять собой прямую, а ΔQ на нём будет соответствовать площадь «столбика» (см. рис.) Тогда полное количество выделившейся теплоты, будет равно площади под графиком, т.е. $1/2 \Phi_0 I_0$. Другими словами можно сказать, что энергия магнитного поля W , создаваемого током I в катушке с индуктивностью L , равна



$$W = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi^2}{2L}.$$

2. Объемная плотность энергии магнитного поля.

Здесь можно пофилософствовать на тему: «что это за энергия – поля или катушки с током?»

Рассмотрим длинный соленоид с количеством витков на единицу длины n . Его индуктивность равна $L = \mu_0 n^2 V$, где $V = lS$ – объем соленоида. При этом поле внутри него равно $B = \mu_0 nI$, откуда $I = \frac{B}{\mu_0 n}$. Подставляя это в формулу для энергии магнитного поля $W = \frac{LI^2}{2}$,

получим:

$$W = \frac{1}{2\mu_0} B^2 V,$$

или

$$w = \frac{B^2}{2\mu_0},$$

где w – объемная плотность энергии магнитного поля.

3. Магнитная проницаемость вещества.

Если в соленоид поместить сердечник то его индуктивность изменится. Если старую индуктивность обозначить через L_0 , а новую, с сердечником, через L , то безразмерное отношение

$$\frac{L}{L_0} = \mu$$

называют *относительной магнитной проницаемостью* вещества.

В основном вещества делятся на три группы:

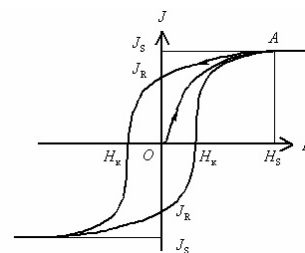
- ферромагнетики ($\mu \gg 1$) – железо, кобальт, никель;
- парамагнетики ($\mu \geq 1$) – алюминий, платина, кислород;
- диамагнетики ($\mu < 1$) – медь, серебро, висмут.

Магнитоупорядоченность веществ обычно связана с существованием у электронов собственных магнитных моментов, но это сложная теория и мы её мучить не будем.

4. Намагничивание. Явление гистерезиса.

Вектор намагничивания.

Магнитный гистерезис – явление зависимости вектора намагничивания и вектора напряженности магнитного поля в веществе не только от приложенного внешнего поля, но и от истории данного образца. Магнитный гистерезис обычно проявляется в ферромагнетиках – Fe, Co, Ni и сплавах на их основе. Именно магнитным гистерезисом объясняется существование постоянных магнитов. (Википедия)



Магнито-мягкие материалы – остаточная намагниченность мала. Из них делают сердечники соленоидов и трансформаторов.

Магнито-жесткие материалы – остаточная намагниченность велика. Из них делают постоянные магниты.