

67 ЭДС самоиндукции и взаимоиндукции.

Принцип действия трансформатора

При изменении собственного потокоцепления в контуре или катушке наводится ЭДС самоиндукции e_L , а при изменении взаимного потокоцепления – ЭДС взаимоиндукции.

Изменение собственного потокоцепления обычно является следствием изменения собственного тока катушки:

$$e_L = -\frac{d\Psi_L}{dt} = -\frac{d(Li)}{dt},$$

или

$$e_L = -L \frac{di}{dt}. \quad (7.8)$$

ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения тока $\frac{di}{dt}$. Она противодействует изменению тока, т. е. при увеличении тока препятствует его росту, а при уменьшении задерживает его падение (правило Ленца).

Если изменение тока в катушке является следствием изменения приложенного к ней напряжения, то ЭДС самоиндукции направлена против приложенного напряжения, когда ток растёт, и совпадает по направлению с напряжением, когда ток уменьшается.

Чем быстрее изменяется ток, тем больше противодействие его росту или падению. Однако это противодействие зависит не только от скорости изменения тока, но и от конструкции катушки, что в формуле (7.8) выражается множителем L , т. е. индуктивностью катушки.

Для системы магнитно-связанных катушек (см. рис. 5.6) ЭДС взаимной индукции

$$e_{2м} = -\frac{d\Psi_{12}}{dt}; \quad e_{1м} = -\frac{d\Psi_{21}}{dt}.$$

Изменение взаимного потокоцепления может быть следствием изменения тока в одной из катушек или изменения коэффициента связи. Предположим, ток i_1 изменяется в первой катушке. ЭДС взаимной индукции $e_{2м}$ во второй катушке пропорциональна скорости изменения этого тока:

$$e_{2м} = -\frac{d\Psi_{12}}{dt} = -M \frac{di_1}{dt}. \quad (7.9)$$

Аналогично при изменении тока i_2 ЭДС взаимной индукции в первой катушке

$$e_{1м} = -\frac{d\Psi_{21}}{dt} = -M \frac{di_2}{dt}. \quad (7.10)$$

В том и в другом случае коэффициентом пропорциональности является взаимная индуктивность системы M .

Правило Ленца в применении к такой системе указывает на то, что изменение тока в одной катушке встречает противодействие со стороны другой катушки.

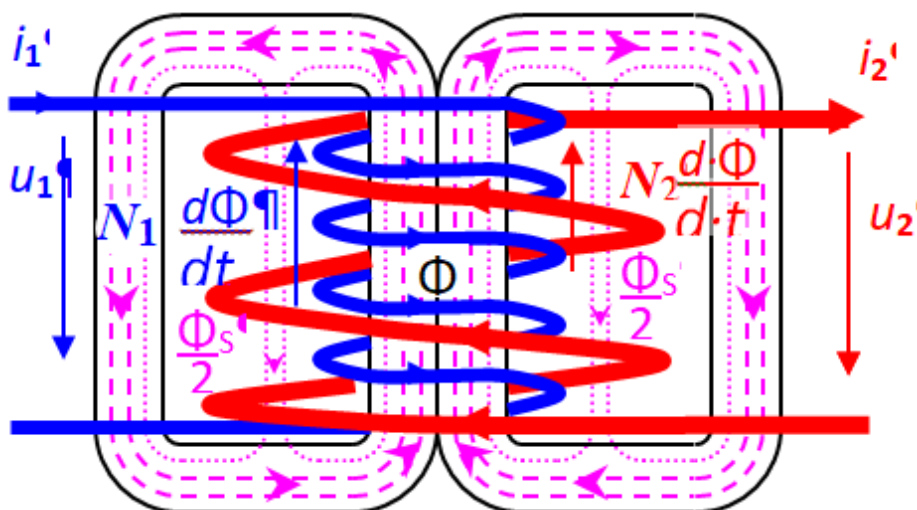
Выражение (7.8) показывает, что ЭДС самоиндукции появляется в контуре или катушке при изменении собственного тока контура.

Выражения (7.9) и (7.10) показывают, что ЭДС взаимной индукции появляется в контуре при изменении тока в соседнем контуре.

7.6. Принцип действия трансформатора

Наглядный пример практического использования явления взаимной индукции – работа трансформатора напряжения. Трансформатор – статический электромагнитный аппарат для изменения значения напряжения электрического тока.

Принципиальная схема трансформатора напряжения (рис. 7.4) имеет магнитопровод из электротехнической стали и две обмотки на магнитопроводе: первичную с числом витков N_1 и вторичную с числом витков N_2 . Обмотки выполнены из медного провода.



Первичной обмоткой трансформатор включается в сеть переменного напряжения u_1 , и в ней возникает переменный ток i_1 . К вторичной обмотке подключается приемник электрической энергии.

Рассмотрим трансформатор с разомкнутой цепью вторичной обмотки, т. е. в режиме холостого хода.

При переменном токе в первичной обмотке создается переменный магнитный поток Φ , который замыкается по стальному сердечнику и образует потокоцепление с обеими обмотками. Таким образом, в трансформаторе обмотки электрически между собой не связаны, а связаны переменным магнитным потоком.

В обеих обмотках наводится ЭДС:

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Отношение ЭДС

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} = n.$$

Отношение количества витков обмоток трансформатора называется коэффициентом трансформации.

Знак «-» показывает, что когда магнитный поток нарастает ($d\Phi/dt > 0$), ЭДС самоиндукции $e_1 = -N_1 d\Phi/dt$ направлена навстречу создающему его току, это учтено в направлении стрелки на схеме замещения. При подключении потребителя к вторичной обмотке N_2 по ней протекает ток i_2 , создающий, магнитодвижущую силу $N_2 i_2$ (положительное направление на рисунке, по правилу буравчика, вниз), которая стремится ослабить магнитный поток связи Φ . Однако снижение Φ приводит к уменьшению ЭДС $e_1 = -w_1 d\Phi/dt$, мешающей току первичной обмотки. Ток i_1 увеличивается.

Увеличение первичного тока i_1 вызывает подмагничивание сердечника, и, в результате, магнитный поток Φ уменьшается незначительно.

Отбор энергии от трансформатора по вторичной обмотке автоматически увеличивает её поступление из сети по первичной, а пульсирующий магнитный поток Φ обеспечивает передачу этой энергии с мощностью $S = U_1 I_1 \approx U_2 I_2$ и преобразование с коэффициентом трансформации $k = N_1/N_2$ (уменьшение напряжения с одновременным увеличением тока).

Отношение ЭДС при холостом ходе можно заменить отношением напряжений на зажимах обмоток, учитывая, что $u_2 = e_2$ и $u_1 \approx e_1$ ($u_1 > e_1$ на величину падения напряжения в обмотке, которое при холостом ходе мало). Следовательно,

$$u_2 = u_1 \frac{N_2}{N_1}.$$

Таким образом, при $N_2 > N_1$ ($u_2 > u_1$) трансформатор повышает, а при $N_2 < N_1$ ($u_2 < u_1$) понижает напряжение.

Если к вторичной обмотке подключить приемник энергии, то в ее цепи возникает ток i_2 , и в приемник будет поступать электрическая энергия из сети через трансформатор. При этом передача энергии из первичной обмотки во вторичную осуществляется посредством магнитного поля.