

ИНДУКТИВНОСТЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

В. МОЖАЕВ

ПРИ ПРОТЕКАНИИ ТОКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОМОИМО электрического поля (в проводящих элементах цепи) возникает и магнитное поле, вызванное упорядоченным движением свободных зарядов. Величина, характеризующая магнитные свойства электрической цепи, называется индуктивностью. Ток, текущий в проводящем контуре, создает в окружающем пространстве магнитное поле. Магнитный поток, пронизывающий этот контур, прямо пропорционален току: $\Phi = LI$. Коэффициент пропорциональности L и называют индуктивностью, или коэффициентом самоиндукции контура. Индуктивность зависит от размеров и формы контура, а также от магнитной проницаемости окружающей среды.

Индуктивность соединительных проводов электрической цепи обычно мала (ее часто называют паразитной индуктивностью). Специальные элементы с большой индуктивностью называют катушками индуктивности. Как правило, катушка индуктивности представляет собой достаточно большое количество витков изолированного провода, намотанного на цилиндрический или тороидальный каркас. Для увеличения индуктивности каркасы заменяют магнитными сердечниками в виде цилиндров или торов.

Индуктивность L катушки индуктивности, через которую протекает ток I , напрямую связана с энергией W_m магнитного поля этого тока:

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

Если провести аналогию с механическими явлениями, то магнитную энергию можно сопоставить кинетической энергии тела

$$W_k = \frac{mv^2}{2},$$

где m – масса тела, v – его скорость. При этом индуктивность будет играть роль массы, а ток – скорости. Поэтому понятно, что индуктивность определяет инерционные свойства тока.

А теперь перейдем к разбору конкретных задач, в которых присутствует индуктивность.

Задача 1. В электрической схеме, параметры которой указаны на рисунке 1, в начальный момент ключи K_1 и K_2 разомкнуты. Сначала замыкают ключ K_1 , а когда напряжение на конденсаторе достигнет значения $U_0 = E/2$, замыкают ключ K_2 . Определите напряжение на катушке индуктивности

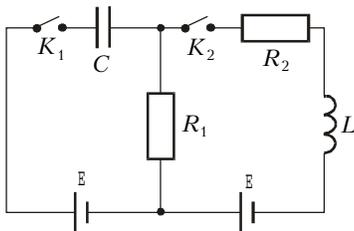


Рис. 1

сразу после замыкания ключа K_2 и напряжение на конденсаторе в установившемся режиме. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

Сначала рассмотрим, что будет происходить в левой части схемы после замыкания ключа K_1 . Сразу после замыкания ключа напряжение на конденсаторе останется равным нулю, и в цепи потечет ток $I_0 = E/R_1$ – это следует из закона Ома для замкнутой цепи. Затем напряжение на конденсаторе будет расти, а ток в цепи будет падать. В тот момент, когда напряжение на конденсаторе достигнет значения U_0 , напряжение на резисторе сопротивлением R_1 будет равно

$$U_1 = E - U_0 = \frac{E}{2}$$

(сверху будет «+», а снизу «-»). В этот момент мы замыкаем ключ K_2 . При этом возникает замкнутая цепь, которая содержит индуктивность L . Сразу после замыкания ключа K_2 ток через резистор сопротивлением R_2 , катушку индуктивности и батарею (правая часть схемы) будет равен нулю, а напряжение на резисторе сопротивлением R_1 останется неизменным. Отсутствие этого начального тока связано с инерционностью катушки индуктивности – появление небольшого тока в катушке приводит к возникновению в ее обмотке ЭДС индукции, которая по правилу Ленца «направлена» против этого тока и таким образом регулирует его постепенное нарастание. По закону Ома для правой части схемы можно записать

$$E = U_L - U_1.$$

Отсюда находим напряжение на катушке индуктивности сразу после замыкания ключа K_2 :

$$U_L = E + U_1 = \frac{3}{2}E.$$

В установившемся режиме в правой части схемы будет течь постоянный ток (направленный по часовой стрелке)

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2},$$

и на резисторе сопротивлением R_1 установится напряжение

$$U_{1уст} = IR_1 = \frac{R_1 E}{R_1 + R_2}$$

(в этом случае «+» снизу, а «-» сверху). По закону Ома для левого контура можно записать

$$E = U_C - U_{1уст}.$$

Отсюда получаем установившееся напряжение на конденсаторе:

$$U_C = E + U_{1уст} = \frac{(2R_1 + R_2)E}{R_1 + R_2}.$$

Задача 2. В схеме, изображенной на рисунке 2, катушки с индуктивностями L_1 и L_2 закорочены через идеальный диод D . В начальный момент ключ K разомкнут, а конденсатор емкостью C заряжен до напряжения U_0 . Через некоторое время после замыкания ключа напряжение на конденсаторе становится равным нулю. Найдите ток через катушку индуктивностью L_1 в этот момент времени. Затем конденсатор перезаряжает

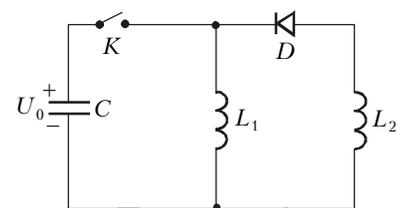


Рис. 2