

## Катушка индуктивности в цепи переменного тока

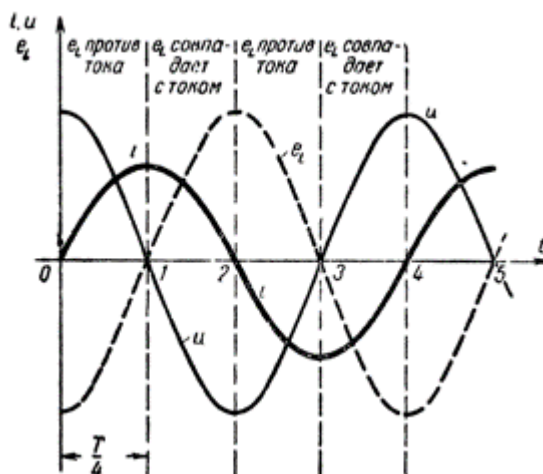
Рассмотрим цепь, содержащую в себе **катушку индуктивности**, и предположим, что активное сопротивление цепи, включая провод катушки, настолько мало, что им можно пренебречь. В этом случае подключение катушки к источнику постоянного тока вызвало бы его короткое замыкание, при котором, как известно, сила тока в цепи оказалась бы очень большой.

Иначе обстоит дело, когда катушка присоединена к источнику переменного тока. Короткого замыкания в этом случае не происходит. Это говорит о том, что **катушка индуктивности оказывает сопротивление проходящему по ней переменному току**.

Каков характер этого сопротивления и чем оно обуславливается?

Чтобы ответить на этот вопрос, вспомним явление самоиндукции. Всякое изменение тока в катушке вызывает появление в ней ЭДС самоиндукции, препятствующей изменению тока. Величина ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна величине индуктивности катушки и скорости изменения тока в ней. Но так как переменный ток непрерывно изменяется, то **непрерывно возникающая в катушке ЭДС самоиндукции создает сопротивление переменному току**.

Для уяснения процессов, происходящих в цепи переменного тока с катушкой индуктивности, обратимся к графику. На рисунке 1 построены кривые линии, характеризующие соответственно ток в цепи, напряжение на катушке и возникающую в ней ЭДС самоиндукции. Убедимся в правильности произведенных на рисунке построений.



Цепь переменного тока с катушкой индуктивности

С момента  $t = 0$ , т. е. с начального момента наблюдения за током, он начал быстро возрастать, но по мере приближения к своему максимальному значению скорость нарастания тока уменьшалась. В момент, когда ток достиг максимальной величины, скорость его изменения на мгновение стала равной нулю, т. е. прекратилось изменение тока. Затем ток начал сначала медленно, а потом быстро убывать и по истечении второй четверти периода уменьшился до нуля. Скорость же изменения тока за эту четверть периода, возрастая от нуля, достигла наибольшей величины тогда, когда ток станет равным нулю.

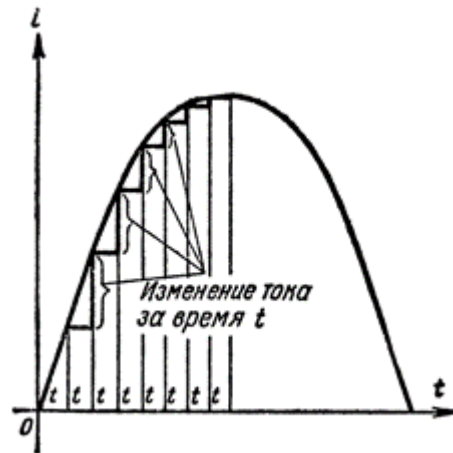


Рисунок 2. Характер изменений тока во времени в зависимости от величины тока

Из построений на рисунке 2 видно, что при переходе кривой тока через ось времени увеличение тока за небольшой отрезок времени  $t$  больше, чем за этот же отрезок времени, когда кривая тока достигает своей вершины.

Следовательно, **скорость изменения тока уменьшается по мере увеличения тока и увеличивается по мере его уменьшения, независимо от направления тока в цепи.**

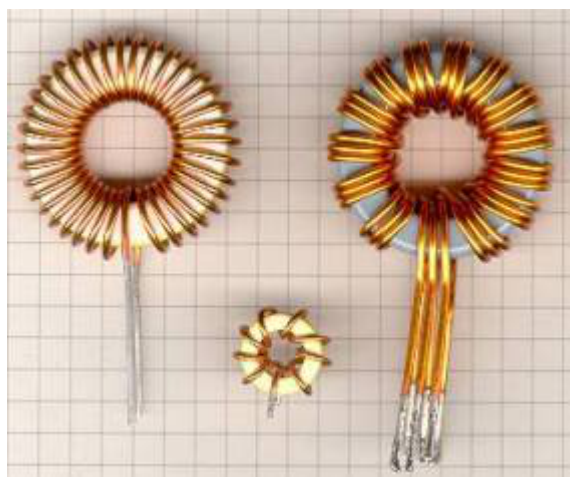
Очевидно, и ЭДС самоиндукции в катушке должна быть наибольшей тогда, когда скорость изменения тока наибольшая, и уменьшаться до нуля, когда прекращается его изменение. Действительно, на графике кривая ЭДС самоиндукции  $e_L$  за первую четверть периода, начиная от максимального значения, упала до нуля (см. рис. 1).

На протяжении следующей четверти периода ток от максимального значения уменьшался до нуля, однако скорость его изменения постепенно возрастала и была наибольшей в момент, когда ток стал равным нулю. Соответственно и ЭДС самоиндукции за время этой четверти периода, появившись вновь в катушке, постепенно возрастала и оказалась максимальной к моменту, когда ток стал равным нулю.

Однако направление свое ЭДС самоиндукции изменила на обратное, так как возрастание тока в первой четверти периода сменилось во второй четверти его убыванием.

Продолжив дальше построение кривой ЭДС самоиндукции, мы убеждаемся в том, что за период изменения тока в катушке и ЭДС самоиндукции совершит в ней полный период своего изменения. Направление ее определяется законом Ленца: при возрастании тока ЭДС самоиндукции будет направлена против тока (первая и третья четверти периода), а при убывании тока, наоборот, совпадет с ним по направлению (вторая и четвертая четверти периода).

Таким образом, **ЭДС самоиндукции, вызываемая самим переменным током, препятствует его возрастанию и, наоборот, поддерживает его при убывании.**



Обратимся теперь к графику напряжения на катушке (см. рис. 1). На этом графике синусоида напряжения на зажимах катушки изображена равной и противоположной синусоиде ЭДС самоиндукции. Следовательно, напряжение на зажимах катушки в любой момент времени равно и противоположно ЭДС самоиндукции, возникающей в ней. Напряжение это создается генератором переменного тока и идет на то, чтобы погасить действие в цепи ЭДС самоиндукции.

Таким образом, **в катушке индуктивности, включенной в цепь переменного тока, создается сопротивление прохождению тока.** Но так как такое сопротивление вызывается в конечном счете **индуктивностью катушки**, то и называется оно **индуктивным сопротивлением.**

Индуктивное сопротивление обозначается через  $X_L$  и измеряется, как и активное сопротивление, в омах.

Индуктивное сопротивление цепи тем больше, чем больше частота источника тока, питающего цепь, и чем больше индуктивность цепи. Следовательно, индуктивное сопротивление цепи прямо пропорционально частоте тока и индуктивности цепи; определяется оно по формуле  $X_L = \omega L$ , где  $\omega$  — круговая частота, определяемая произведением  $2\pi f$ . — индуктивность цепи в гн.

Закон Ома для цепи переменного тока, содержащей индуктивное сопротивление, звучит так: **величина тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна индуктивному сопротивлению цепи**, т. е.  $I = U / X_L$ , где  $I$  и  $U$  — действующие значения тока и напряжения, а  $X_L$  — индуктивное сопротивление цепи.

Рассматривая графики изменения тока в катушке. ЭДС самоиндукции и напряжения на ее зажимах, мы обратили внимание на то, что изменение этих величин не совпадает по времени. Иначе говоря, синусоиды тока, напряжения и ЭДС самоиндукции оказались для рассматриваемой нами цепи сдвинутыми по времени одна относительно другой. В технике переменных токов такое явление принято называть **сдвигом фаз.**

Если же две переменные величины изменяются по одному и тому же закону (в нашем случае по синусоидальному) с одинаковыми периодами, одновременно достигают своего максимального значения как в прямом, так и в обратном направлении, а также одновременно уменьшаются до нуля, то такие переменные величины имеют одинаковые фазы или, как говорят, совпадают по фазе.

В качестве примера на рисунке 3 приведены совпадающие по фазе кривые изменения тока и напряжения. Такое совпадение фаз мы всегда наблюдаем в цепи переменного тока, состоящей только из активного сопротивления.

В том случае, когда цепь содержит индуктивное сопротивление, фазы тока и напряжения, как это видно из рис. 1 не совпадают, т. е. имеется сдвиг фаз между этими переменными величинами. Кривая тока в этом случае как бы отстает от кривой напряжения на четверть периода.

Следовательно, **при включении катушки индуктивности в цепь переменного тока в цепи появляется сдвиг фаз между током и напряжением, причем ток отстает по фазе от напряжения на четверть периода.** Это значит, что максимум тока наступает через четверть периода после того, как наступил максимум напряжения.

ЭДС же самоиндукции находится в противофазе с напряжением на катушке, отставая, в свою очередь, от тока на четверть периода. При этом период изменения тока, напряжения, а также и ЭДС самоиндукции не меняется и остается равным периоду изменения напряжения генератора, питающего цепь. Сохраняется также и синусоидальный характер изменения этих величин.

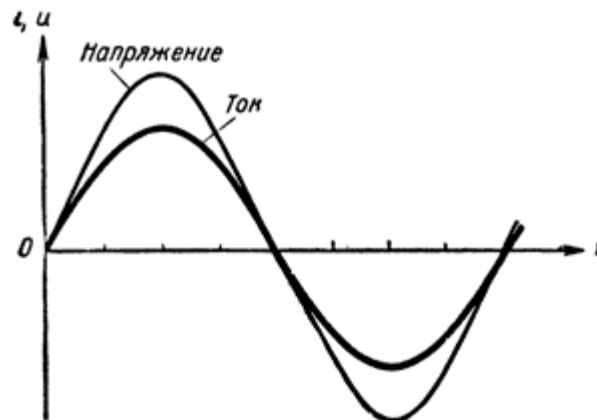


Рисунок 3. Совпадение по фазе тока и напряжения в цепи с активным сопротивлением

Выясним теперь, каково отличие нагрузки генератора переменного тока активным сопротивлением от нагрузки его индуктивным сопротивлением.

Когда цепь переменного тока содержит в себе лишь одно активное сопротивление, то энергия источника тока поглощается в активном сопротивлении, нагревая проводник.

Когда же цепь не содержит активного сопротивления (мы условно считаем его равным нулю), а состоит лишь из индуктивного сопротивления катушки, энергия источника тока расходуется не на нагрев проводов, а только на создание ЭДС самоиндукции, т. е. она превращается в энергию магнитного поля. Однако переменный ток непрерывно изменяется как по величине, так и по направлению, а следовательно, и магнитное поле катушки непрерывно изменяется в такт с изменением тока. В первую четверть периода, когда ток возрастает, цепь получает энергию от источника тока и запасает ее в магнитном поле катушки. Но как только ток, достигнув своего максимума, начинает убывать, он поддерживается за счет энергии, запасенной в магнитном поле катушки посредством ЭДС самоиндукции.

Таким образом, **источник тока, отдав в течение первой четверти периода часть своей энергии в цепь, в течение второй четверти получает ее обратно от катушки, выполняющей при этом роль своеобразного источника тока.** Иначе говоря, **цепь переменного тока, содержащая только индуктивное сопротивление, не потребляет энергии:** в данном случае происходит колебание энергии между источником и цепью. Активное же сопротивление, наоборот, поглощает в себе всю энергию, сообщенную ему источником тока.

Говорят, что катушка индуктивности, в противоположность омическому сопротивлению, не активна по отношению к источнику переменного тока, т. е. **реактивна.** Поэтому индуктивное

сопротивление катушки называют также **реактивным сопротивлением**.