

Из (11) получим

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{\omega L}{R} . \quad (13)$$

Следовательно, ток отстает по фазе от переменного напряжения на угол φ , равный

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(-\frac{\omega L}{R}\right).$$

В частности, при очень малом значении R ($R \ll \omega L$), ток отстает по фазе на угол $\frac{\pi}{2}$.

Возводя в квадрат выражения (12) и (13) и складывая левые и правые части, получим

$$i_0^2 \omega^2 + i_0^2 \frac{R^2}{L^2} = \frac{\varepsilon_0^2}{L^2} .$$

Это выражение позволяет вычислить амплитуду переменного тока в цепи

$$i_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{(\omega L)^2 + R^2}} . \quad (14)$$

Выражение ωL в формуле (14) – индуктивное сопротивление цепи переменному току X_L :

$$X_L = \omega L .$$

Это сопротивление ограничивает ток без потребления энергии. Его называют *реактивным индуктивным сопротивлением*.

В практических целях для увеличения индуктивности катушку делают многослойной и вводят внутрь незамкнутый ферромагнитный сердечник. Такую катушку называют *дросселем*, ее применяют для ограничений переменного тока, а также в электро- и радиофильтрах.

Физическая и математическая модели изучаемого явления. Метод расчета индуктивности

Электрические цепи, в которых наводится ЭДС взаимной индукции, называют *индуктивно связанными*.

Для исследования индуктивных свойств электрической цепи в данной работе используют индуктивность, выполненную в виде длинной катушки.

Неоднородность магнитного поля, обусловленную краями катушки, не учитывают. Исследуемые катушки располагают на одном сердечнике, поэтому при расчетах магнитные свойства сердечника считают постоянными для двух катушек. В реальных условиях магнитная проницаемость сердечника зависит от тока в катушках и его частоты.

Рассмотрим простейший случай (рис.5), когда соленоид изготовлен двухслойным, с числом витков N_1 и N_2 в соответствующих слоях катушки. Если витки такого соленоида включены

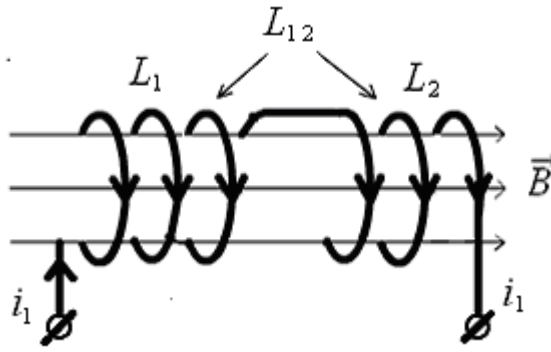


Рис. 5

так, что токи в них одинаковы и параллельны, то можно считать общее число витков N' равным

$$N' = N_1 + N_2.$$

Индуктивность такого соленоида L' в соответствии с формулой (8) равна

$$L' = \mu\mu_0 \frac{N'^2 S}{l} = \mu\mu_0 \frac{N_1^2 S}{l} + \frac{2\mu\mu_0 N_1 N_2 S}{l} + \mu\mu_0 \frac{N_2^2 S}{l}$$

или

$$L' = L_1 + L_2 + 2\sqrt{L_1 L_2}. \quad (15)$$

Если катушки подключить так, чтобы токи в витках обоих слоев стали антипараллельными, то тогда $N'' = N_1 - N_2$ и соответственно

$$L'' = L_1 + L_2 - 2\sqrt{L_1 L_2}. \quad (16)$$

Выражение $\sqrt{L_1 L_2}$, входящее в формулы (15) и (16), – коэффициент взаимной индуктивности M для этих катушек:

$$M = \sqrt{L_1 L_2}. \quad (17)$$

В частности, если в двухслойном соленоиде $N_1 = N_2$, то результирующая индуктивность его L'' , в соответствии с выражением (16) будет равна нулю. Такая намотка катушки называется *бифилярной*, она используется для изготовления проволочных безиндукционных сопротивлений.

Выражения (15) и (17) справедливы как для двухслойного соленоида, так и для катушек индуктивности, расположенных на одном замкнутом ферромагнитном сердечнике.

Если катушки находятся на незамкнутом сердечнике и разобщены геометрически, то взаимная индуктивность в результате рассеяния магнитных потоков будет меньше:

$$M = K\sqrt{L_1 L_2},$$

где K – коэффициент индуктивной связи. В общем случае $0 < K \leq 1$.

В предлагаемых измерениях, из-за частичного рассеяния магнитных потоков, уравнения (15) и (16) следует записать в форме

$$L' = L_1 + L_2 + 2M ;$$

$$L'' = L_1 + L_2 - 2M .$$

Измерив индуктивности L_1 , L_2 , L' , L'' с помощью моста переменного тока индуктивности, находят коэффициент взаимной индуктивности M :

$$M = \frac{L' - L''}{4} \quad (18)$$

и коэффициент индуктивной связи K :

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} . \quad (19)$$

Метод измерения

Для измерения индуктивности катушек используется метод моста переменного тока, схема которого приведена на рис. 6, где L_x - катушка, индуктивность которой должна быть измерена; R_x - активное сопротивление катушки; R_2 и R_4 - магазины сопротивлений; C - эталонный конденсатор с параллельно присоединенным к нему резистором R_3 ; $И$ – нуль-индикатор.

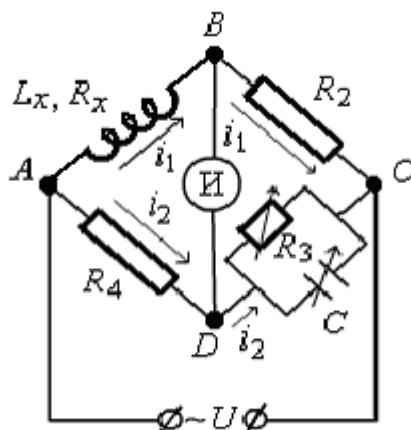


Рис. 6. Схема моста переменного тока

Метод моста основан на подборе емкости конденсатора C и сопротивления R_3 таким образом, чтобы ток в диагонали BD отсутствовал. Для этого необходимо достичь равенства напряжений и сдвига фаз на участках AB и AD и соответственно на участках BC и CD , что осуществимо при выполнении двух условий равновесия моста переменного тока $R_x = \frac{R_2 R_4}{R_3}$

и $L_x = C R_2 R_4$.