

100 Расчёт последовательной цепи с взаимной индуктивностью при согласном включении катушек

При согласном включении напряжение взаимоиндукции прибавляется к напряжению самоиндукции, в результате индуктивное сопротивление катушек увеличивается на $2j\omega M$.

Для расчета цепей с индуктивно связанными элементами нельзя воспользоваться законом Ома, так как падение напряжения на ветви, индуктивно связанной с другой ветвью электрической цепи, зависит от токов в этих ветвях. В таких цепях непосредственно применимы только законы Кирхгофа и метод контурных токов, при этом используется комплексная форма записи законов.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа следует учитывать на индуктивно связанных элементах падение напряжения взаимоиндукции: $\dot{U}_M = j\omega M \dot{I}$.

Знак «+» или «-» при $\dot{U}_M$ определяется правилом знаков: если включение двух катушек согласное, падение напряжения от взаимной индукции берут с тем же знаком, что и падение напряжения от самоиндукции, при встречном включении – знак меняется на противоположный.

Расчет цепи с индуктивно связанными катушками рассмотрим на примере их последовательного соединения. Две последователь-

но соединенные индуктивно связанные катушки могут иметь согласное или встречное включение.

При согласном включении (рис. 12.5) на основании второго закона Кирхгофа имеем уравнение для мгновенных значений токов и напряжений:

$$iR_1 + L_1 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt} + iR_2 + M \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} = u,$$

или в комплексной форме:

$$\dot{I}R_1 + j\omega L_1 \dot{I} + j\omega M \dot{I} + \dot{I}R_2 + j\omega M \dot{I} + j\omega L_2 \dot{I} = \dot{U}, \quad (12.5)$$

где $j\omega L_1 \dot{I}$, $j\omega L_2 \dot{I}$ – соответственно комплексные напряжения самоиндукции в каждой катушке;

$j\omega M \dot{I}$ – комплексное напряжение взаимоиндукции;

$\omega M = X_M$ – сопротивление взаимоиндукции;

$j\omega M = jX_M = \underline{Z}_M$ – комплексное сопротивление взаимоиндукции.

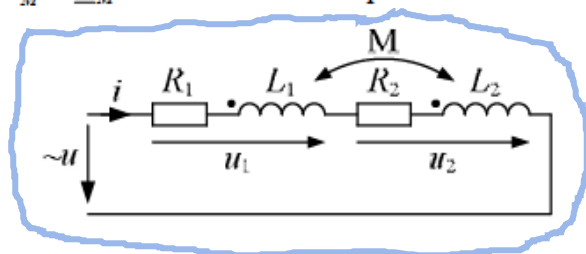


Рис. 12.5. Схема согласного включения индуктивно связанных катушек

Из уравнения (12.5) следует, что ток в электрической цепи

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R_1 + R_2 + j\omega(L_1 + L_2 + 2M)}, \quad (12.6)$$

где $R_1 + R_2 + j\omega(L_1 + L_2 + 2M) = \underline{Z}_c$ – эквивалентное комплексное сопротивление цепи при согласном включении катушек;

$L_1 + L_2 + 2M = L_c$ – эквивалентная индуктивность двух катушек при согласном включении.

Уравнение (12.6) проиллюстрируем с помощью векторной диаграммы (рис. 12.6), приняв за базовый вектор тока $\dot{I}$.

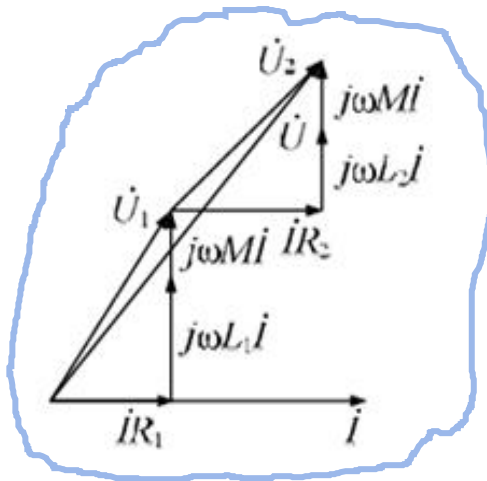


Рис. 12.6. Векторная диаграмма тока и напряжений при согласном включении двух индуктивно связанных катушек

Напряжение на первой катушке

$$\dot{U}_1 = \dot{I}R_1 + j\omega L_1 \dot{I} + j\omega M \dot{I};$$

напряжение на второй катушке

$$\dot{U}_2 = \dot{I}R_2 + j\omega L_2 \dot{I} + j\omega M \dot{I}.$$

Построение векторной диаграммы:

Отложим вектор тока $\dot{I}$ горизонтально. По нему направим вектор $\dot{I}R_1$ падения напряжения на активном сопротивлении первой катушки. Вектор $j\omega L_1 \dot{I}$ падения напряжения на индуктивности первой катушки направим перпендикулярно току вверх. Из его конца добавим вектор $j\omega M \dot{I}$ напряжения взаимоиндукции, переносимого из второй катушки. При сложении получим вектор напряжения $\dot{U}_1$ на первой катушке. Аналогично откладываем вектор напряжения $\dot{I}R_2$ на активном и $j\omega L_2 \dot{I}$ индуктивном сопротивлениях второй катушки и добавляем напряжение $j\omega M \dot{I}$ взаимоиндукции, создаваемое первой катушкой, получаем $\dot{U}_2$. В сумме $\dot{U}_1 + \dot{U}_2 = \dot{U}$.