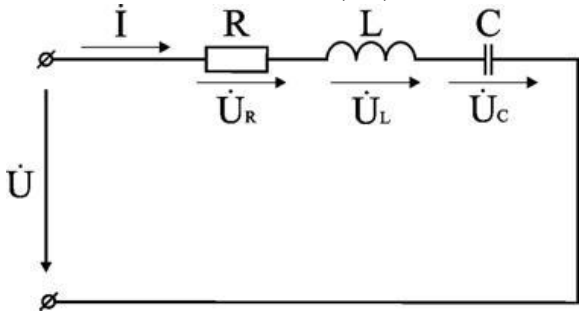
. Цепь с последовательным соединением элементов

Проведем анализ работы электрической цепи с последовательным соединением элементов R, L, C.



Положим, что в этой задаче заданы величины R, L, C, частота f, напряжение U. Требуется определить ток в цепи и напряжение на элементах цепи. Из свойства последовательного соединения следует, что ток во всех элементах цепи одинаковый. Задача разбивается на ряд этапов.

1. Определение сопротивлений.

Реактивные сопротивления элементов L и C находим по формулам

$X_L = \omega L$, $X_C = 1 / \omega C$, $\omega = 2\pi f$.

Полное сопротивление цепи равно

$$z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_c)^2},$$

угол сдвига фаз равен

(2.42)

$\varphi = \mathrm{arctg}((X_L - X_C) / R)$,

2. Нахождение тока. Ток в цепи находится по закону Ома

$I = U / Z$, $\psi_i = \psi_u + \varphi$.

Фазы тока и напряжения отличаются на угол φ.

3. Расчет напряжений на элементах. Напряжения на элементах определяются по формулам

$U_R = I R$, $\psi_{uR} = \psi_i$;

$U_L = I X_L$, $\psi_{uL} = \psi_i + 90°$;

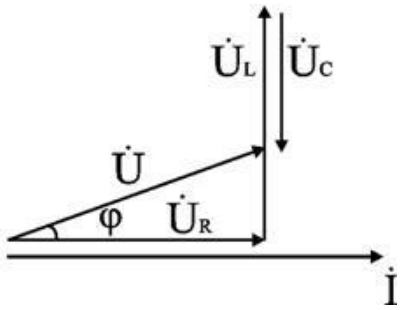
$U_C = I X_C$, $\psi_{uC} = \psi_i - 90°$.

Для напряжений выполняется второй закон Кирхгофа в векторной форме.

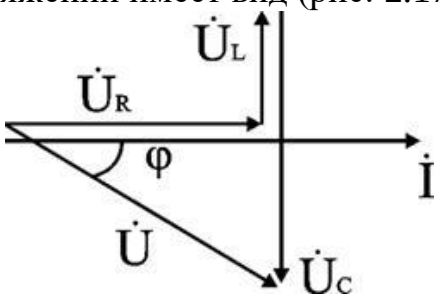
$\acute{U} = \acute{U}_R + \acute{U}_L + \acute{U}_C$.

4. Анализ расчетных данных. В зависимости от величин L и C в формуле (2.42) возможны следующие варианты: $X_L > X_C$; $X_L < X_C$; $X_L = X_C$.

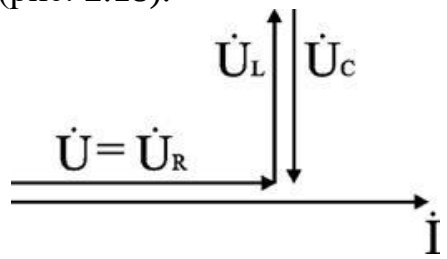
Для варианта $X_L > X_C$ угол $\varphi > 0$, $U_L > U_C$. Ток отстает от напряжения на угол φ. Цепь имеет активно-индуктивный характер. Векторная диаграмма напряжений имеет вид (рис. 2.16).



Для варианта $X_L < X_C$ угол $\varphi < 0$, $U_L < U_C$. Ток опережает напряжение на угол φ. Цепь имеет активно-емкостный характер. Векторная диаграмма напряжений имеет вид (рис. 2.17).



Для варианта $X_L = X_C$ угол $\varphi = 0$, $U_L = U_C$. Ток совпадает с напряжением. Цепь имеет активный характер. Полное сопротивление z=R наименьшее из всех возможных значений X_L и X_C. Векторная диаграмма напряжений имеет вид (рис. 2.18).



Этот режим называется резонанс напряжений ($U_L = U_C$). Напряжения на элементах U_L и U_C могут значительно превышать входное напряжение.

Пример.

U = 220 В, f = 50 Гц, R = 22 Ом, L = 350 мГн, C = 28,9 мкФ.

$X_L = \omega L = 2\pi f L = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 0{,}35 = 110$ Ом;

$X_C = 1 / \omega C = 1 / (2\pi f C) = 110$ Ом;

Z = R = 22 Ом, φ=0, I = U / R = 220 / 22 = 10 А, $\psi_u = \psi_i$;

$U_L = U_C = I X_L = 10 \cdot 110 = 1100$ В.

В приведенном примере U_L и U_C превышают входное напряжение в 5 раз.