

79 Конденсатор в цепи синусоидального тока

Напряжение на конденсаторе отстаёт от тока по фазе на 90° (электрических), как если бы мы наливали ток стружкой в стакан. Сопротивление ёмкости реактивное, оно равно $X_C = 1/\omega C$. Энергия волнами с двойной частотой поступает, запасается в электрическом поле $W_C = C \cdot u^2/2$ при зарядке конденсатора и возвращается назад источнику при его разрядке.

Рассмотрение процессов в цепи, обладающей только ёмкостью, является также научной абстракцией, как и в случае цепи с индуктивностью.

В цепи (рис. 9.8) с идеальным конденсатором (конденсатором без потерь), включенным на синусоидальное напряжение $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$, электрический заряд на пластинах конденсатора изменяется пропорционально напряжению $q = C_u = CU_m \sin(\omega t + \psi_u)$ и, следовательно, в цепи будет проходить переменный ток. Мгновенный ток в цепи равен скорости изменения заряда конденсатора:

$$\begin{aligned} i &= \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} [CU_m \sin(\omega t + \psi_u)] = \\ &= \omega CU_m \cos(\omega t + \psi_u) = I_m \sin\left(\omega t + \psi_u + \frac{\pi}{2}\right). \end{aligned} \quad (9.3)$$

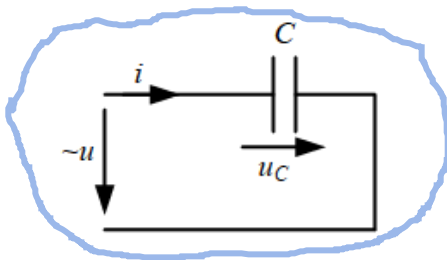


Рис. 9.8. Схема цепи переменного напряжения с ёмкостным элементом

Согласно выражению (9.3), ток, проходящий через ёмкостный элемент C , изменяется по синусоидальному закону и имеет начальную фазу $\psi_i = \psi_u + \frac{\pi}{2}$.

Следовательно, ток i опережает приложенное напряжение u на угол $\frac{\pi}{2}$. Нулевым значениям тока соответствуют максимальные (положительные или отрицательные) значения напряжения (рис. 9.9).

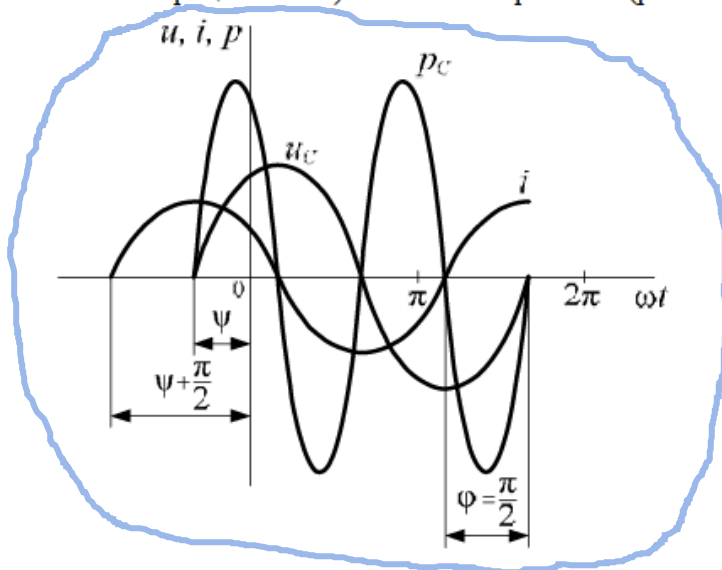


Рис. 9.9. Мгновенные значения напряжения, тока и мощности в емкости

Сдвиг по фазе между напряжением и током в цепи с емкостью отрицательный:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = -\frac{\pi}{2}.$$

Амплитудные и соответственно действующие значения напряжения и тока связаны соотношением, подобным закону Ома:

$$U_m = \frac{1}{\omega C} I_m = X_C I_m; \quad U = \frac{1}{\omega C} I = X_C I.$$

Величину $X_C = \frac{1}{\omega C}$, имеющую размерность сопротивления (Ом), называют емкостным сопротивлением. Обратную емкостно-

му сопротивлению величину $b_c = \omega C$, имеющую размерность проводимости (См), называют *емкостной проводимостью*.

Следовательно,

$$I_m = b_c U_m; \quad I = b_c U.$$

В комплексной форме соотношение между векторами

$$\dot{U}_m = -j \frac{1}{\omega C} \dot{I}_m = -j X_C \dot{I}_m; \quad \dot{U} = -j \frac{1}{\omega C} \dot{I} = -j X_C \dot{I}.$$

Вектор тока $\dot{I}$ опережает вектор напряжения $\dot{U}$ на угол $\frac{\pi}{2}$

(рис. 9.10).

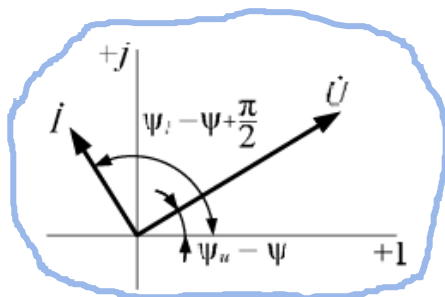


Рис. 9.10. Векторная диаграмма напряжения и тока для участка цепи с емкостью

Мгновенная мощность, поступающая в емкость, равна скорости изменения электрического поля емкости:

$$p_c = u_c i = U_m \sin(\omega t + \psi_u) I_m \sin\left(\omega t + \psi_u + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{U_m I_m}{2} 2 \sin(\omega t + \psi_u) \cos(\omega t + \psi_u) = UI \sin(2\omega t + \psi_u).$$

Мощность колеблется по синусоидальному закону с угловой частотой 2ω , имея амплитуду UI (см. рис. 9.9). Поступая от источника питания, энергия временно (в течение четверти периода, когда мощность положительна) запасается в электрическом поле емкости, а затем (в следующую четверть периода, когда мощность отрицательна) возвращается в источник при исчезновении электрического поля. Таким образом происходит колебание (обмен) энергии между источником питания и емкостью, причем активная мощность $P = 0$.