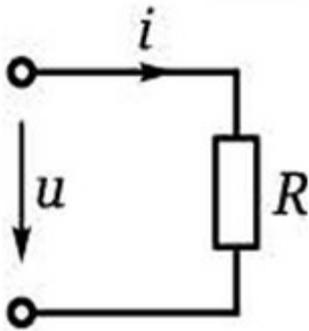


Простые цепи однофазного переменного тока.

Активное сопротивление в цепи синусоидального тока.

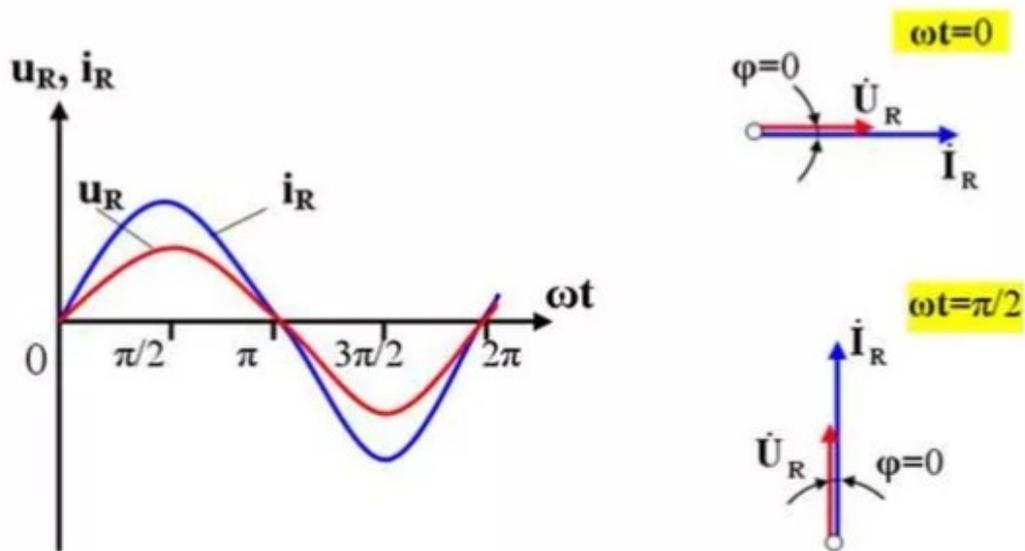


Если на синусоидальное напряжение $u = U_m \sin \omega t$ включить резистивный элемент, то в цепи возникает мгновенный ток

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t$$

Для цепи, обладающей только активным сопротивлением R , ток и напряжение совпадают по фазе, следовательно, в любой момент времени в течение периода угол сдвига по фазе между векторами тока и напряжения $\varphi = 0$. Это видно из графиков тока и напряжения, представленных на рисунке. На этом же рисунке изображена векторная диаграмма, из которой так же следует, что направление векторов тока и напряжения совпадают при любой угловой частоте питающего напряжения.

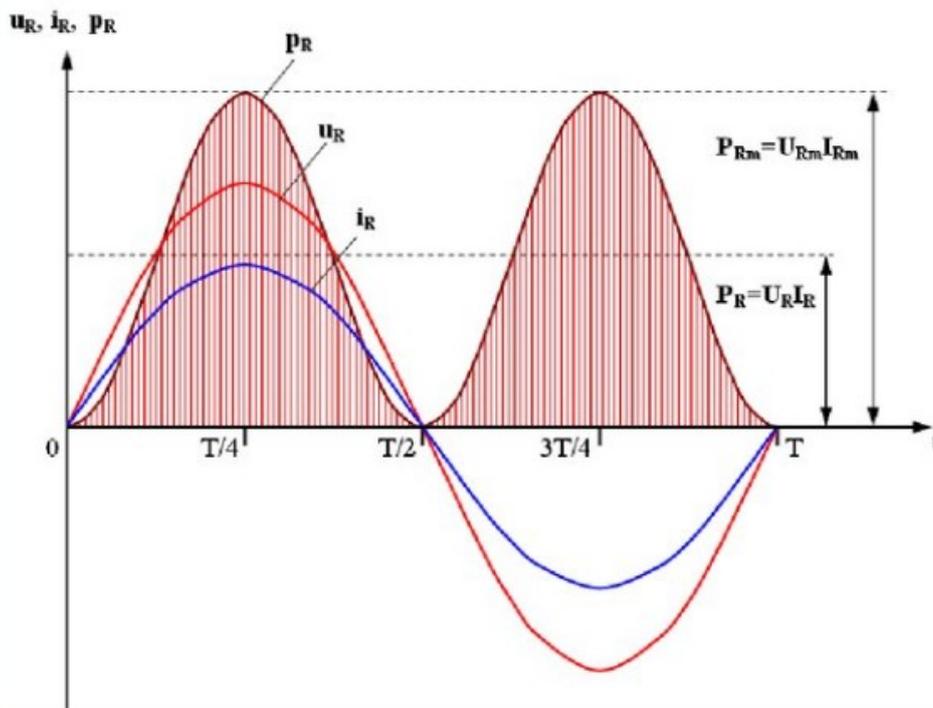
Закон Ома для такой цепи, в амплитудных значениях, действующих значениях



и в комплексной форме имеет вид

$$I_m = \frac{U_m}{R}, I = \frac{U}{R}, \dot{I} = \frac{\dot{U}}{R}$$

Сопротивление резистора в цепи переменного тока будет больше, чем сопротивление этого же резистора в цепи постоянного тока при одинаковых значениях постоянного и действующего напряжений. Это происходит за счет неравномерного распределения тока в проводнике и потерь энергии в окружающую среду. Поэтому в отличие от сопротивления постоянному току сопротивление R в цепи переменного тока называется активным. К нагрузке, обладающей при промышленной частоте только активным сопротивлением, относятся реостаты, электрические лампы, нагревательные приборы и другие подобные устройства.



Мгновенная мощность цепи равна произведению мгновенных значений тока и напряжения:

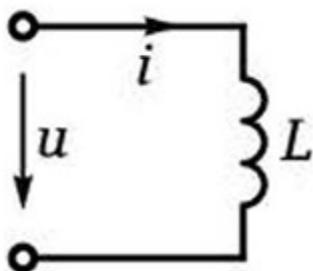
$$p = ui = U_m \sin \omega t I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t = 2UI \sin^2 \omega t.$$

Из полученного выражения следует, что мгновенная мощность p на активном сопротивлении всегда положительна (см. рис.) и изменяется от 0 до $P_m = U_m I_m$. Это означает, что в цепи с активным сопротивлением энергия в течение всего периода потребляется от источника и преобразуется, на сопротивлении, в теплоту.

Мощность в цепи с активным сопротивлением называется активной, обозначается символом P и измеряется в ваттах (Вт) и определяется по формуле

$$P = UI = I^2 R$$

Индуктивность в цепи синусоидального тока.



Переменный ток в цепи с индуктивностью изменяется по синусоидальному закону

$$i = I_m \sin \omega t.,$$

то напряжение можно записать

$$u = L \frac{di}{dt} = L \frac{d I_m \sin \omega t}{dt} = \omega L I_m \cos \omega t$$

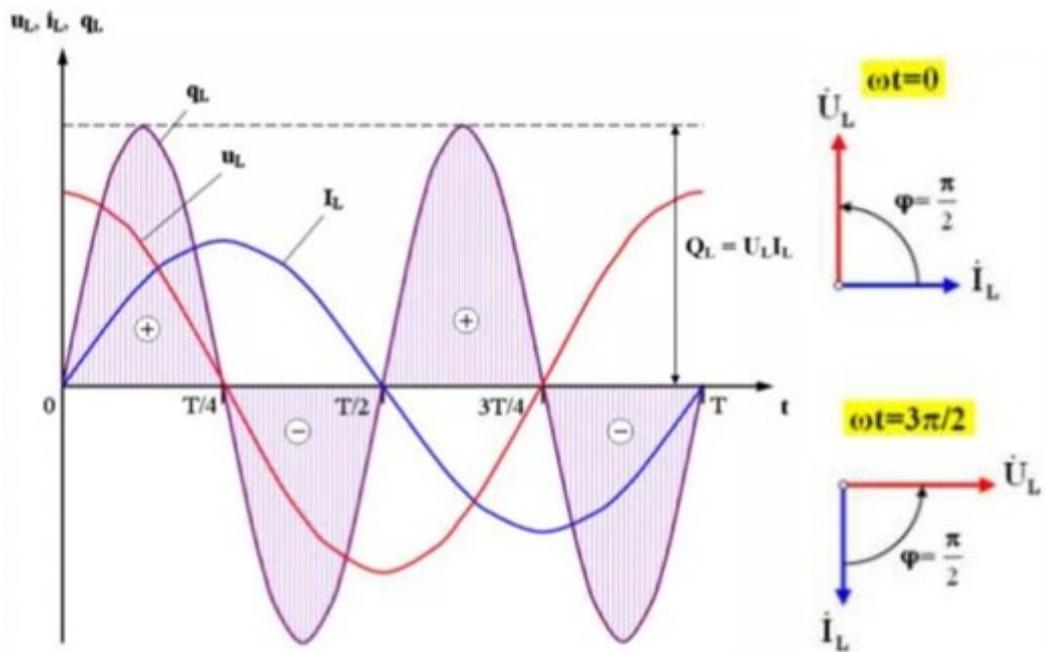
Таким образом напряжение на зажимах катушки опережает ток на 90° .

Это видно по временной и векторной диаграммам (см рисунок). Величина

$$X_L = \omega L$$

имеет размерность сопротивления и называется индуктивным сопротивлением. Это сопротивление отличается от активного и называется реактивным сопротивлением. Комплексное индуктивное сопротивление определяется соотношением

$$jX_L = j\omega L$$



Мгновенная мощность в цепи с индуктивностью определяется

$$p = ui = U_m \cos \omega t I_m \sin \omega t = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = UI \sin 2\omega t$$

изменяется с двойной частотой. При нарастании тока (независимо от его направления) происходит накопление энергии магнитного поля, которая поступает из сети. Накопленная энергия увеличивается от нуля до максимального значения. Цепь в данном случае работает в режиме потребителя.

При уменьшении тока энергия магнитного поля катушки снижается от максимального значения до нуля. Накопленная энергия возвращается в сеть, цепь работает в режиме генератора.

Таким образом, в цепи с идеальной катушкой индуктивности энергия не расходуется, а происходит периодический обмен ею между сетью и катушкой индуктивности.

Средняя мощность за период равна нулю, активная мощность P также равна нулю. Максимальное значение мощности в цепи с индуктивностью принято называть реактивной мощностью и обозначать символом Q_L ;

$$Q_L = U_L I = I^2 \omega L = I^2 X_L = \frac{U_L^2}{X_L}$$

Единица измерения реактивной мощности Q - вольт-ампер реактивный (вар).

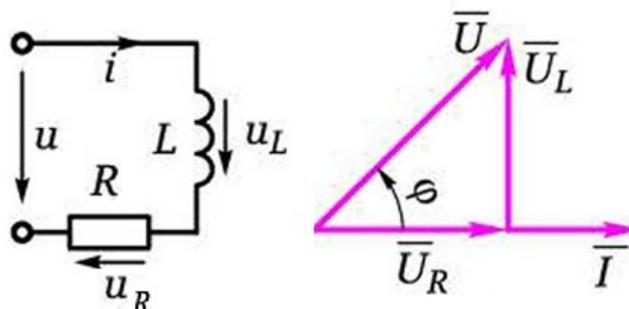
Цепь с индуктивностью и активным сопротивлением

Реальная катушка индуктивности всегда содержит активное сопротивление, поскольку выполнена медным или алюминиевым проводом.

Тогда в соответствии со вторым законом Кирхгофа в векторной форме

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L$$

Векторная диаграмма и схема в этом случае имеет вид, приведенный на рисунке.



Векторы напряжений образуют прямоугольный треугольник — треугольник напряжений, из которого следует, что

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{I Z}$$

Отсюда выражение $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ — это полное сопротивление, измеряемое в омах.

Для такой цепи можно определить:

- активную мощность $P = UI \cos \varphi = I^2 R$, измеряемую в ваттах (Вт);
- реактивную мощность индуктивного характера $Q_L = UI \sin \varphi = I^2 X_L$, измеряемую в вольт-амперах реактивных (вар);
- полную мощность $S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} = UI$, измеряемую в вольт-амперах (ВА).

Исходя из формул мощностей можно записать

$$P = S \cos \varphi, \quad Q_L = S \sin \varphi$$

Отношение активной мощности к полной

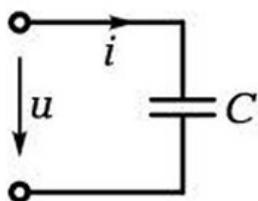
$$\frac{P}{S} = \cos \varphi$$

называется коэффициентом мощности, который $\cos \varphi$ показывает, какая часть P полной мощности может совершать полезную работу.

Коэффициент мощности определяется параметрами цепи

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Емкость в цепи синусоидального тока.



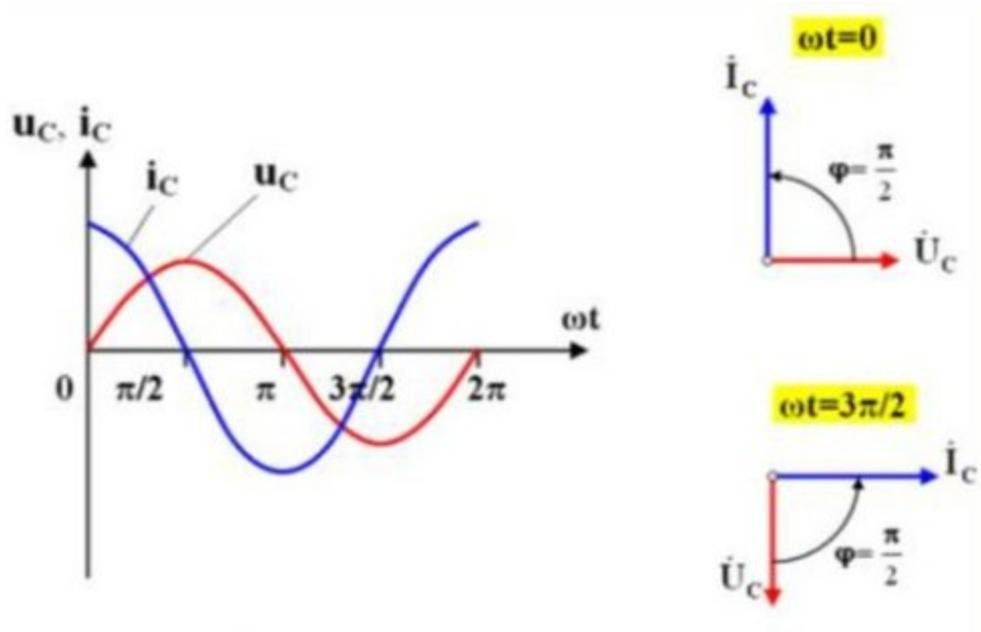
Если на зажимах цепи с конденсатором напряжение изменяется по синусоидальному закону,

$$u = U_m \sin \omega t,$$

то ток изменяется по закону

$$i = C \frac{du}{dt} = \omega C U_m \cos \omega t = I_m \cos \omega t$$

и опережает напряжение на 90° (см рис). Векторная диаграмма цепи с емкостью принимает вид,



В формуле тока $I_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}}$, величина $X_c = \frac{1}{\omega C}$ имеет размерность сопротивления и называется емкостным сопротивлением. Комплексное емкостное сопротивление определяется $-jX_c = -j\frac{1}{\omega C}$. Это сопротивление также является реактивным сопротивлением.

Мгновенная мощность в цепи с емкостью

$$p = ui = U_m \sin \omega t I_m \cos \omega t = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = UI \sin 2\omega t$$

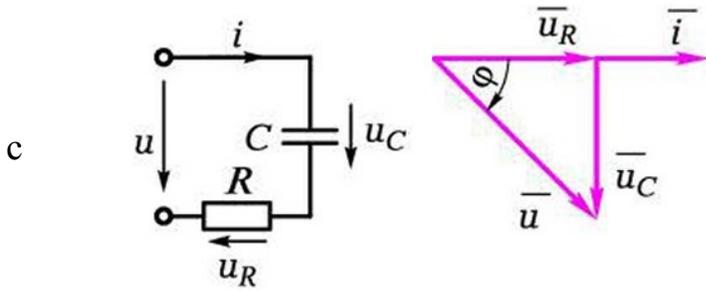
как и в цепи с индуктивностью, изменяется с двойной частотой. Средняя мощность за период равна нулю, активная мощность P также равна нулю. Таким образом, в цепи с емкостью, как и в цепи с идеальной катушкой индуктивности, энергия, получаемая от сети, не расходуется, а происходит периодический обмен ею между источником и емкостью (конденсатором).

Максимальное значение мощности в цепи с емкостью принято называть реактивной мощностью

$$Q_c = U_c I = \frac{I^2}{\omega C} = I^2 X_c$$

Единица измерения реактивной мощности — вольт-ампер реактивный (вар).

В связи с различием фазовых сдвигов между током и напряжением на индуктивности и емкости условно принято считать индуктивное сопротивление потребителем, а емкостное – генератором реактивной мощности.



Процессы в цепи с емкостью и активным сопротивлением могут быть проанализированы по аналогии цепью, содержащей индуктивность и активное сопротивление. Только в этой цепи напряжение отстает от тока на угол φ . При этом полное

сопротивление $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$, а полная мощность $S = \sqrt{P^2 + Q_C^2} = UI$, где реактивная мощность емкостного характера $Q_C = UI \sin \varphi = I^2 X_C$.

Примечание: чтобы запомнить на каком элементе отстает ток, нужно сопоставить: КАТУШКА – (кат – когда отстает ток); КОНДЕНСАТОР – (кон – когда отстает напряжение)