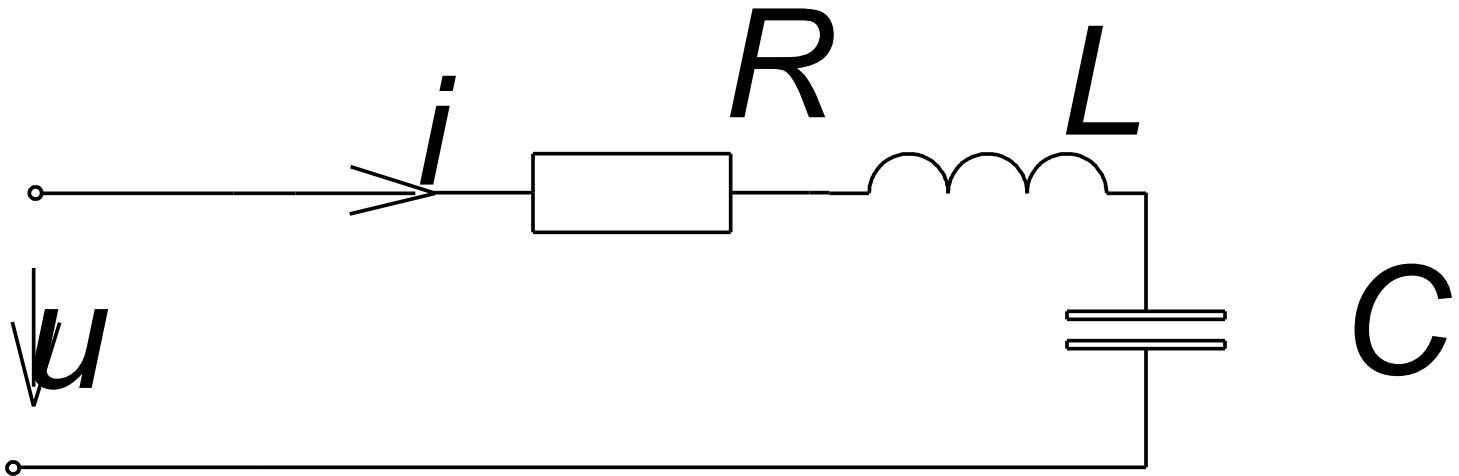
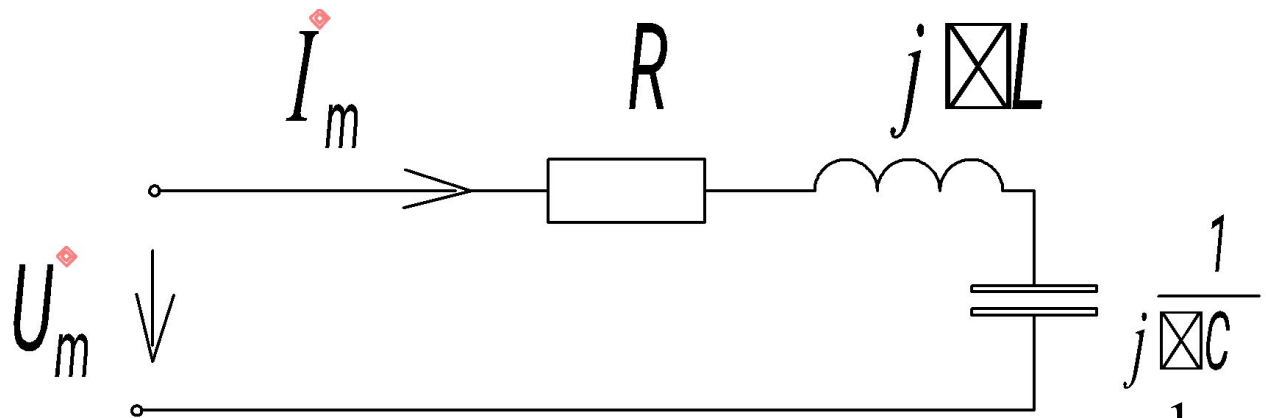


ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ R, L, C ЭЛЕМЕНТОВ



Пусть $u = U_m \sin(\omega t + \Psi)$ Перейдем к комплексным амплитудам $u \rightarrow \underline{U}_m = U_m e^{j\Psi}$

Тогда, учитывая выражения для комплексных сопротивлений нашу цепь можно перерисовать в виде



Уравнения по 2 закону Кирхгофа имеет вид $R\vec{I}_m + j\omega L\vec{I}_m + \frac{1}{j\omega C}\vec{I}_m = \vec{U}_m$

Сделаем следующие преобразования $\frac{j}{j} * \frac{1}{j\omega C} = -j\omega C$

$$\left[R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \right] \vec{I}_m = \vec{U}_m$$

полное комплексное сопротивление последовательного соединения R, L, C элементов.

$$\underline{z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad \underline{z} = |z|e^{j\varphi}$$

комплексная амплитуда тока $\vec{I}_m = \frac{\vec{U}_m}{z}$

$$|z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Тогда выражение для комплексной амплитуды тока имеет вид

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \right)$$

$$\underline{I}_m = \frac{\underline{U}_m}{|Z|} e^{j(\Psi - \varphi)}$$

$$I_m = \frac{U_m}{|Z|}$$

$$\varphi_I = \Psi - \varphi$$

Условия резонанса напряжений

В последовательном R, L, C контуре наблюдается явление резонанса напряжений. Явление, при котором в цепи синусоидального тока напряжение на входе цепи и ток совпадают по фазе, называется **явлением резонанса**.

1. $X_L = X_C$ или $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$ т.е индуктивное и емкостное сопротивления д.б. равны

2. $\dot{U}_L = \dot{U}_C$ напряжения на индуктивном и емкостном элементах равны

3. $\dot{I} = \dot{I}_{MAX}$ ток в цепи максимальный

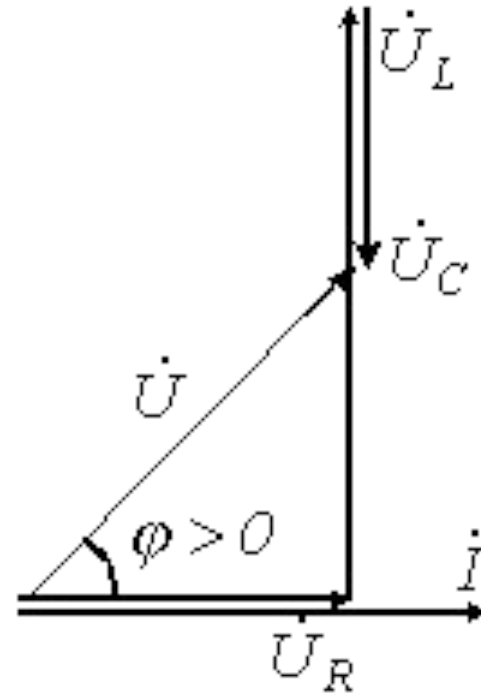
4. $\varphi = 0$ сдвиг фаз между напряжением и током равен нулю.

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ угловая частота $\frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = Q$ добротность резонансного контура

$f_{PEZ} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ резонансная частота

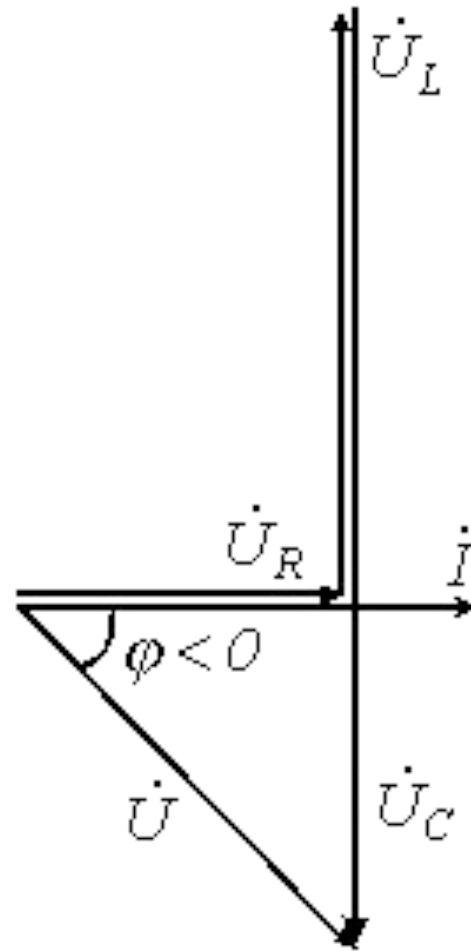
$$\omega L > \frac{1}{\omega C}$$

$$\dot{U}_L > \dot{U}_C$$



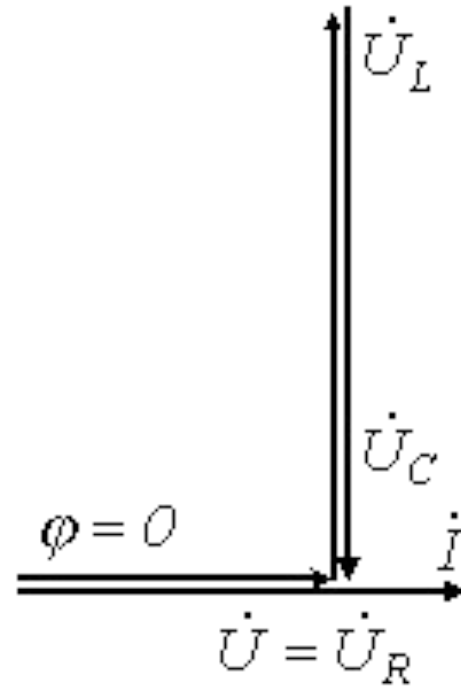
$$\omega L < \frac{1}{\omega C}$$

$$\dot{U}_L < \dot{U}_C$$



$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\dot{U}_L = \dot{U}_C$$



ИЗМЕНЕНИЕ ТОКА В ЦЕПИ

$$\omega = 0$$

$$I_m = \frac{U_m}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})} = 0$$

$$\omega = \omega_{PE3}$$

$$I = I_{MAX}$$

$$\omega \rightarrow \infty$$

$$I_m = \frac{U_m}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})} = 0$$

изменение напряжения резистора

$$\dot{U}_R = RI_m$$

изменение напряжения индуктивной катушки

$$\omega = 0 \quad \dot{U}_L = j\omega L I_m = 0$$

$$\omega = \omega_{PE3} \quad \dot{U}_L = \dot{U}_C$$

$$\omega \rightarrow \infty \quad \frac{R}{j\omega C} I_m + j\omega L I_m + \frac{1}{j\omega C} I_m = U_m$$

изменение напряжения конденсатора

$$\omega = 0$$

$$\dot{U}_C = \frac{1}{j\omega C} \dot{I}_m$$

$$\frac{R}{j\omega} \dot{I}_m + j\omega L \dot{I}_m + \frac{1}{j\omega C} \dot{I}_m = \dot{U}_m$$

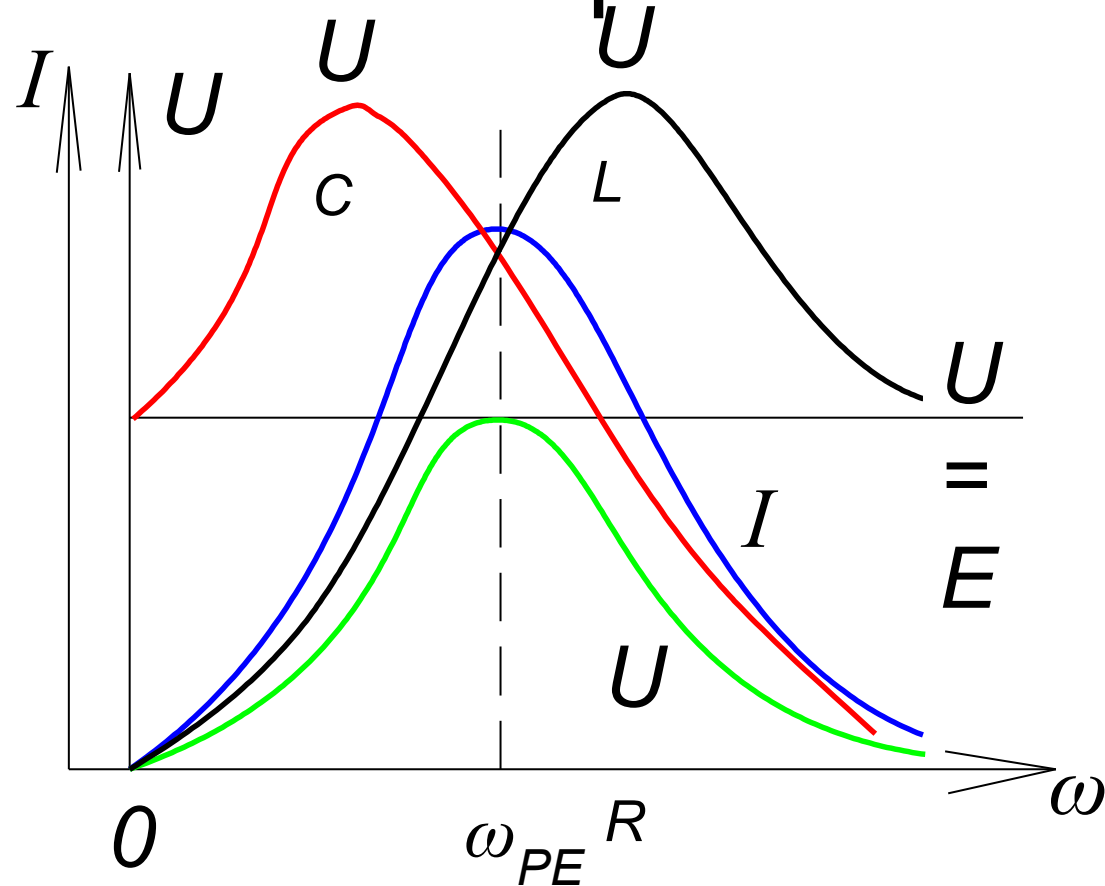
$$\omega = \omega_{PE3}$$

$$\dot{U}_L = \dot{U}_C$$

$$\omega \rightarrow \infty$$

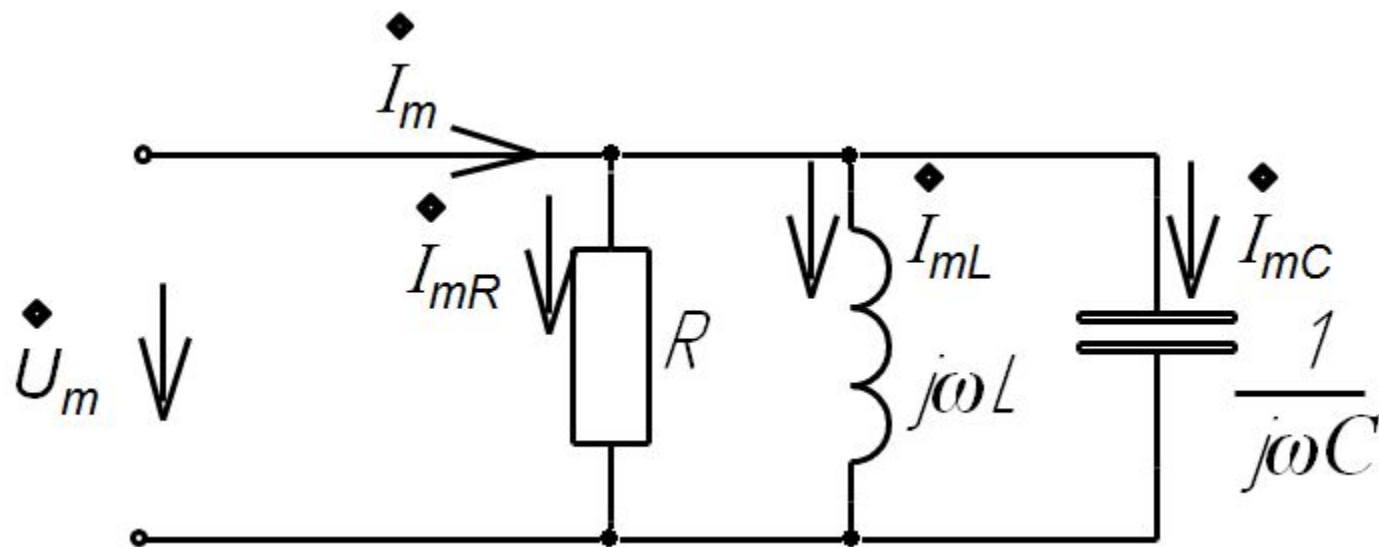
$$\dot{U}_C = \frac{1}{j\omega C} \dot{I}_m = 0$$

Резонансные кривые



Резонанс напряжений, как правило, нежелателен в электроэнергетике, т. к. напряжения установок могут в несколько раз превышать их рабочие напряжения, но широко применяется в радиотехнических устройствах, автоматике, телемеханике, связи, измерительной технике для настройки цепей на заданную частоту.

Параллельное соединение R, L, C элементов



$$\underline{I}_m = \underline{I}_{mR} + \underline{I}_{mL} + \underline{I}_{mC} = U_m \left[\frac{1}{R} - j \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right) \right]$$

$$g = \frac{1}{R}$$

активная проводимость
параллельного
соединения
реактивная

$$b = \frac{1}{\omega L} - \omega C$$

проводимость
параллельного
соединения

$$\underline{Y} = g - jb$$

полная комплексная
проводимость
параллельного
соединения

$$\underline{I}_m = Y \underline{U}_m$$

$$\underline{Y} = |Y| e^{-j\varphi}$$

$$|Y| = \sqrt{g^2 + b^2}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{b}{g}\right)$$

Условия резонанса токов

1. $b_C = b_L$ или $\omega_0 C = \frac{1}{\omega_0 L}$ т.е индуктивная и емкостная проводимости д. б. равны

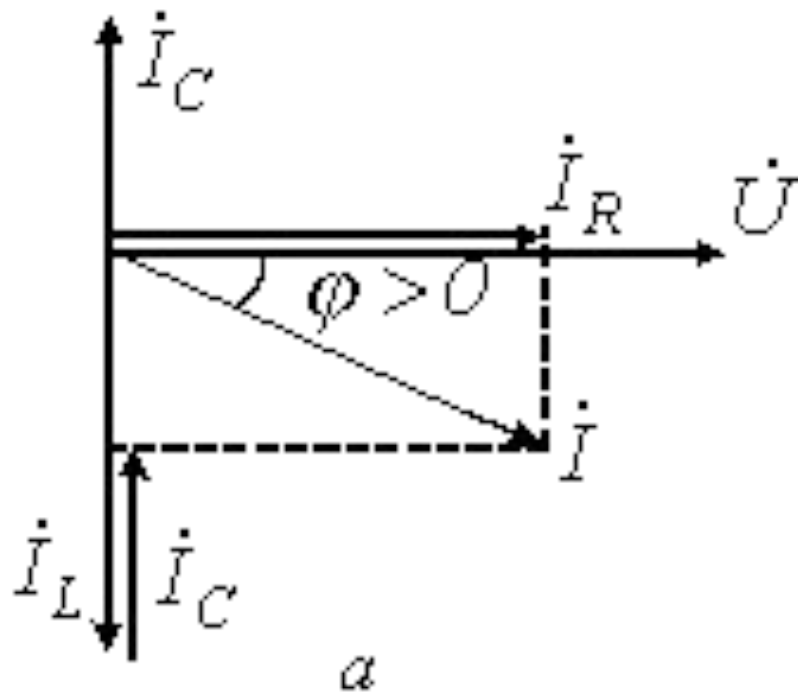
2. $\dot{I}_L = \dot{I}_C$ токи в индуктивном и емкостном элементах д.б. равны.

3. $\dot{I} = \dot{I}_{MIN}$ общий ток в цепи минимальный.

4. $\varphi = 0$ сдвиг фаз между напряжением и током равен нулю.

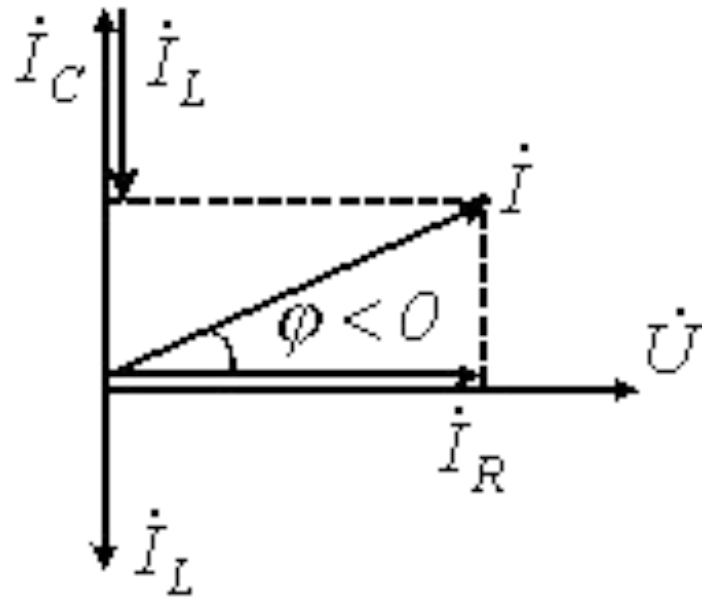
$$b_L \gg b_C$$

$$\dot{I}_L \gg \dot{I}_C$$



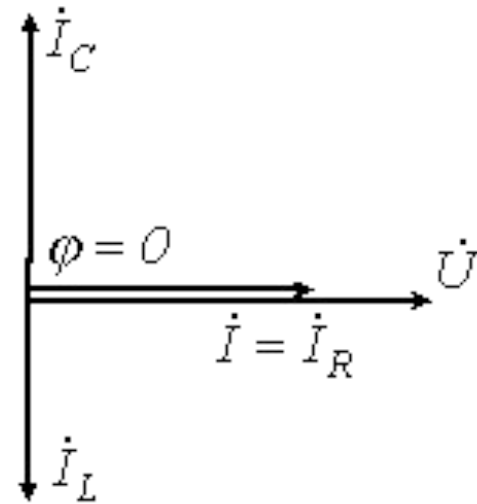
$$b_L \langle b_C$$

$$\overset{\bullet}{I}_L \langle \overset{\bullet}{I}_C$$



$$b_L = b_C$$

$$\dot{I}_L = \dot{I}_C$$



Вектор тока в общей ветви является геометрической суммой векторов трех токов, два из которых I_L и I_C находятся в противофазе. Поэтому при резонансе возможны случаи, когда токи в индуктивной катушке и в конденсаторе могут превосходить суммарный ток в цепи.

В емкостном элементе ток возрастает пропорционально угловой частоте, в индуктивном элементе ток обратно пропорционален угловой частоте, в резистивном элементе ток от угловой частоты не зависит.

Добротность Q при резонансе токов определяет кратность превышения тока в индуктивном (емкостном) элементе над суммарным током в резонансе.

Повышения напряжения на участках цепи при резонансе токов не происходит, поэтому в отличие от резонанса напряжений не возникает опасности для электротехнического оборудования.

Резонансные кривые

