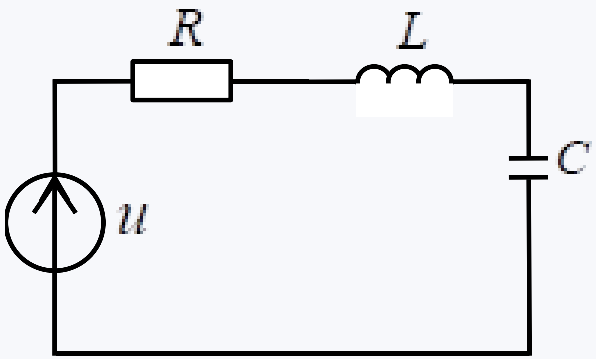
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Лектор:
к.ф.-м.н.,асс.профессор Алимгазинова Назгуль Шакаримовна

4 лекция. Резонанс напряжения. Резонанс тока



Колебательным контуром *называется электрическая цепь, в которой содержаться индуктивность, емкость и активное сопротивление, и возможны свободные колебания тока и напряжения.*

Резонансом *называют такой режим колебательного контура, при котором входное реактивное сопротивление контура или его входная реактивная проводимость равны нулю. Поэтому* ***при резонансе напряжение и ток на входе контура совпадают по фазе.***

РЕЗОНАНС

Резонанс напряжения

L, C - последовательно

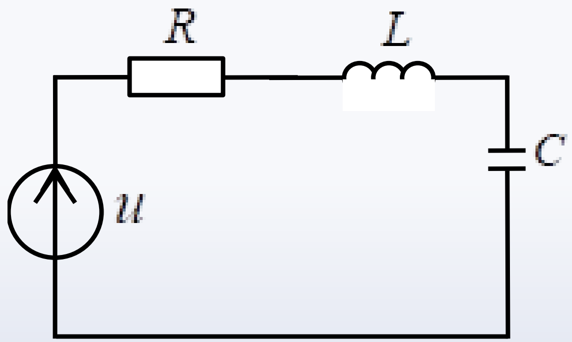
Резонанс тока

L, C - параллельно

РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЯ

Режим работы участка цепи с последовательным соединением R, L, C *элементов, при котором входное реактивное сопротивление контура равно нулю называется* ***резонансом напряжений.***

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_U)$$



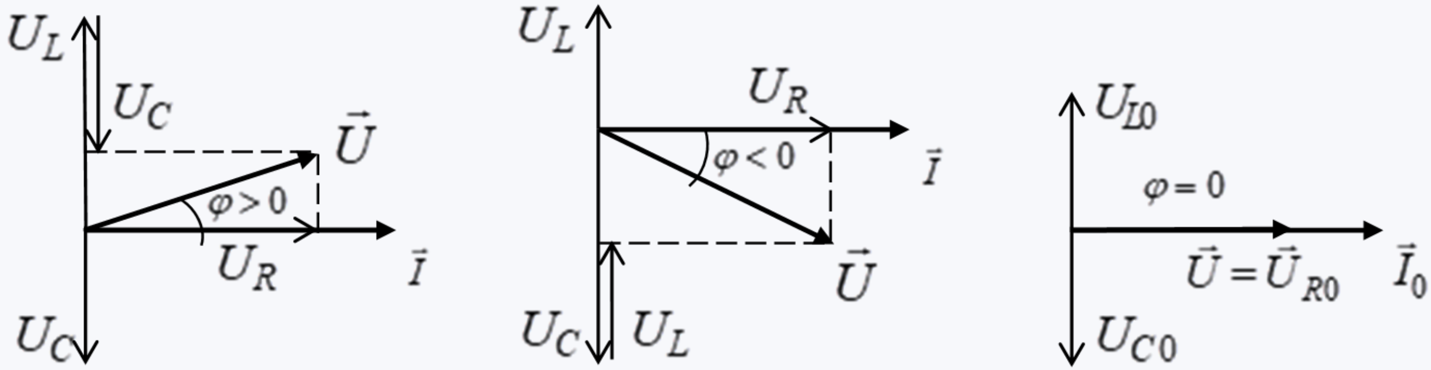
$$X_L = \omega L$$

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

$$\dot{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + jx = \left|\dot{Z}\right| e^{j\varphi}.$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}} = \frac{\dot{U}}{\left|\dot{Z}\right|} e^{-j\varphi}$$

Знак аргумента комплекса тока φ зависит от соотношения между индуктивным и емкостным сопротивлениями контура



а) б) в)

- ✓ если в контуре $X_L > X_C$, φ положителен, ток отстает по фазе от входного напряжения (рисунок а);
- ✓ если $X_L < X_C$, тогда φ отрицателен и ток цепи имеет емкостной характер (рисунок б);
- ✓ при $X_L = X_C$ наступает режим *резонанса*, т.е. $\varphi = 0$ (рисунок в).

$$\boxed{x = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0.}$$

$$\boxed{\dot{Z} = R,} \qquad \boxed{I_0 = \frac{U}{R},} \qquad \boxed{\psi_u = \psi_i.}$$

$$X_L = X_C,\ \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C},$$

Если параметры контура остаются неизменными, режим резонанса наступает при частоте , которая называется ***резонансной частотой контура*****.**

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

При резонансе индуктивное и емкостное сопротивления равны, поэтому данное сопротивление называется ***характеристическим сопротивлением*** *или* ***волновым сопротивлением контура***

$$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Величину, характеризующую резонансные свойства контура, называют ***добротностью контура***

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U}.$$

Величина, обратная добротности контура, называется ***затуханием***

$$d = \frac{1}{Q} = \frac{R}{\rho} = \frac{U}{U_L} = \frac{U}{U_C}.$$

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РЕЗОНАНСЕ НАПРЯЖЕНИЙ

$$\boxed{W = W_М + W_э,}$$

$$W_М = \frac{Li^2}{2} \qquad W_Э = \frac{Cu_C^2}{2}$$

$$W = const$$

Во время резонанса, ***полная энергия*** электромагнитного поля последовательного колебательного контура ***не изменяется***: уменьшение энергии электрического поля сопровождается увеличением энергии магнитного поля, и наоборот.

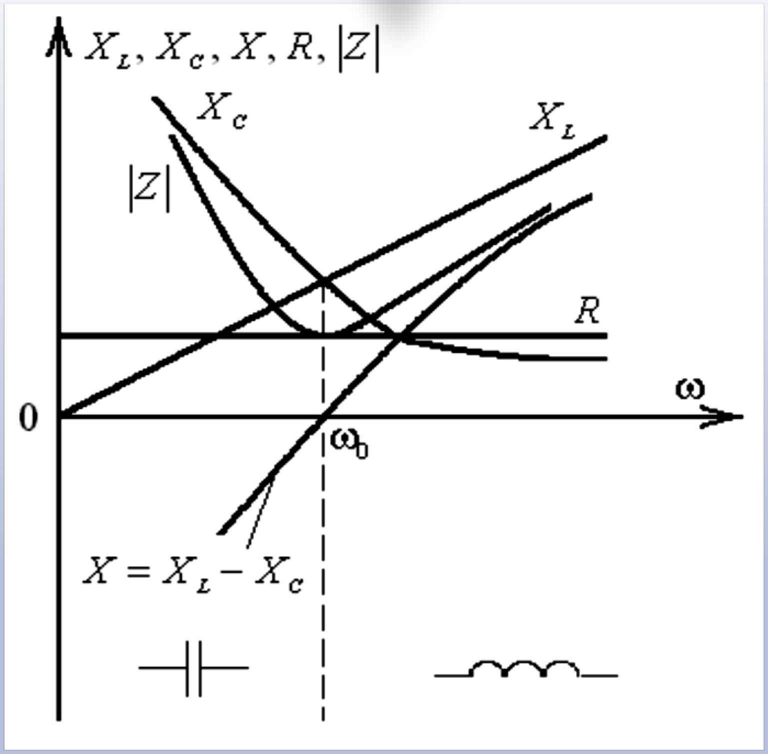
Реактивные элементы контура непрерывно обмениваются энергией, а внешний источник в этом обмене не участвует.

Если бы контур не имел потерь (R=0), колебательный процесс мог бы установиться без внешнего источника энергии.

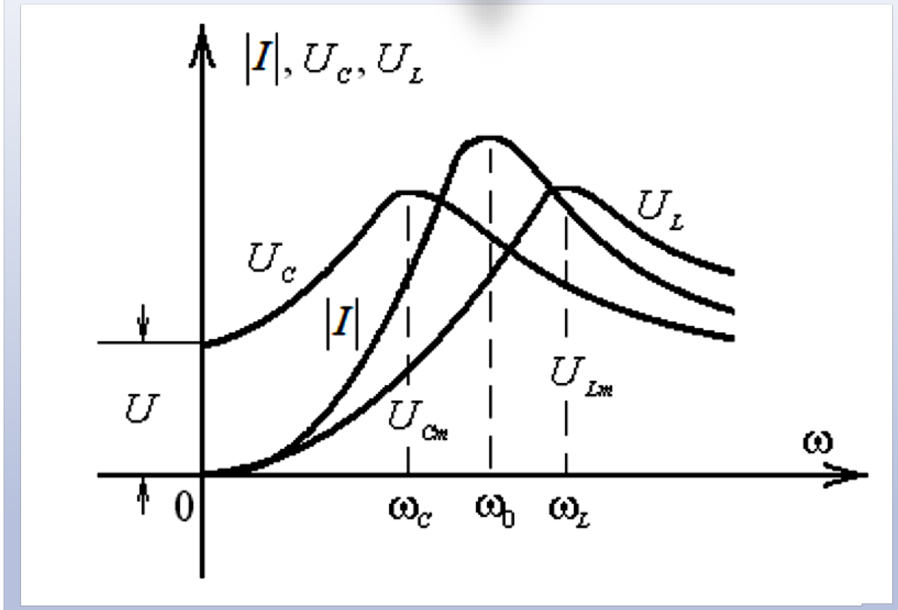
Если колебательный контур обладает активным сопротивлением, то имеют место потери энергии и колебательный процесс несет затухающий характер.

ЖИІЛІКТІК СИПАТТАМАЛАРЫ МЕН РЕЗОНАНСТЫҚ ҚИСЫҚТАР

Зависимость от частоты параметров цепи называются ***частотными характеристиками***



Зависимости действующих или амплитудных значений тока и напряжения от частоты называются ***резонансными кривыми***



РАССТРОЙКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Абсолютной расстройкой *$\Delta\omega$ называют разность частоты источника и резонансной частоты контура:* $\boxed{\Delta\omega = \omega - \omega_0}$. *Поскольку частота ω может быть как больше, так и меньше резонансной частоты ω_0, абсолютная расстройка $\Delta\omega$ бывает и положительной, и отрицательной.*

Относительной расстройкой *называют отношение абсолютной расстройки к резонансной частоте:*

$$\boxed{\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\Delta f}{f_0}.}$$

Обобщенная расстройка учитывает все причины, которые могут вызвать отклонение режима контура от резонанса. *Она равна отношению реактивного сопротивления контура при любой частоте к активному сопротивлению:*

$$\boxed{\xi = \frac{X}{R} = \frac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R} = \frac{\omega_0 L \cdot \dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{1}{\omega_0 C} \cdot \dfrac{\omega}{\omega_0}}{R} = \frac{\rho}{R}\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right) = Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right) = Q\varepsilon.}$$

$\boxed{\varepsilon = \dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega}}$ ***относительная расстройка***

ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Полосой пропускания *последовательного контура называют область частот, в пределах которой ток уменьшается по сравнению с резонансным не более чем в* $\sqrt{2}$ *раз.*

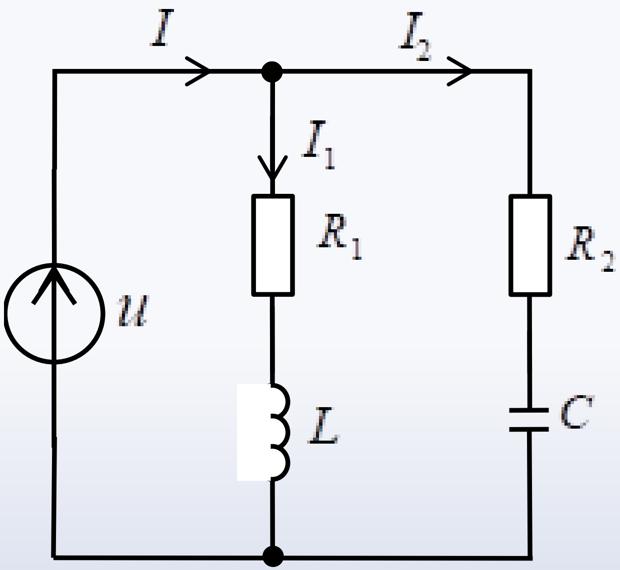
Абсолютная полоса пропускания S_A *представляет собой разность граничных частот:*

$$\boxed{S_A = f_2 - f_1 = \frac{f_0}{Q}.}$$

Относительная полоса пропускания:

$$\boxed{S_{OTH} = \frac{S_A}{f_0} = \frac{1}{Q} = d.}$$

РЕЗОНАНС ТОКОВ



Режим работы участка цепи с параллельными ветвями, при котором входная реактивная проводимость контура равна нулю называется ***резонансом токов.***

$$\boxed{b_1 = -b_2,}$$

$$\boxed{\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}\sqrt{\frac{\rho^2 - R_1^2}{\rho^2 - R_2^2}}.}$$

Рассмотрим различные случаи:

- ✓ Если $R_1 = R_2 = \rho$, тогда резонанс токов возможен на любой частоте;
- ✓ Если $R_1 = R_2 \neq \rho$, тогда резонанс токов будет происходить на частоте резонанса напряжений $\omega_p = \omega_0$;
- ✓ Если $R_1 \neq R_2$ и $R_1, R_2 > \rho$ или же $R_1, R_2 < \rho$, тогда резонанс токов будет на одной частоте ω_p;
- ✓ Если $R_1 > \rho$ и $R_2 < \rho$, тогда резонанс токов не возможен.

$$\dot{Z} = \frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2},$$

$$Z = R_p = \frac{R_1 R_2 + \rho^2}{R_1 + R_2}.$$

$$\boxed{Q = \frac{\rho}{R_1 + R_2}.}$$

Рассмотрим различные случаи:

- ✓ если $R_1 \neq R_2 \neq \rho$, причем величины соизмеримы, то возможен резонанс токов при потерях энергии;
- ✓ если $R_1 = R_2 = 0$, то колебательный контур не имеет потерь;
- ✓ если $(R_1 = R_2) < \rho$, тогда колебательный контур имеет малые потери.

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

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

$$b_C = \omega C$$