

Московский государственный строительный  
университет



Кафедра электротехники и электропривода

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

### **Часть 1. Электрические и магнитные цепи. Электрические измерения**

#### ***Лекция 3. Однофазная цепь с последовательным соединением электроприемников***

Электронные лекции

Составитель:

профессор И.Г. Забора

Москва – 2014 г.

**Лекцию читает**

**профессор кафедры «Электротехника и  
электропривод» МГСУ**

***Забора Игорь Георгиевич***

**E-mail: [izabora@yandex.ru](mailto:izabora@yandex.ru)**

# Однофазный переменный ток



## Цепь с последовательным соединением R,L,C-элементов

Рассмотрим цепь переменного тока с последовательным соединением резистора  $R$ , индуктивности  $L$  и конденсатора  $C$  или иначе – неразветвленная цепь с  $R,L,C$ -элементами, к которой приложено синусоидальное напряжение питания  $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ , равное ЭДС источника  $e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$ .

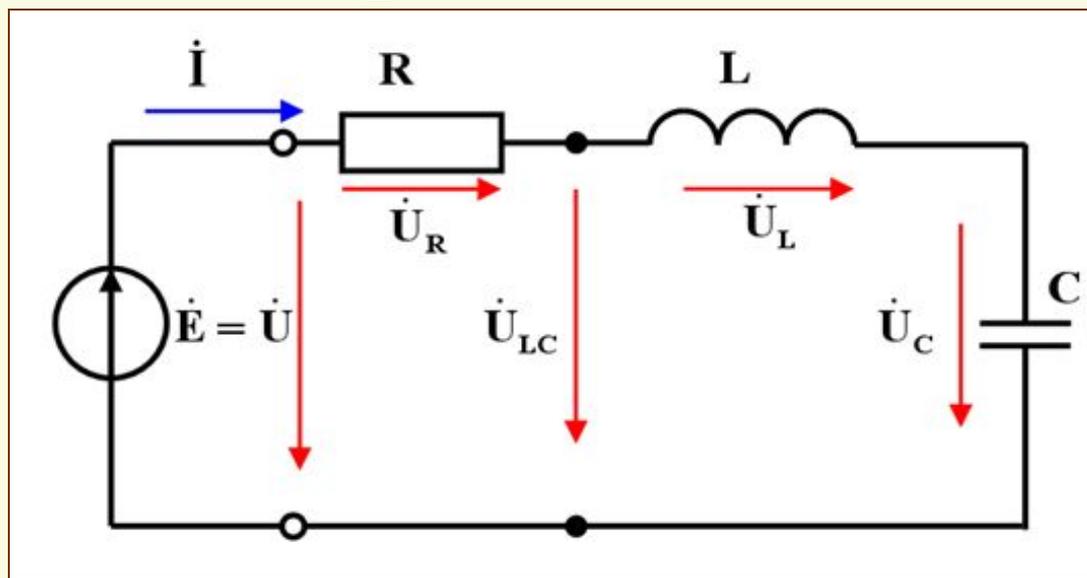


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения цепи синусоидального тока с последовательным соединением  $R,L,C$ -элементов

# Однофазный переменный ток



## Цепь с последовательным соединением R,L,C-элементов

Согласно второму закону Кирхгофа комплексное напряжение  $\dot{U}$ , приложенное к входным зажимам цепи (см. рис.1), равно алгебраической (векторной) сумме комплексных напряжений  $\dot{U}_R, \dot{U}_L, \dot{U}_C$  соответственно, на резистивном  $R$ , индуктивном  $L$  и емкостном  $C$  элементах:

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

Из схемы замещения видно, что на основании второго закона Кирхгофа можно составить еще два уравнения равновесия напряжений исследуемой цепи:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L,$$

$$\dot{U}_{LC} = \dot{U}_L + \dot{U}_C,$$

где  $\dot{U}_{LC}$  – комплексная (векторная) сумма комплексных напряжений на индуктивном  $X_L$  и емкостном  $X_C$  сопротивлениях.

Величины напряжений на сопротивлениях  $R, X_L, X_C$  этих элементов определяются по закону Ома для отдельных  $R, L, C$ -элементов цепи:

$$U_R = I_R R; \quad U_L = I_L X_L; \quad U_C = I_C X_C.$$

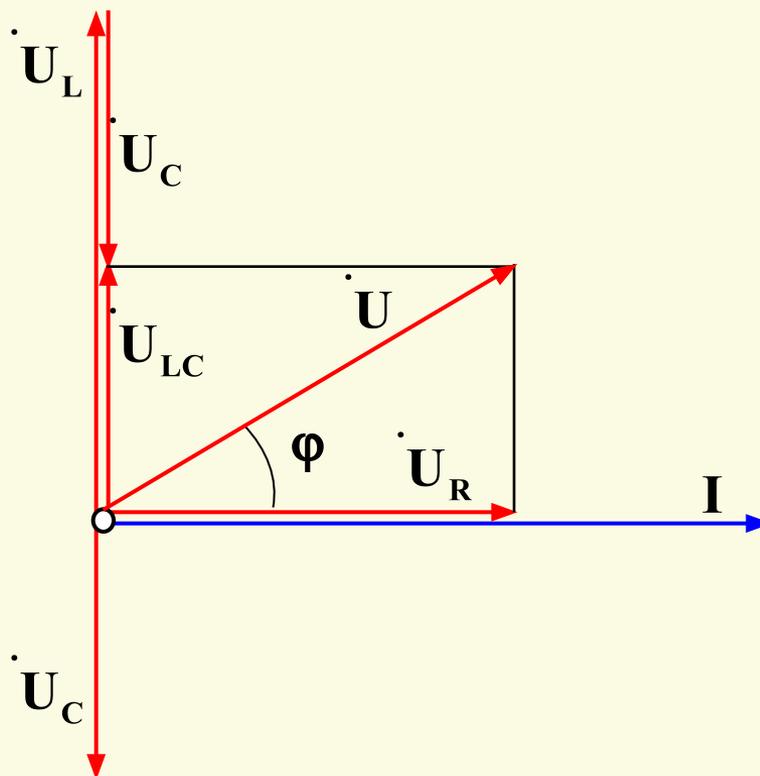
# Однофазный переменный ток



## Цепь с последовательным соединением R,L,C-элементов

Векторная диаграмма для однофазной цепи с последовательным соединением R,L,C-элементов строиться по правилам, подробно изложенным в электронном пособии по лабораторным работам [1].

### Построение векторной диаграммы



# Однофазный переменный ток

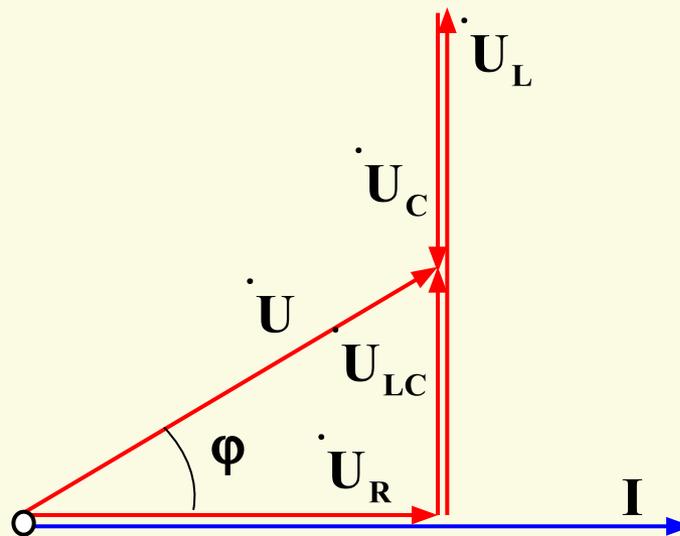


## Цепь с последовательным соединением R,L,C-элементов

Была построена векторная диаграмма при откладывании векторов напряжений  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$  *из общего начала*, когда  $U_L > U_C$ .

Ниже показано построение той же векторной диаграммы при откладывании *цепочки векторов* напряжений  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ .

### Построение векторной диаграммы



Обе векторные диаграммы идентичны и построены для случая *активно-индуктивной нагрузки*, когда  $U_L > U_C$ .

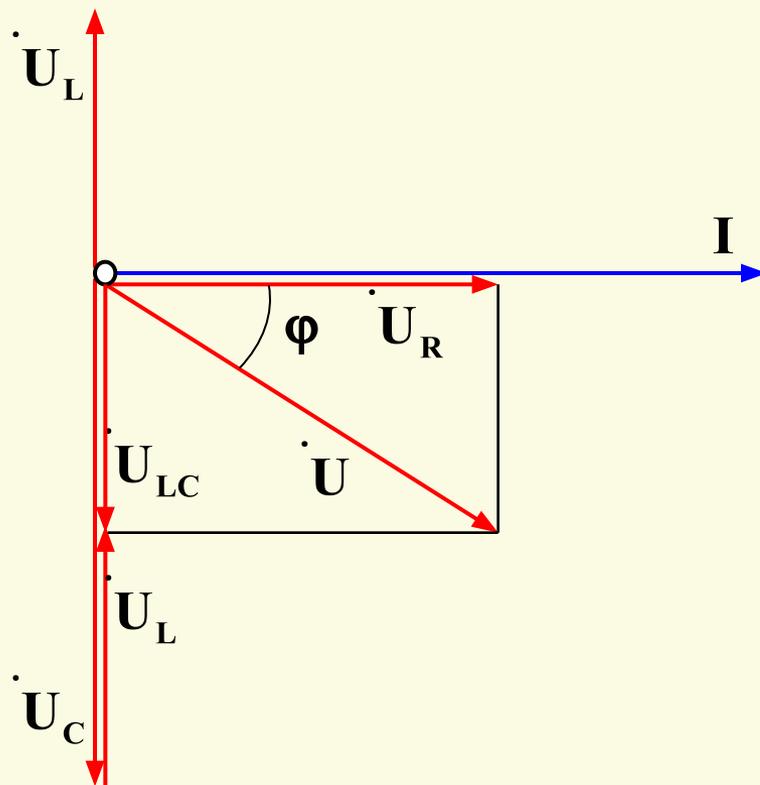
# Однофазный переменный ток



## Цепь с последовательным соединением R,L,C-элементов

Здесь показано построение векторной диаграммы при откладывании векторов напряжений  $\dot{U}_R$ ,  $\dot{U}_L$ ,  $\dot{U}_C$  из общего начала, когда  $U_C > U_L$ .

### Построение векторной диаграммы



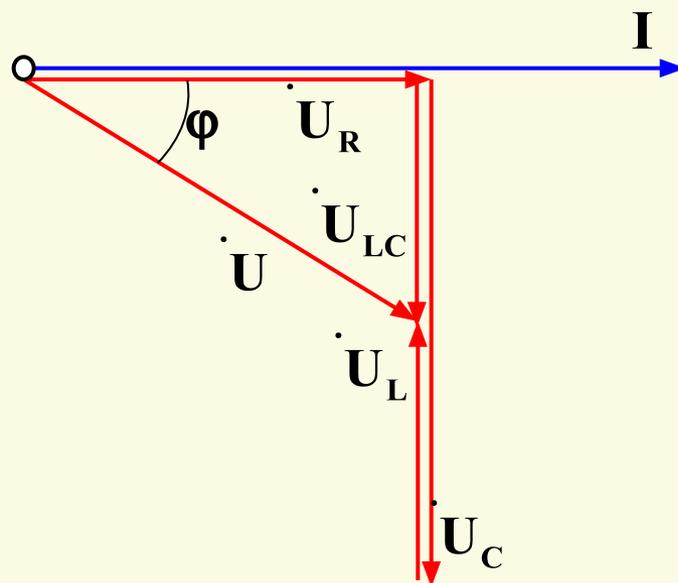
# Однофазный переменный ток



## Цепь с последовательным соединением R,L,C-элементов

Здесь показано построение предыдущей векторной диаграммы, когда  $U_C > U_L$  при откладывании *цепочки векторов* напряжений  $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ .

### Построение векторной диаграммы



Две последние векторные диаграммы идентичны и построены для случая *активно-емкостной нагрузки*, когда  $U_C > U_L$ .

# Однофазный переменный ток



## Цепь с последовательным соединением R,L,C-элементов

На рисунке ниже показаны две ранее построенные векторные диаграммы при откладывании *цепочки векторов* напряжений  $\dot{U}_R, \dot{U}_L, \dot{U}_C$ .

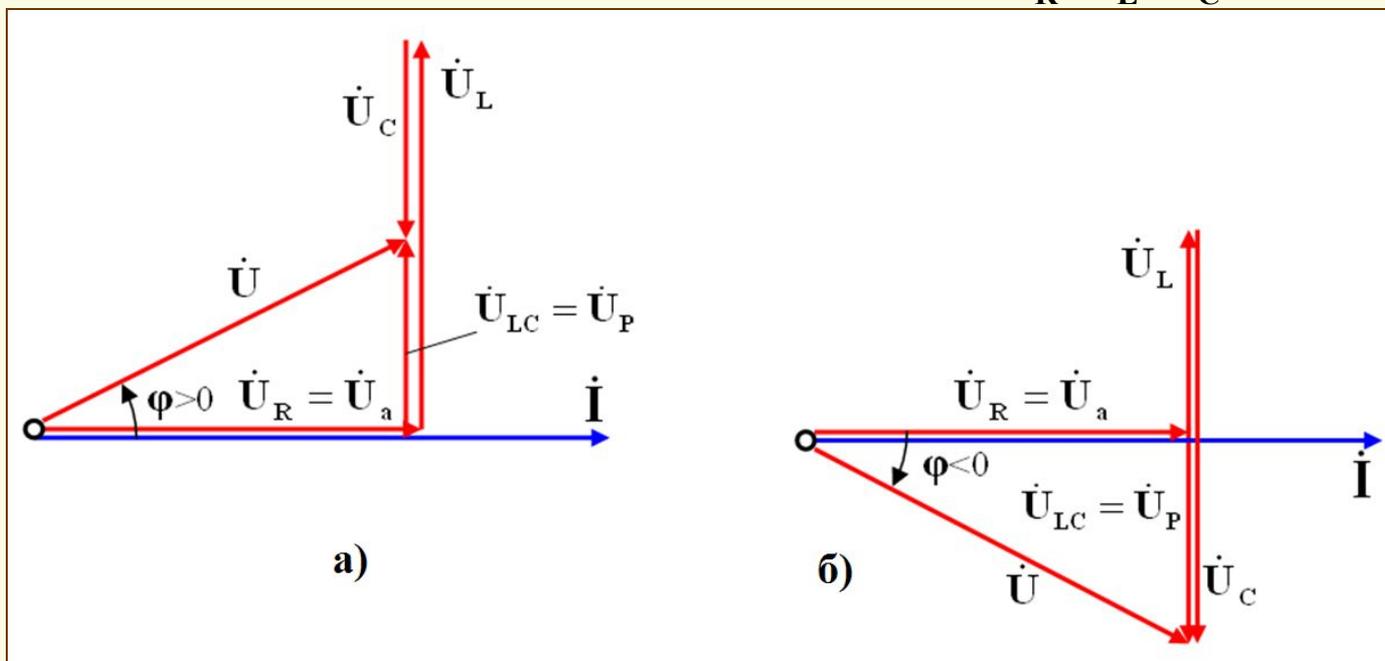


Рис. 2. Векторная диаграмма тока и напряжений для цепи с последовательным соединением R,L,C-элементов

*а* – активно-индуктивная нагрузка ( $U_L > U_C$ );

*б* – активно-емкостная нагрузка ( $U_C > U_L$ )

# Однофазный переменный ток



## Цепь с последовательным соединением R,L,C-элементов

Векторы напряжений  $U_R$ ,  $U_{LC}$ ,  $U$  на векторных диаграммах имеет вид прямоугольного треугольника (см. рис. 2). Гипотенуза треугольника напряжений равна **полному напряжению**  $U$ , а катеты треугольника  $U_a = U_R = RI$  и  $U_p = U_{LC} = |U_L - U_C| = |X_L - X_C|$  называют – **активной и реактивной составляющей** полного напряжения.

Вектор реактивной составляющей напряжения  $U_p$  опережает по фазе вектор тока  $I$  на угол  $\pi/2$  при активно-индуктивной нагрузке (рис. 2,а) и отстает по фазе от тока на угол  $\pi/2$  при активно-емкостной нагрузке (рис. 2,б).

Вектор полного напряжения  $U$  опережает по фазе вектор тока  $I$  на угол  $\varphi$  при активно-индуктивной нагрузке (рис. 2,а) и отстает по фазе от тока на угол  $\varphi$  при активно-емкостной нагрузке (рис. 2,б).

Из векторной диаграммы (рис. 2) легко получаются формулы, связывающие величины напряжений в последовательной цепи. Из теоремы Пифагора для прямоугольного треугольника векторов напряжений  $U_R$ ,  $U_{LC}$ ,  $U$ :

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_p^2} = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2};$$

# Однофазный переменный ток



## Цепь с последовательным соединением R,L,C-элементов

$$U_a = U_R = U \cos \phi;$$

$$U_p = U_{LC} = |U_L - U_C| = U \sin \phi;$$

$$\cos \phi = U_R / U.$$

Если составляющие напряжений  $U$ ,  $U_a = U_R$ ,  $U_{LC} = |U_L - U_C| = U_p$ , образующие на векторной диаграмме прямоугольный треугольник напряжений

(см. рис. 2) разделить на ток  $I$ , то может быть получен подобный прямоугольный *треугольник сопротивлений* (см. рис. 3).

Стороны треугольника сопротивлений на основании закона Ома образуют: *полное сопротивление Z* – гипотенузу треугольника, *активное сопротивление R* – горизонтальный катет, *общее реактивное сопротивление X* – вертикальный катет.

# Однофазный переменный ток



## Цепь с последовательным соединением R,L,C-элементов

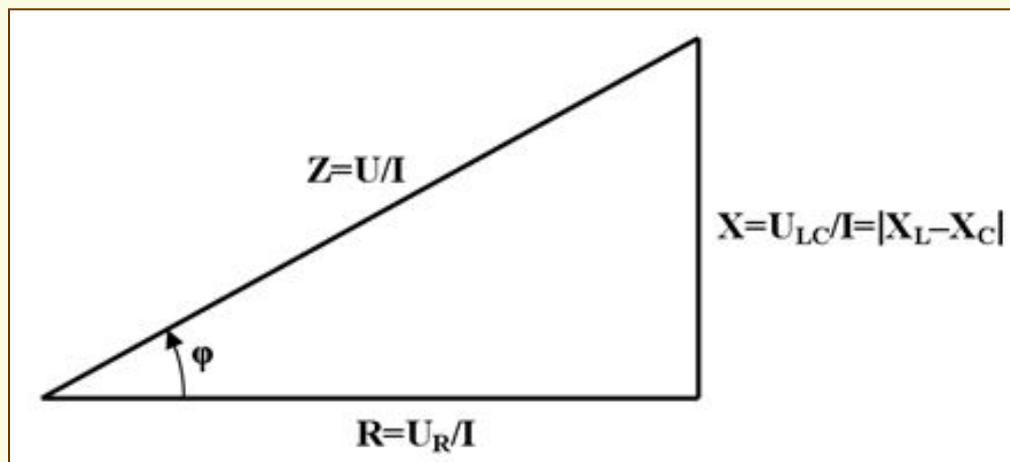


Рис3. Треугольник сопротивлений для цепи с последовательным соединением R,L,C-элементов

Из прямоугольного треугольника сопротивлений (рис. 3) легко выводятся формула полного сопротивления  $Z$ , а также формулы выражающие связь между сопротивлениями  $R$ ,  $X$ ,  $X_L$  и  $X_C$  :

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2};$$

# Однофазный переменный ток



## Расчет мощностей в цепи с R,L,C-элементами

$$R = Z \cos \varphi; \quad X = |X_L - X_C| = Z \sin \varphi; \quad \cos \varphi = R / Z.$$

Если составляющие напряжений  $U$ ,  $U_a = U_R$ ,  $U_{LC} = |U_L - U_C| = U_P$ , образующие на векторной диаграмме рис. 2. прямоугольный треугольник напряжений, умножить на ток  $I$ , то может быть получен подобный прямоугольный *треугольник мощностей*, как показано на рисунке ниже.

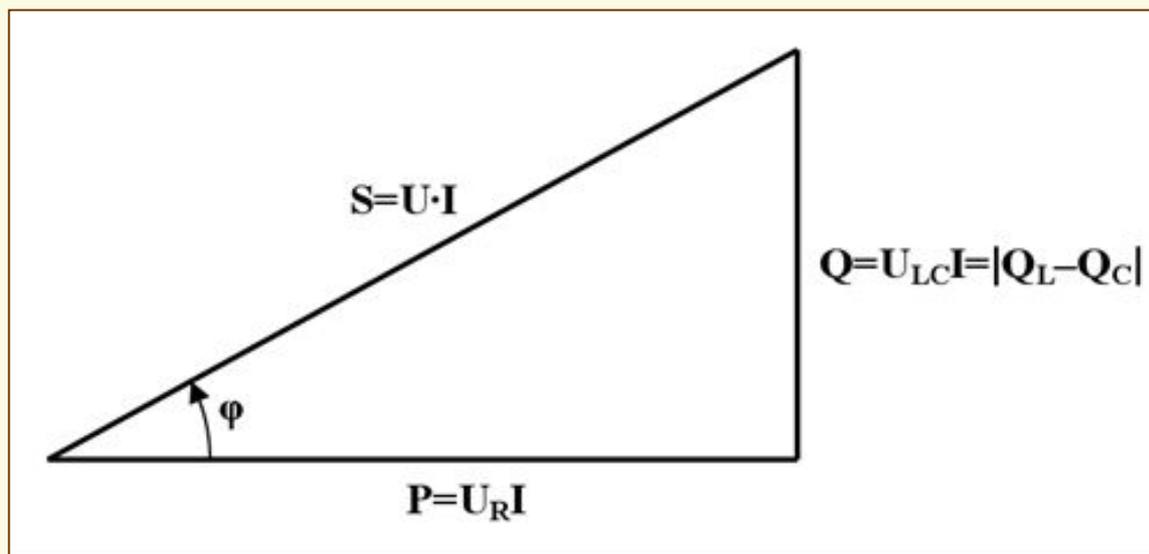


Рис. 4. Треугольник мощностей для цепи с R,L,C-элементами



# Однофазный переменный ток



## Расчет мощностей в цепи с R,L,C-элементами

Из треугольника мощностей видно, что активная мощность **P** равна:  $P = S \cos \phi = UI \cos \phi$ . Активная мощность выделяемая в резисторе с активным сопротивлением **R** также определяется из закона Ома по формулам:

$$P = U_R I = I^2 R = \frac{(U_R)^2}{R}.$$

Активная мощность в цепях синусоидального тока измеряется, как и в цепях постоянного тока – в *ваттах* (**Вт**) и *киловаттах* (**кВт**) или *мегаваттах* (**МВт**)

*Активная мощность* – это средняя за период мощность, выделяемая на резистивных элементах в цепи с синусоидальными напряжениями и токами.

*Активная мощность* характеризует интенсивность однонаправленной передачи энергии от источника к электроприемнику и ее необратимое преобразование в другие виды энергии, в частности, в тепловую энергию.

*В этом заключается физическая сущность активной мощности.*

# Однофазный переменный ток



## Расчет мощностей в цепи с R,L,C-элементами

**Реактивная мощность**  $Q$  обусловлена наличием в цепи индуктивности и (или) емкости и из треугольника мощностей (см. рис. 4) рассчитывается по формуле :  $Q = S \sin \phi = UI \sin \phi$ .

Реактивная мощность, связанная с реактивным сопротивлением  $X = |X_L - X_C|$ , из закона Ома определяется по формулам:  $Q = I^2 X = I^2 |X_L - X_C|$ .

Единица измерения реактивной мощности – **вольт-ампер реактивный (ВАр)** и в тысячу раз большая – **киловольт-ампер реактивный (кВАр)**.

Величина общей реактивной мощности цепи синусоидального тока с **R,L,C-элементами** равна модулю разности **реактивной индуктивной мощности**  $Q_L$  и **реактивной емкостной мощности**  $Q_C$ :  $Q = |Q_L - Q_C|$ .

Здесь **реактивная индуктивная мощность**, или просто – **индуктивная мощность** определяется по формулам:

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

**Реактивная емкостная мощность**, или просто – **емкостная мощность** определяется по формулам:

$$Q_C = U_C I = \frac{U_C^2}{X_C} = I^2 X_C.$$

# Однофазный переменный ток



## Расчет мощностей в цепи с R,L,C-элементами

Если индуктивный и емкостной элементы находятся в одной цепи, то они могут обмениваться электроэнергией не только с источником, но и друг с другом. В этом случае имеет место процесс колебания энергии, но необратимых преобразований энергии нет (если пренебречь сравнительно небольшими потерями энергии в проводниках катушки индуктивности и в диэлектрическом материале между обкладками конденсатора). *Мощность энергии, колеблющейся между источником и электроприемниками и не преобразующейся в другие виды энергии, и есть реактивная мощность Q.*

*Полной мощностью S* цепи синусоидального тока с R,L,C-элементами называют *максимально возможную мощность*, получаемую при заданном входном напряжении U и общем токе I цепи. Максимальная мощность получается при  $\cos\phi = 1$ , то есть когда угол сдвига фаз между напряжением и током равен нулю ( $\cos 0^\circ = 1$ ):

$$S = UI.$$

# Однофазный переменный ток



## Расчет коэффициента мощности в цепи с R,L,C-элементами

Из закона Ома, можно получить еще две равноценные формулы для подсчета полной мощности:

$$S = I^2 Z = \frac{U^2}{Z}.$$

Из треугольника мощностей формула расчета полной мощности:

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Единица измерения полной мощности **S** – *вольт-ампер (ВА)*. В практике используют более крупные единицы полной мощности: *киловольт-ампер (кВА)*, (1 кВА=10<sup>3</sup> ВА) и *мегавольт-ампер (МВА)*, (1 МВА = 10<sup>6</sup> ВА.)

**Коэффициентом мощности** цепи синусоидального тока с R,L,C-элементами *называется отношение активной мощности P к полной мощности S*, которое является безразмерной величиной и принимает значения в интервале от 0 до 1:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}.$$

Из треугольника векторов напряжений (рис.2) и треугольника сопротивлений (рис.3) можно получить другие формулы для коэффициента мощности:

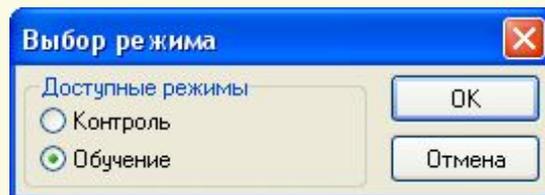
$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}.$$

# Однофазный переменный ток



## ТЕСТ – Цепь с последовательными R,L,C-элементами

При нажатии на расположенную внизу кнопку-гиперссылку «ТЕСТ» запускается тестирующая программа и предоставляет пользователю выборку пяти вопросов и задач из общего количества 29 по теме раздела. При этом появляется окно *Выбор режима*.



В этом окне следует отметить пункт *Обучение* и после – нажать кнопку *Ок*, так как тестирование в настоящем пособии проводится только в режиме *Обучение*. При ошибочных ответах пользователя на вопросы теста приводятся подсказки в виде правильных ответов (в режиме контроля подсказки отсутствуют).

ТЕСТ

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

*Резонансом* в электротехнике называют такой режим работы цепи синусоидального тока, содержащей *индуктивный и емкостной элементы*, при котором *разность фаз  $\phi$  (угол сдвига фаз) между напряжением и током равна нулю*.

Электрическому резонансу сопутствует ряд особенностей, которые обусловили его широкое использование в радиотехнике, электротехнике, измерительной технике и других областях.

Различают несколько видов резонанса: *резонанс напряжений* (при последовательном соединении **L, C**-элементов), *резонанс токов* (при параллельном соединении **L, C**-элементов), *резонанс в магнитосвязанных цепях* (колебательных контурах), резонанс в цепях с нелинейной индуктивностью – *ферромагнитный резонанс* и др. [1].

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

*Резонансом напряжений называется режим электрической цепи синусоидального тока с последовательно соединенными индуктивностью  $L$  и конденсатором  $C$  при котором угол сдвига фаз между общим напряжением и током в цепи равен нулю (см. рис. 5,а).*

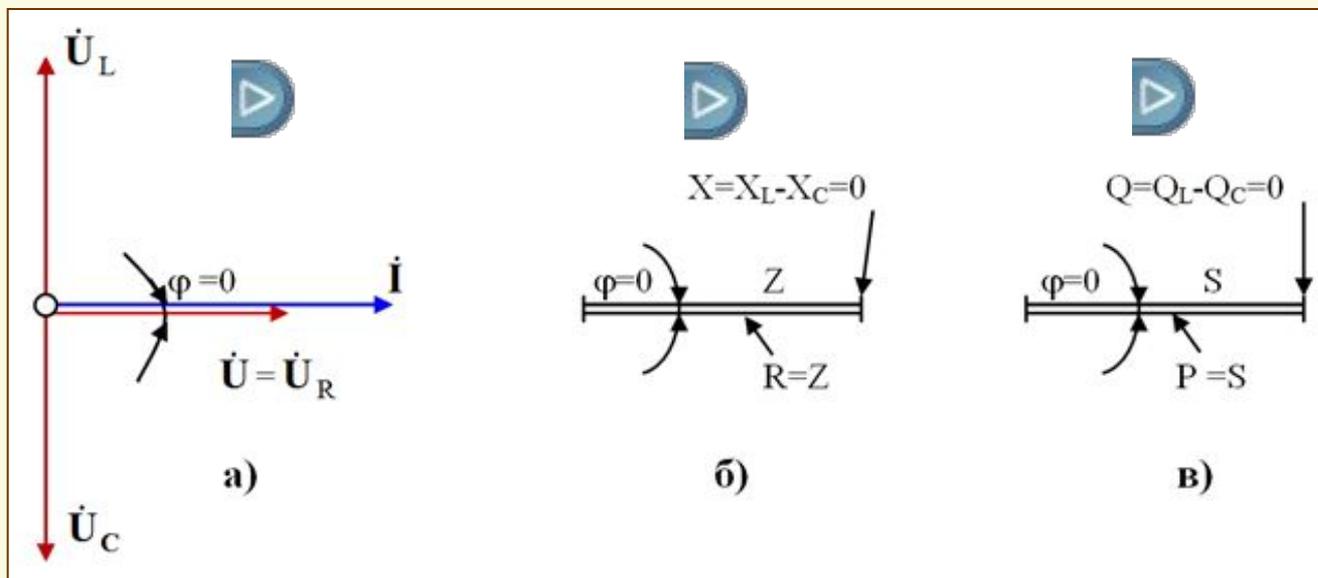


Рис.5. Резонанс напряжений в цепи с последовательным соединением  $R, L, C$ -элементов

а – векторная диаграмма;

б – вырожденный треугольник сопротивлений ( $X = 0$ );

в – вырожденный треугольник мощностей ( $Q = 0$ )

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

*Условием наступления резонанса напряжений является равенство индуктивного и емкостного сопротивлений цепи:  $X_L = X_C$ .*

Электрическая цепь, питаемая синусоидальным переменным током, в которую входит конденсатор и катушка индуктивности называется *колебательным контуром*.

Резонанс напряжений можно получить тремя способами:

1. Изменением *частоты  $\omega$*  синусоидального тока;
2. Изменением *величин индуктивности* или *емкости* колебательного контура, при котором меняются индуктивное  $X_L$  или емкостное  $X_C$  сопротивление;
3. При одновременном изменении параметров цепи (колебательного контура) – *частоты  $\omega$ , индуктивности  $L$ , емкости конденсатора  $C$* .

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

Из условия резонанса напряжения  $X_L = X_C$  следует, что так как  $X_L = \omega L$  и  $X_C = 1/\omega C$ , то

$$\omega_{\text{рез}} L = \frac{1}{\omega_{\text{рез}} C}.$$

Отсюда следует, что резонансная частота  $\omega_{\text{рез}}$ , рад/сек определяется следующим соотношением индуктивности  $L$  и емкости  $C$  колебательного контура:

$$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

**Резонанс напряжений характеризуется рядом существенных особенностей:**

1. Так как при резонансе напряжений угол сдвига фаз между напряжением и током равен нулю ( $\phi = \psi_u - \psi_i = 0$ ), то *коэффициент мощности при резонансе принимает наибольшее значение, равное единице:*  
 $\cos\phi = \cos 0^\circ = 1.$

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

Как видно из векторной диаграммы на **рис. 5,а**, в этом случае вектор тока  $\mathbf{I}$  и вектор общего напряжения  $\mathbf{U}$  совпадают по направлению, так как они имеют равные начальные фазы  $\psi_u = \psi_i$ .

2. При резонансе напряжений *векторы напряжения на индуктивном и емкостном элементах оказываются равными по величине и противоположными по фазе:*

$$U_{Lрез} = U_{Cрез},$$

так как

$$X_L I = X_C I.$$

В комплексной форме  $\dot{U}_L = -\dot{U}_C$ , то есть векторы этих напряжений разнонаправлены (**см. рис.5,а**).

3. Поскольку  $U_{Lрез} = U_{Cрез}$ , то напряжение на активном сопротивлении при резонансе напряжений оказывается равным напряжению сети (**см. рис. 5,а**):

$$U = \sqrt{U_{рез}^2 - (U_{Cрез} - U_{Lрез})^2} = U.$$

В комплексной форме  $\dot{U}_R = \dot{U}$ , то есть векторы этих напряжений однонаправлены (**см. рис. 5,а**).

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

4. Отношение индуктивного или емкостного сопротивлений к активному сопротивлению цепи с **R, L, C**-элементами при резонансе называется *добротностью колебательного контура Q*:

$$Q = \frac{X_{\text{рез}}}{R} = \frac{X_{\text{Срез}}}{R}.$$



Умножив числитель и знаменатель этих дробей на ток **I**, получим выражения для добротности колебательного контура через отношения напряжений:

$$Q = \frac{U_{\text{рез}}}{U} = \frac{U_{\text{Срез}}}{U}.$$

При больших значениях  $X_L$  и  $X_C$  и малых значениях активного сопротивления **R** ( $R \ll X_L = X_C$ ), т.е. при высоких значениях добротности **Q** колебательного контура напряжения :  $U_{L_{\text{рез}}}/U = X_{L_{\text{рез}}}/R = Q \gg 1$ ;  
 $U_{C_{\text{рез}}}/U = X_{C_{\text{рез}}}/R = Q \gg 1$ , то есть *напряжение на индуктивности и конденсаторе последовательного колебательного контура при его высокой добротности в режиме резонанса напряжений могут во много раз превысить напряжение питания*:

$$U_{L_{\text{рез}}} = U_{C_{\text{рез}}} \gg U.$$

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

Например, если у колебательного контура последовательной цепи с R, L, C-элементами, питаемым синусоидальным напряжением  $U = 220 \text{ В}$ ,  $R = 1 \text{ Ом}$ ,  $X_{L\text{рез}} = X_{C\text{рез}} = 1000 \text{ Ом}$ , то напряжение на индуктивности и конденсаторе, равно:

$$U_{L\text{рез}} = U_{C\text{рез}} = U \cdot Q = 220 \cdot 1000 = 220000 \text{ В} = 220 \text{ кВ.}$$

Поэтому при работе электротехнического оборудования, питаемого сетевым напряжением 220/380 вольт *резонанс напряжений никогда не используется.*

Однако в разнообразных устройствах радиотехники и электроники, где напряжение питания колебательного контура составляет микровольты ( $1 \text{ мкВ} = 10^{-6} \text{ В}$ ), резонанс напряжений широко используется, позволяя многократно усилить входной сигнал в виде синусоидального напряжения.

5. Так как при резонансе напряжений  $X_L = X_C$ , то *полное сопротивление цепи принимает минимальное значение, равное активному сопротивлению:*

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_{\text{рез}} - X_C)^2} = Z = R.$$

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

При этом *общее реактивное сопротивление цепи становится равным нулю*:  $X_{\text{рез}} = |X_L - X_C| = 0$ .

Поэтому *треугольник сопротивлений при резонансе напряжений имеет вырожденный характер*, (см. рис. 5б.).

6. На основании закона Ома и с учетом того, что  $Z_{\text{рез}} = R$  следует, что *ток  $I$  в цепи при резонансе напряжений достигает наибольшего значения*:

$$I_{\text{рез}} = U/Z_{\text{рез}} = U/R.$$

Отсюда следует, что *ток в цепи при резонансе напряжений может оказаться значительно больше тока, который мог бы быть при отсутствии резонанса*.

Это свойство позволяет экспериментально обнаружить резонанс напряжений, следя за изменением тока при изменении частоты  $\omega$ , изменении индуктивности  $L$  или емкости  $C$ . Однако *резонансный ток при определенных условиях опасен* – он может, достигнув чрезмерно большой величины, привести к перегреву элементов цепи и выходу их из строя.

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

7. *Активная мощность  $P$  при резонансе напряжений имеет наибольшее значение*, так как  $P = (I_{\text{рез}})^2 R$ , а ток  $I_{\text{рез}}$  – максимален.

8. *Общая реактивная мощность  $Q$  при резонансе напряжений равна нулю*:  $Q = |Q_L - Q_C| = |U_L I - U_C I| = 0$ , так как  $U_L = U_C$ . Поэтому *треугольник мощностей при резонансе имеет вырожденный характер*, как показано на **рис. 5в**.

9. При условии  $R \ll X_L = X_C$  (т.е. при высокой добротности колебательного контура) *индуктивная и емкостная мощности  $Q_L = Q_C \gg S = P$* . То есть эти мощности *могут во много раз превысить потребляемую полную мощность  $S$* . При этом *полная мощность  $S$  при резонансе целиком выделяется на резистивном элементе  $R$ , в виде активной мощности  $P$* .

Физически это объясняется тем, что *при резонансе напряжений происходит периодический обмен энергии магнитного поля в индуктивном элементе и энергии электрического поля в конденсаторе*.

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

На рис. 6 приведены зависимости  $(U_L, U_C, I, Z, \cos\phi) = f(C)$ , построенные в общем виде при  $U = \text{const}$  и  $\omega = 2\pi f = \text{const}$ .

Кривые, выражающие зависимость полного тока  $I$  и сопротивления цепи  $Z$ , напряжения на индуктивности  $U_L$  и конденсаторе  $U_C$  и коэффициента мощности  $\cos\phi$  от емкости батареи конденсатора  $C$ , называются *резонансными кривыми*.

Анализ этих зависимостей показывает, что при увеличении емкости батареи конденсаторов полное сопротивление  $Z$  сначала уменьшается, достигает минимума в режиме резонанса и становится равным активному сопротивлению  $R$ , а затем снова возрастает с увеличением емкости.

Соответственно изменению  $Z$  меняется полный ток цепи (по закону Ома  $I$  обратно пропорционален  $Z$ ): с ростом емкости конденсаторов ток  $I$  вначале увеличивается, достигает максимума в режиме резонанса, а затем вновь уменьшается.

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

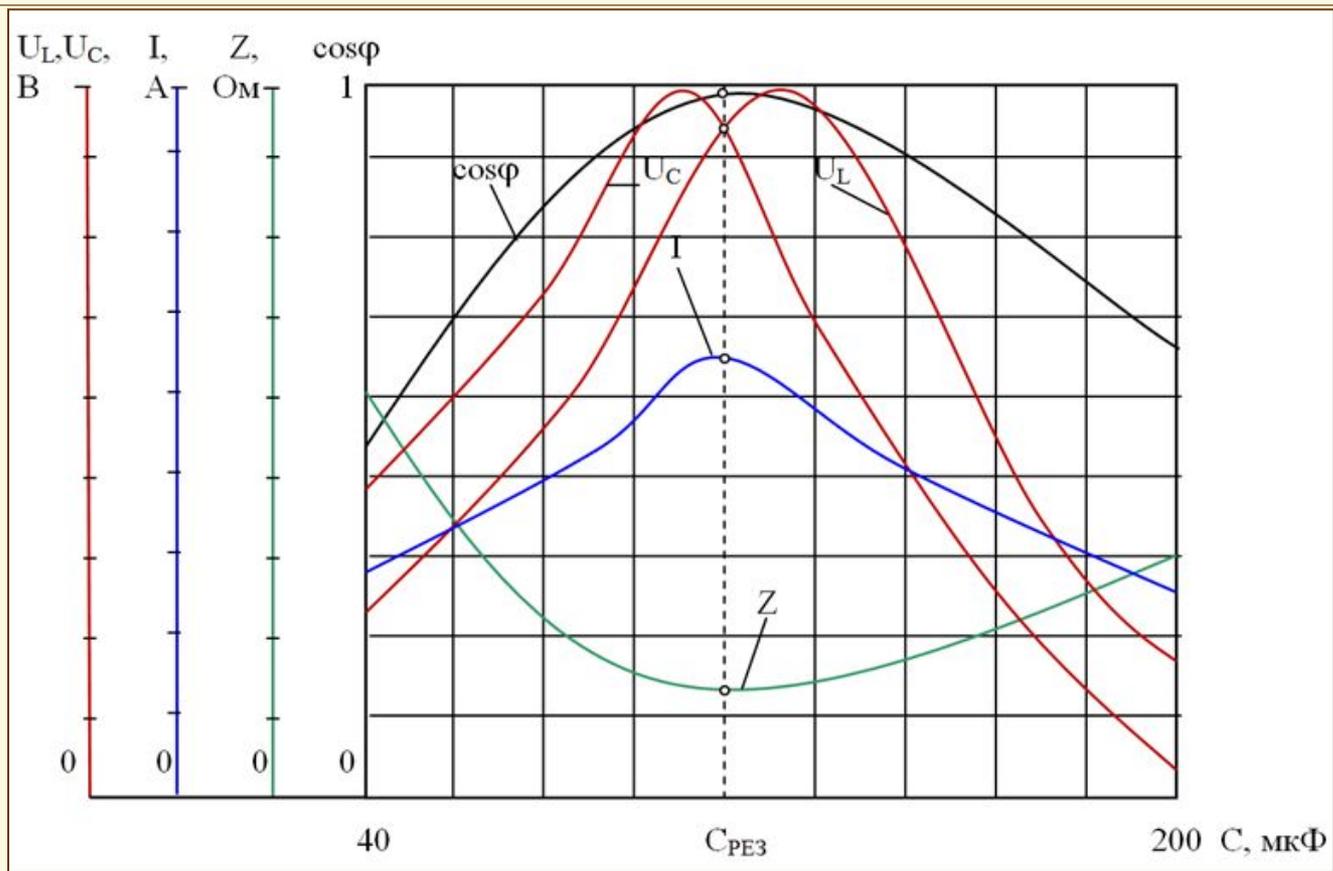


Рис. 6. Резонансные кривые  $U_L$ ,  $U_C$ ,  $I$ ,  $Z$ ,  $\cos\varphi$  в зависимости от емкости  $C$  при последовательном соединении катушки индуктивности и батареи конденсаторов<sup>29</sup>

# Однофазный переменный ток



## Резонанс напряжений в последовательной цепи

Коэффициент мощности  $\cos\phi$  изменяется с изменением емкости  $C$  в том же порядке: сначала с увеличением емкости  $C$  коэффициент мощности возрастает, достигая максимума равного единице в режиме резонанса, а затем уменьшается, в пределе стремясь к нулю.

Напряжения на индуктивности и конденсаторах имеют максимумы вблизи режима резонанса и становятся равными друг другу в этом режиме (см. рис. 6). Следует отметить, что достигаемые величины напряжений на конденсаторах и катушке индуктивности в режиме резонанса напряжений и вблизи него могут во много раз превышать входное напряжение приложенное ко всей цепи (см. п. 4).

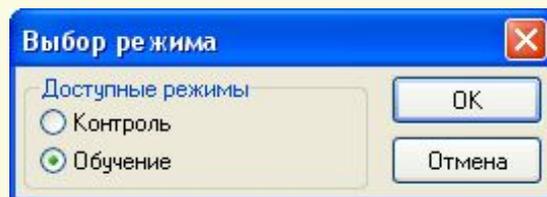
Таким образом, резонансные кривые позволяют установить минимальное полное сопротивление и наибольший ток в цепи при максимуме коэффициента мощности, равном единице, когда в цепи с последовательным соединением катушки индуктивности и батареи конденсаторов возникает резонанс напряжений.

# Однофазный переменный ток



## ТЕСТ – Резонанс напряжений в последовательной цепи

При нажатии на расположенную внизу кнопку-гиперссылку «ТЕСТ» запускается тестирующая программа и предоставляет пользователю выборку пяти вопросов и задач из общего количества 23 по теме раздела. При этом появляется окно *Выбор режима*.



В этом окне следует отметить пункт *Обучение* и после – нажать кнопку *Ок*, так как тестирование в настоящем пособии проводится только в режиме *Обучение*. При ошибочных ответах пользователя на вопросы теста приводятся подсказки в виде правильных ответов (в режиме контроля подсказки отсутствуют).



# Однофазный переменный ток



## Литература и электронные средства обучения

### *Основная литература*

1. Касаткин А.С. Электротехника: учеб. для вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 10-е изд. стер. – М.: Изд. Центр «Академия», 2007. – 544с.
2. К.Я. Вильданов, С.Т Гейдаров, И.Г. Забора и др. Электротехника и электроника. Элементы теории и задания к контрольным работам: Учебно-методическое пособие для студентов строительных специальностей. – М.: МГАКХиС, 2011. – 89 с.

### *Электронные средства обучения*

1. А.С. Касаткин, М.В. Немцов. Электротехника. Электронная версия учебника по электротехнике и электронике, 2009. (формат – веб-страницы).
2. И.Г. Забора. Часть 1. Электрические цепи и измерения. Электронное учебное пособие по лабораторным работам, 2014. (формат – веб-страницы).



**ЛЕКЦИЯ ОКОНЧЕНА**

***Благодарю за внимание!***