

Московский государственный строительный  
университет



Кафедра автоматизации и электроснабжения

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

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

#### ***Лекция 4. Однофазная цепь с параллельным соединением электроприемников***

**Электронные лекции**

Составитель:

доцент И.Г. Забора

Москва – 2016 г.

**Лекцию читает**

**доцент кафедры**

**«Автоматизация и электроснабжение» МГСУ**

***Забора Игорь Георгиевич***

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

# Однофазный переменный ток



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

Рассмотрим цепь однофазного синусоидального тока с параллельным соединением резистора  $R$ , катушки индуктивности  $L$  и конденсатора  $C$ . Если пренебречь активным сопротивлением  $R_L$  провода катушки (так как обычно  $R_L \ll X_L$ ), то получим схему замещения цепи синусоидального тока с параллельно соединенными  $R, L, C$ -элементами (рис. 1), позволяющей просто и наглядно рассмотреть закономерности исследуемой цепи.

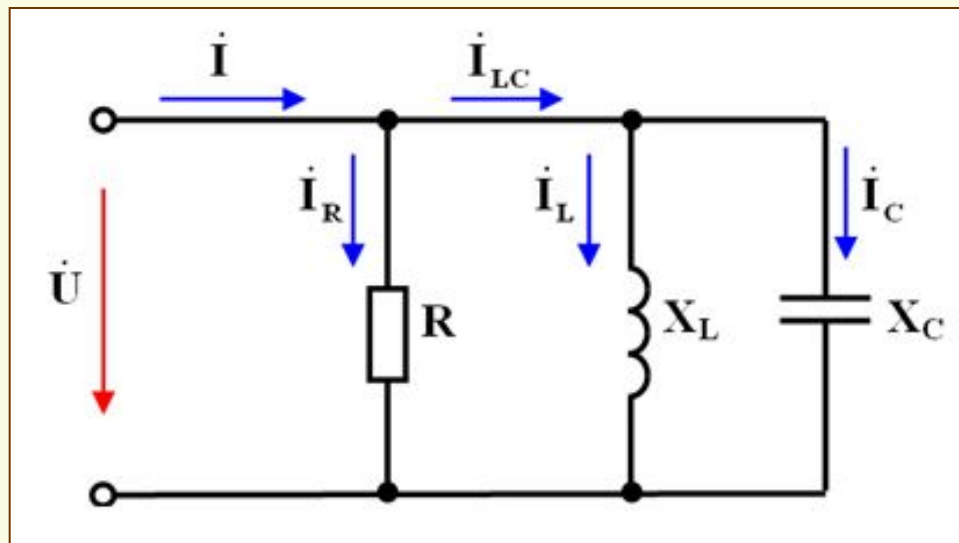


Рис. 1. Схема замещения цепи синусоидального тока с параллельным соединением  $R, L, C$ -элементов



# Однофазный переменный ток



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

По закону Ома для участков цепи действующие значения токов в параллельных ветвях схемы замещения с R,L,C-элементами (см. рис.1) равны:

$$I_R = U/R = GU;$$

$$I_L = U/X_L = B_L U;$$

$$I_C = U/X_C = B_C U.$$

Здесь  $G = \frac{1}{R}$  – *активная проводимость* ветви с резистором **R**;

$B_L = \frac{1}{X_L}$  – *реактивная индуктивная проводимость ветви* с индуктивным сопротивлением  $X_L$ ;  $B_C = \frac{1}{X_C}$  – *реактивная емкостная проводимость*

*ветви* с емкостным сопротивлением  $X_C$ ;  $U$  – действующее значение напряжения питания, одинаковое для всех параллельных ветвей.

Единицей измерения активной **G** и реактивных **B<sub>L</sub>**, **B<sub>C</sub>** проводимостей является *сименс* сокращенно – **См**, как и в цепях постоянного тока (см. лекцию 1).

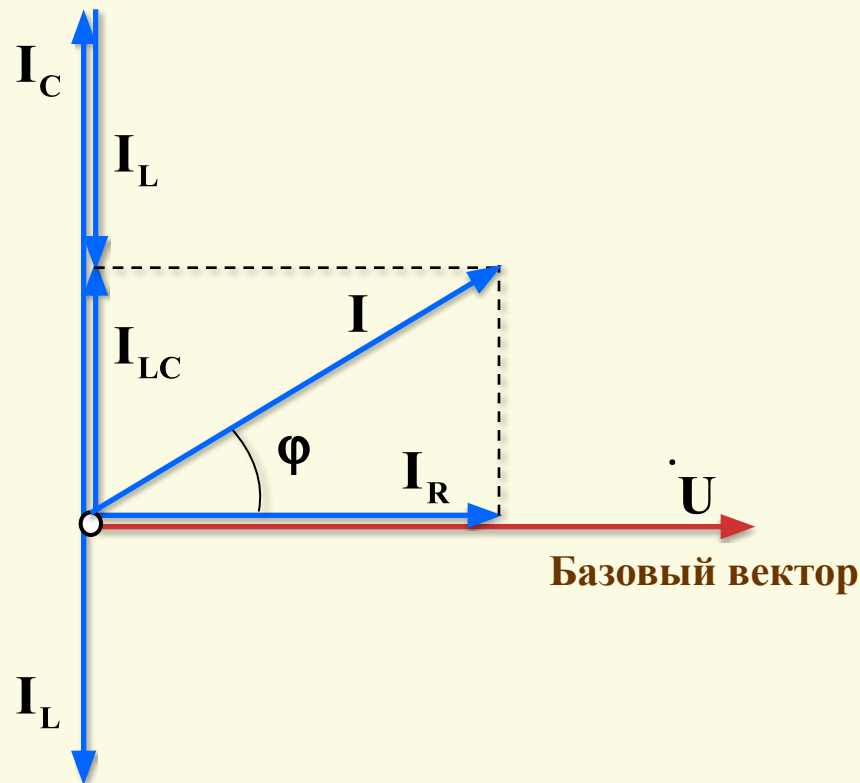
# Однофазный переменный ток



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

Векторная диаграмма для однофазной цепи с параллельным соединением R,L,C-элементов строиться по правилам, подробно изложенным в электронном пособии по лабораторным работам [2].

### Построение векторной диаграммы



# Однофазный переменный ток

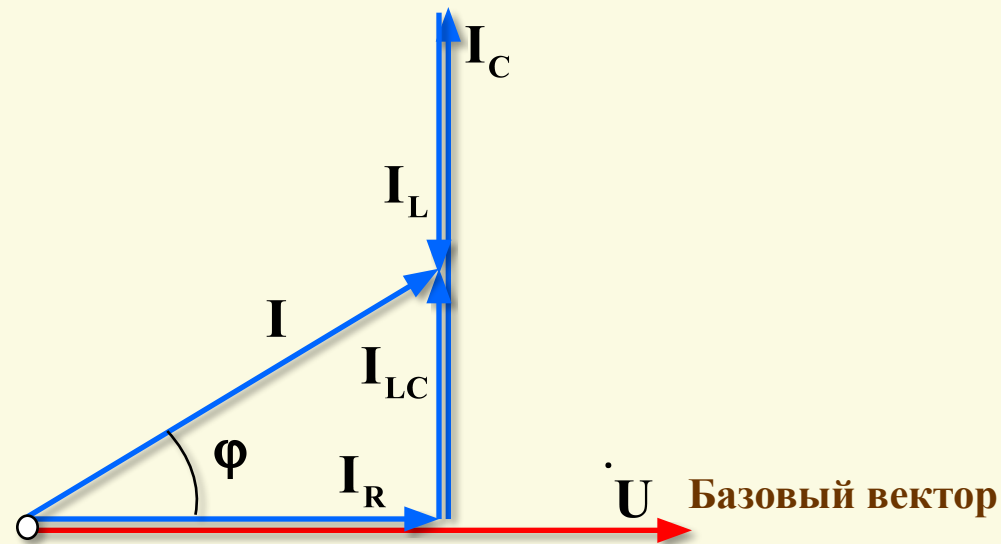


## Цепь с параллельным соединением R,L,C-элементов

Была построена векторная диаграмма при откладывании векторов токов  $I_R$ ,  $I_L$ ,  $I_C$  из *общего начала*, когда  $I_C > I_L$ .

Ниже показано построение той же векторной диаграммы при откладывании *цепочки векторов* токов  $I_R$ ,  $I_L$ ,  $I_C$ .

### Построение векторной диаграммы



Обе векторные диаграммы идентичны и построены для случая *активно-емкостной нагрузки*, когда  $I_C > I_L$ .

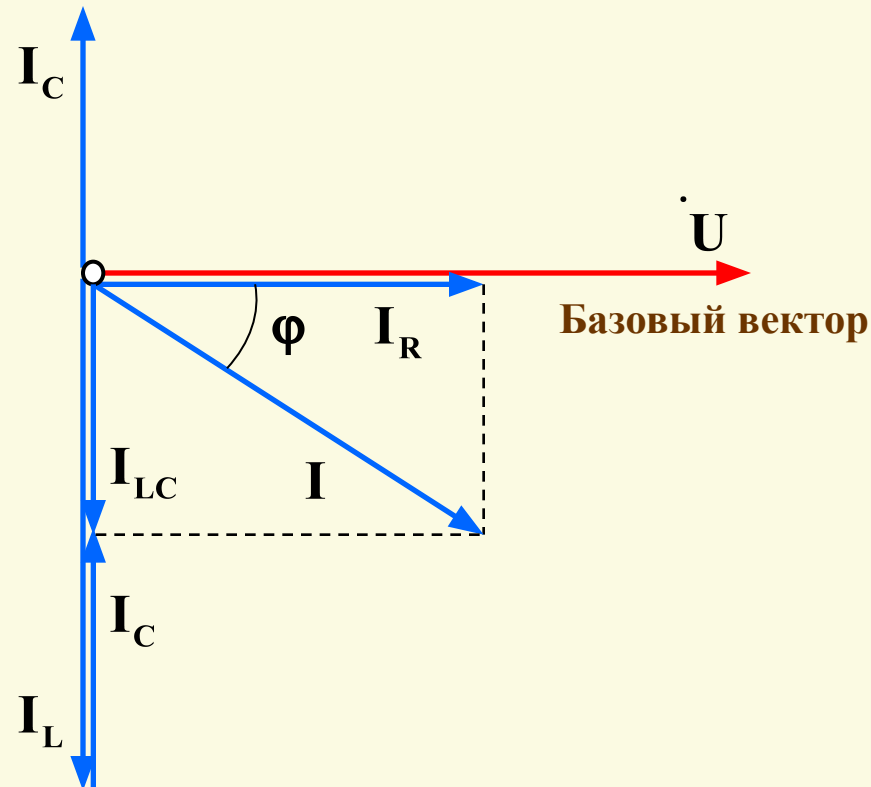


# Однофазный переменный ток

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

Здесь показано построение векторной диаграммы при откладывании векторов токов  $I_R$ ,  $I_L$ ,  $I_C$  из *общего начала*, когда  $I_L > I_C$ .

### Построение векторной диаграммы



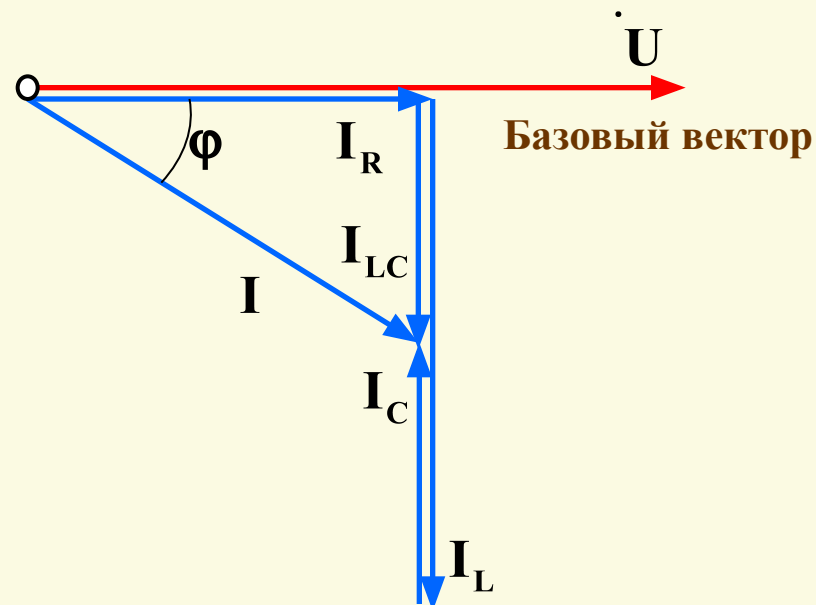
# Однофазный переменный ток



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

Здесь показано построение предыдущей векторной диаграммы, когда  $I_L > I_C$  при откладывании *цепочки векторов* токов  $I_R, I_L, I_C$ .

### Построение векторной диаграммы



Две последние векторные диаграммы идентичны и построены для случая *активно-индуктивной нагрузки*, когда  $I_L > I_C$ .



# Однофазный переменный ток



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

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

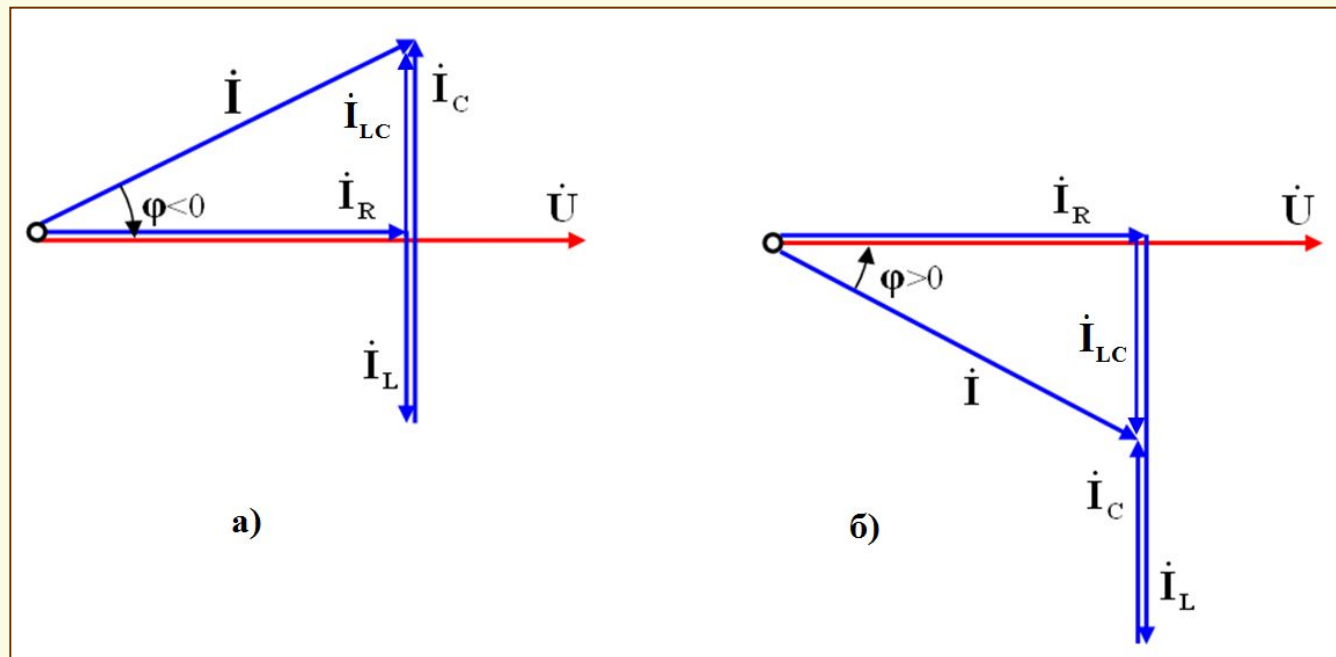


Рис. 2. Векторная диаграмма напряжения и токов для цепи с параллельным соединением R,L,C-элементов

- а* – активно-емкостная нагрузка ( $I_C > I_L$ );
- б* – активно-индуктивная нагрузка ( $I_L > I_C$ )



# Однофазный переменный ток



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

Из сравнения векторных диаграмм на рис. 2 видно, что когда величина тока  $I_C$  текущего через конденсатор больше тока  $I_L$  текущего через индуктивность ( $I_C > I_L$ ), то вектор полного тока опережает вектор напряжения по фазе на угол  $\phi$  (см. рис. 2,а). В этом случае говорят, что общая нагрузка цепи с параллельным соединением R,L,C-элементов носит **активно-емкостной характер**. Когда ток  $I_C$ , текущий через конденсатор меньше тока  $I_L$  индуктивности ( $I_C < I_L$ ), то вектор тока отстает от вектора приложенного напряжения на угол фазовый угол  $\phi$  (см. рис. 2,б). В этом случае говорят, что общая нагрузка имеет **активно-индуктивный характер**.

На рис. 3 построена векторная диаграмма в виде **треугольника токов**, имеющего вид прямоугольного треугольника и соответствующего векторной диаграмме, представленной на рис. 2,а, когда  $I_C > I_L$ .

# Однофазный переменный ток



Цепь с параллельным соединением R,L,C-элементов

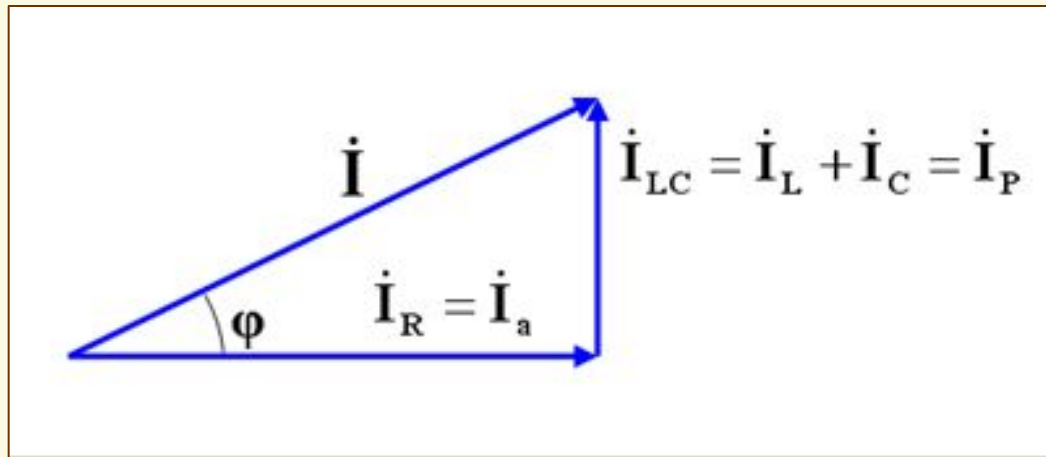


Рис. 3. Треугольник токов для цепи с параллельным соединением R,L,C-элементов (случай активно-емкостной характер нагрузки)

Из треугольника токов (рис. 3) можно получить ряд соотношений между токами. **Величина активной составляющей  $I_a$  вектора полного тока  $I$ :**  
 $I_a = I_R = I \cos \varphi$ . **Величина реактивной составляющей  $I_P$  вектора тока  $I$ :**  
 $I_P = |I_L - I_C| = I \sin \varphi$ .

# Однофазный переменный ток



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

*Величина полного тока в неразветвленной части цепи:*

$$I = \sqrt{I_P^2 + I^2} = \sqrt{I^2 + (I_C - I)^2}.$$

Разделив каждую из сторон треугольника токов  $I_a = I_R$ ;  $I_P = I_{LC}$  и  $I$ , на действующее значения напряжения  $U$ , получим *треугольник проводимостей* (см. рис.4), подобный треугольнику токов (рис. 3). В этом треугольнике *активная проводимость цепи G* и *общая реактивная проводимость  $B = |B_L - B_C|$*  изображаются соответственно горизонтальным и вертикальным катетами, а *полная проводимость Y* – гипотенузой прямоугольного треугольника, которая по теореме Пифагора равна:

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}.$$

Действующее значение полного тока равно:

$$I = UY = U\sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}.$$

# Однофазный переменный ток



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

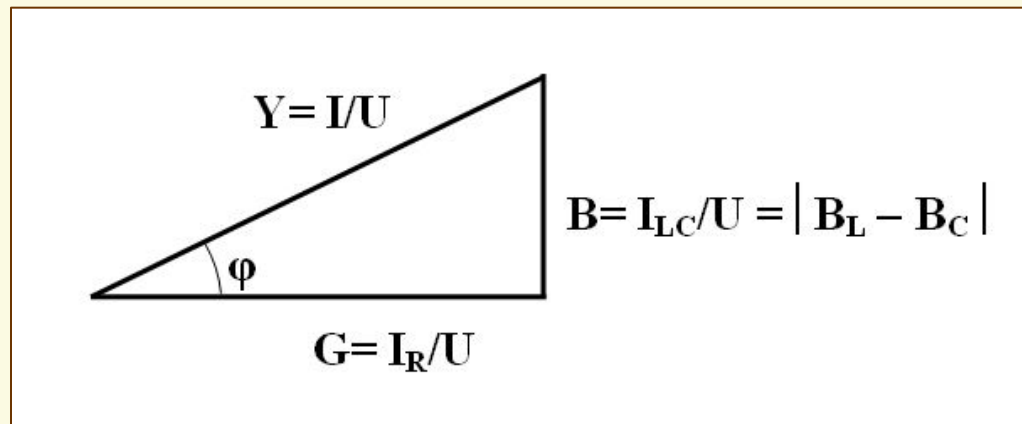


Рис. 4. Треугольник проводимостей для цепи с параллельным соединением R,L,C-элементов

Умножив действующее значение напряжения питания цепи  $U$  с параллельным соединением R,L,C-элементов на величины токов из треугольника токов (рис. 3), получим подобный прямоугольный треугольник, называемый *треугольником мощностей* (рис. 5).

# Однофазный переменный ток



## Расчет мощностей в параллельной цепи

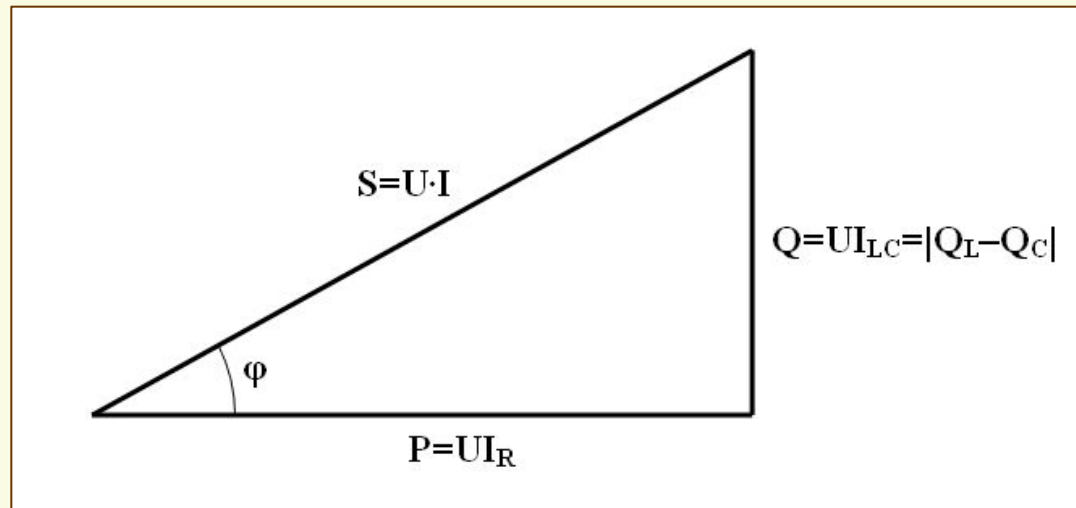


Рис. 5. Треугольник мощностей для цепи с параллельным соединением **R,L,C**-элементов

*Полная мощность S* соответствует гипотенузе в треугольнике мощностей и может быть определена по следующим равноценным формулам:

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = U^2 Y = I^2 Z.$$

# Однофазный переменный ток



## Расчет мощностей в параллельной цепи

В треугольнике мощностей (см. рис. 5) горизонтальный катет соответствует **активной мощности  $P$  цепи с параллельным соединением  $R, L, C$ -элементов**, которая может быть рассчитана по следующим равноценным формулам:

$$P = UI \cos \phi = UI_R = \frac{U^2}{R} = (I_R)^2 R.$$

**Реактивная мощность  $Q$**  соответствует вертикальному катету в треугольнике мощностей и может быть определена по следующим формулам:

$$Q = |Q_L - Q_C| = UI \sin \phi = UI_{LC} = \frac{U^2}{X} = I_{LC}^2 X.$$

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

$$Q_L = UI_L = \frac{U^2}{X_L} = I_L^2 X_L,$$

**реактивная емкостная мощность  $Q_C$** , или просто – **емкостная мощность** определяется по формулам:

$$Q_C = UI_C = \frac{U^2}{X_C} = I_C^2 X_C.$$

# Однофазный переменный ток



## Параллельное соединение катушки и конденсатора

Схема замещения реальной катушки индуктивности представлена на **рис. 6,а**. Катушка обладает индуктивностью  $L$  с индуктивным сопротивлением  $X_L$  и активным сопротивлением провода катушки  $R_K$ . Причем  $R_K \ll X_L$ .

Индуктивное сопротивление  $X_L$  пропорционально частоте  $f$  тока катушки и ее индуктивности  $L$ :  $X_L = 2\pi fL$ , Ом,

где  $f$  – частота тока сети, равная 50 Гц;  $\omega$  – угловая частота тока, рад/с.

Индуктивность катушки является мерой ее электромагнитной инерции и зависит от конфигурации, размеров, числа витков катушки, а также от наличия или отсутствия в катушке магнитопровода [1], [2].

Природа индуктивного сопротивления катушки связана с созданием вокруг нее переменного магнитного поля. Это поле в соответствии с законом электромагнитной индукции наводит в витках катушки ЭДС самоиндукции, знак которой в каждый момент времени противоположен знаку приложенного к катушке напряжения. В каждый момент времени ЭДС препятствует как нарастанию тока в катушке, так и его уменьшению.



# Однофазный переменный ток



## Параллельное соединение катушки и конденсатора

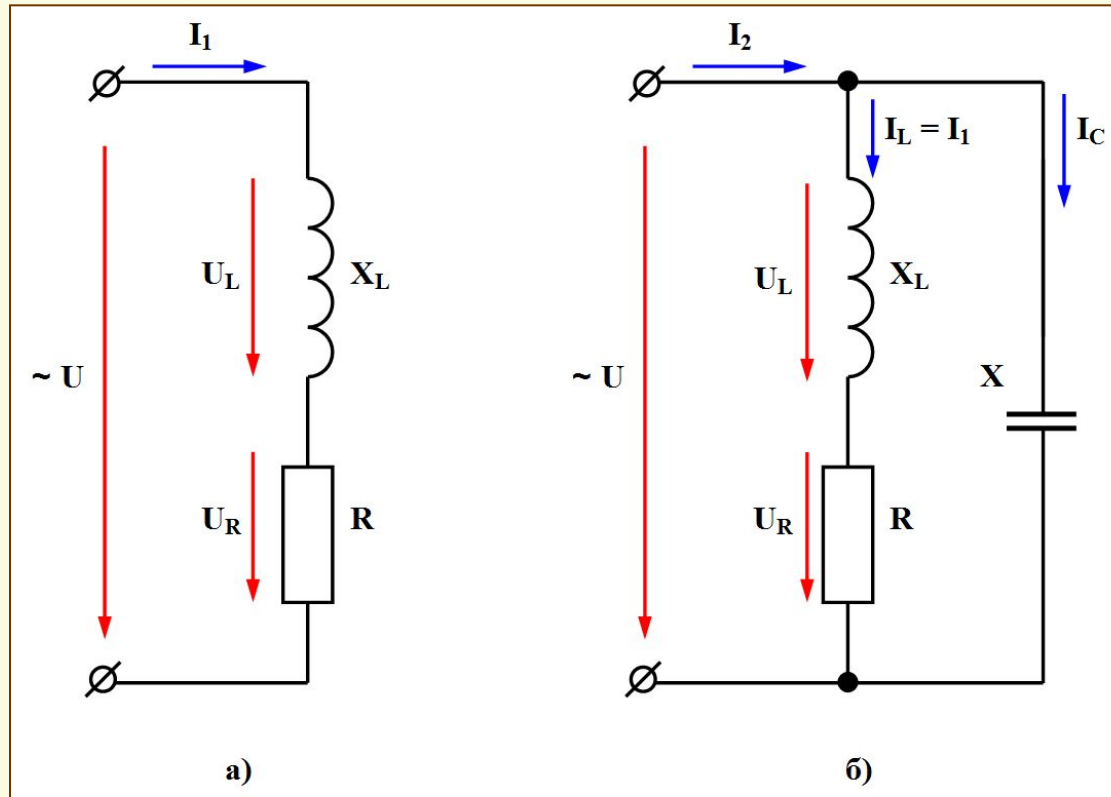


Рис. 6. Эквивалентные схемы замещения

**а** – катушка индуктивности (индуктор);

**б** – катушка индуктивности с параллельно включенным конденсатором;

# Однофазный переменный ток



## Параллельное соединение катушки и конденсатора

Наличие индуктивности вызывает некоторое отставание (сдвиг) фазы тока по отношению к фазе напряжения на угол  $\varphi_1$ , в чем и проявляется упомянутая электромагнитная инерция катушки.

Полное сопротивление катушки индуктивности  $Z_K$  может быть определено в соответствии с законом Ома или из треугольника сопротивлений:

$$Z_K = \frac{U}{I_1} = \sqrt{R_K^2 + X_L^2}.$$

Рассмотрим цепь с параллельным включением катушки индуктивности с активно-индуктивным характером нагрузки и конденсатора  $C$ , обладающего емкостным сопротивлением  $X_C$  (см. рис. 6,б).

Когда конденсатор  $C$  подключается параллельно катушке к напряжению  $U$ , через него протекает ток  $I_C$ , который определяется на основании закона Ома через  $U$  и  $X_C$ :

$$I_C = \frac{U}{X_C}.$$



# Однофазный переменный ток

## Параллельное соединение катушки и конденсатора

Ток  $I_2$ , потребляемый цепью с параллельно включенной катушкой индуктивности и конденсатором, можно определить на основании векторной диаграммы для этой цепи (см. рис. 7).

Из векторной диаграммы видно, что ток  $I_1$ , протекающий через катушку имеет активную  $I_{1a}$  и реактивную  $I_{1p}$  составляющие, определяемые из тригонометрических формул:  $I_{1a} = I_1 \cos \varphi_1$      $I_{1p} = I_1 \sin \varphi_1$

Вектор общего реактивного тока цепи  $I_{2p}$  равен геометрической сумме токов  $I_{1p}$  и  $I_C$ :  $I_{2p} = I_{1p} + I_C$ .

В то же время величина реактивной составляющей тока, потребляемого цепью  $I_{2p}$  определяется величиной разности разнонаправленных токов  $I_{1p}$  катушки и тока  $I_C$  конденсатора С:  $I_{2p} = |I_{1p} - I_C|$ .

Из векторной диаграммы видно, что величина тока  $I_2$ , потребляемого этой цепью определяется с помощью формулы теоремы Пифагора, как

$$I_2 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{2p}^2} = \sqrt{I_{1a}^2 + (I_{1p} - I_C)^2}.$$

# Однофазный переменный ток



## Параллельное соединение катушки и конденсатора

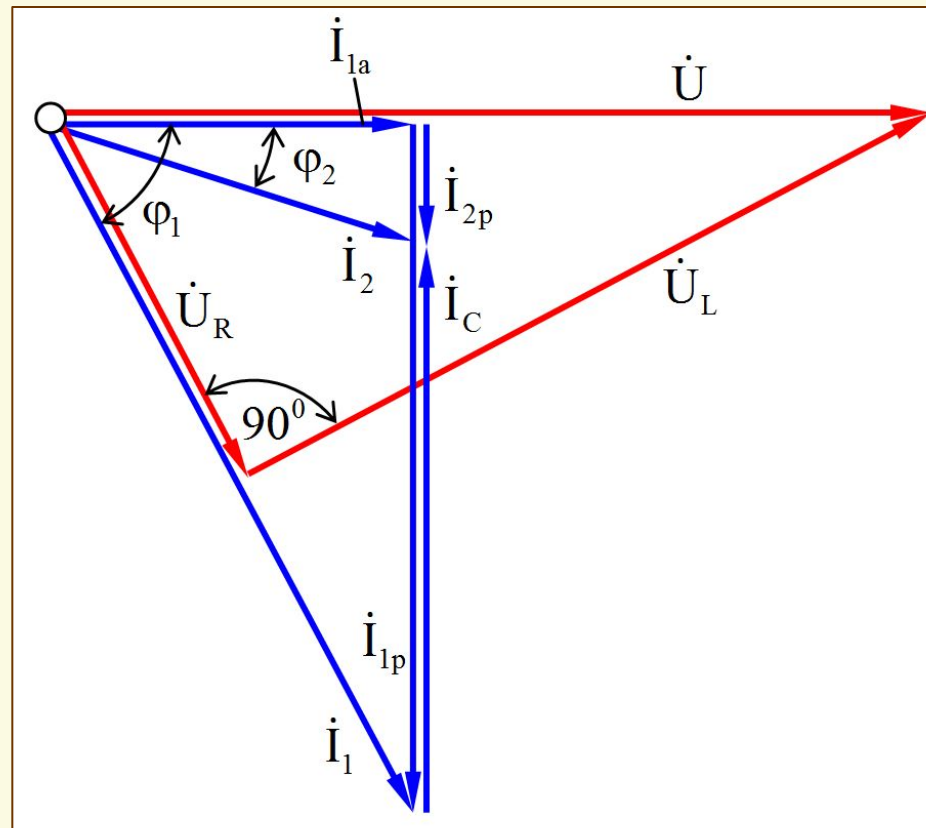


Рис. 7. Векторная диаграмма цепи с параллельно включенной катушкой индуктивности и конденсатором

# Однофазный переменный ток



## Параллельное соединение катушки и конденсатора

Коэффициент мощности цепи с параллельно включенной катушкой и конденсатором определяется из прямоугольного треугольника токов  $I_{1a}$ ,  $I_{2p}$ ,  $I_2$  по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{I_{1a}}{I_2}$$

Векторную диаграмму для цепи с параллельно соединенными катушкой и конденсатором (рис. 6,а) следует начать с построения в выбранном масштабе для напряжений ( $M_U$ , В/см) базового вектора  $U$ . Затем следует отложить в масштабе токов векторы активной  $I_{1a}$  и реактивной  $I_{1p}$  составляющей и вектор тока катушки  $I_1$ . Далее строится вектор емкостного тока  $I_C$ , начало которого совпадает с концом вектора тока  $I_1$ , и направленный противоположно вектору тока  $I_{1p}$ .

Величина вектора реактивной составляющей тока, потребляемого цепью  $I_{2p}$ , как было выше сказано, определяется величиной разности разнонаправленных векторов тока  $I_{1p}$  катушки и тока  $I_C$  конденсатора. Вектор тока  $I_2$ , потребляемого этой цепью откладывается как гипотенуза прямоугольного треугольника на катетах-векторах токов  $I_{1a}$  и  $I_{2p}$ .

# Однофазный переменный ток



## Параллельное соединение катушки и конденсатора

Вектор напряжения на активном сопротивлении  $U_R$  совпадает с вектором тока катушки  $I_1$ , а вектор падения напряжения на индуктивном сопротивлении  $U_L$  опережает этот ток на фазовый угол  $90^\circ$  (см. рис. 7). Эти два вектора образуют катеты в прямоугольном треугольнике векторов напряжений, гипотенузой которого является вектор напряжения питания  $U$ .

На построенной векторной диаграмме следует отложить фазовые углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  как показано на рис. 7.

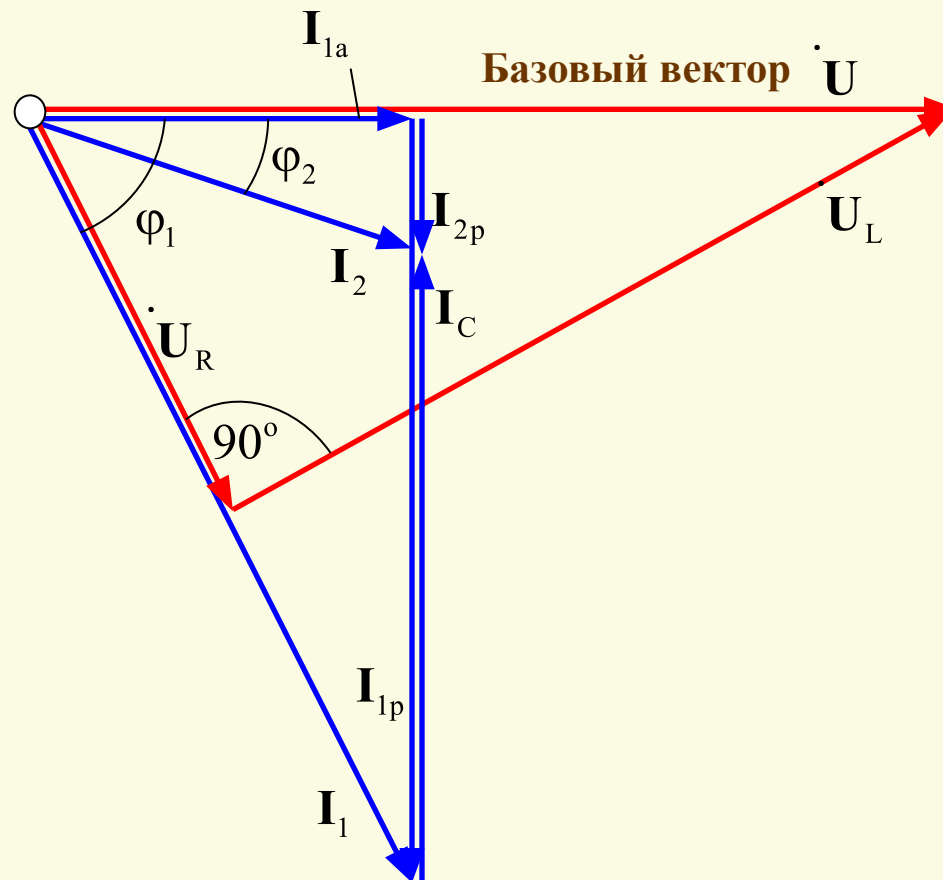
На следующем слайде показана вышеприведенная последовательность построения векторной диаграммы однофазной цепи с параллельным соединением реальной катушки индуктивности и конденсатора.



# Однофазный переменный ток

Параллельное соединение катушки и конденсатора

**Построение векторной диаграммы (Вариант №1)**

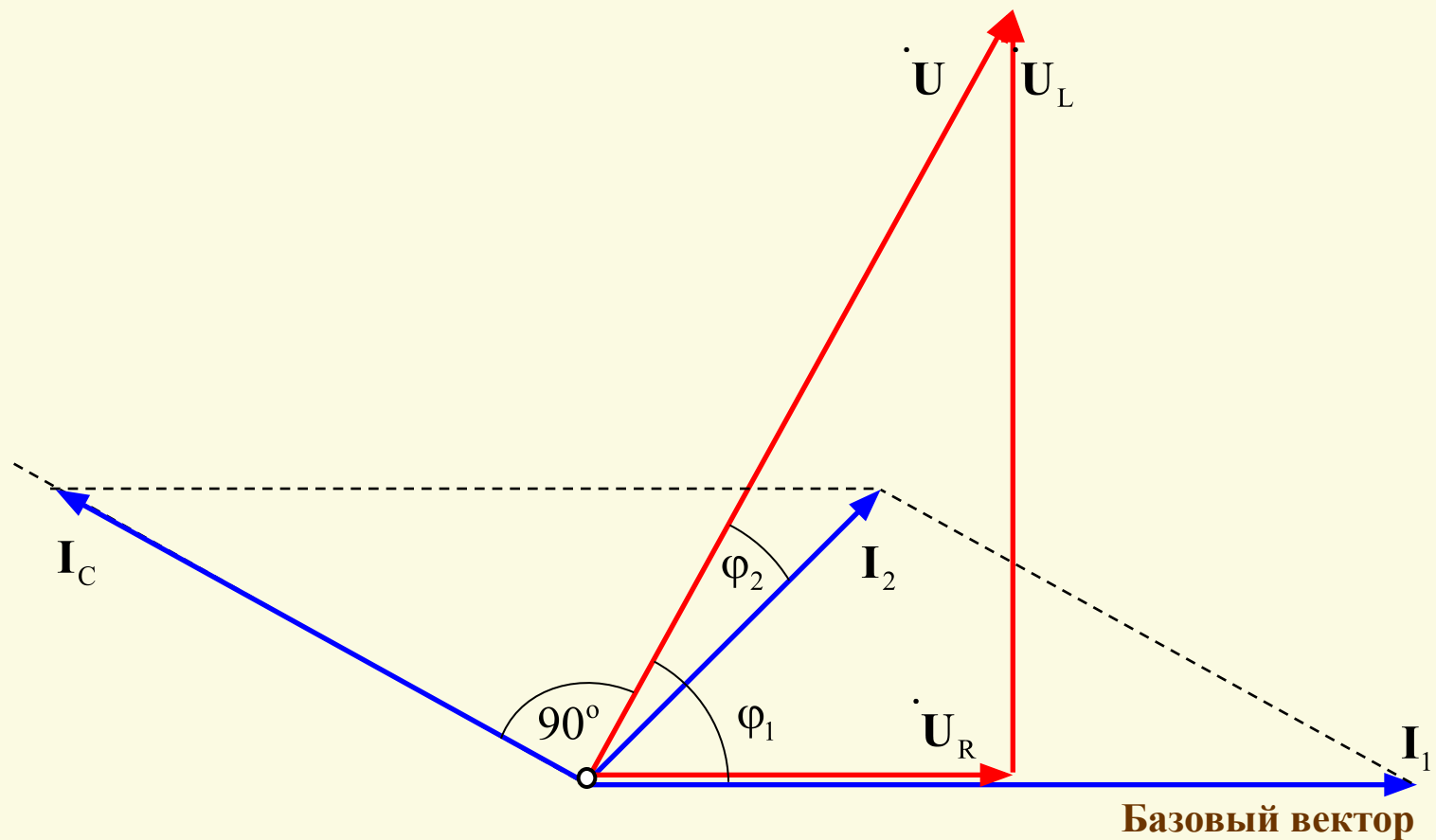


# Однофазный переменный ток



Параллельное соединение катушки и конденсатора

**Построение векторной диаграммы (Вариант №2)**





# Однофазный переменный ток



## Параллельное соединение катушки и конденсатора

Из векторной диаграммы (вариант №1) (см. рис. 7) следует, что компенсация реактивной составляющей тока катушки индуктивности  $I_{1p}$  током конденсатора  $I_C$  приводит к уменьшению величины реактивной составляющей тока  $I_{2p}$ , потребляемого этой цепью и, следовательно, самого тока  $I_2$ . Показателем этого уменьшения служит увеличение коэффициента мощности цепи  $\cos\varphi_2$ . Видно, что при уменьшении фазового угла  $\varphi_2$  до нуля  $\cos\varphi_2$  становится равным единице, индуктивный ток катушки  $I_{1p}$  полностью компенсируется емкостным током конденсатора  $I_C$ . При этом общий реактивный ток цепи  $I_{2p}$  снижается до нуля, а потребляемый цепью ток  $I_2$  становится минимально возможным и равным активной составляющей тока катушки, определяемый формулой:

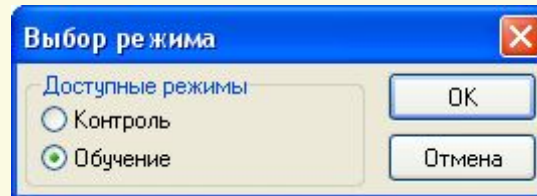
$$I_{2\min} = I_{1a} \cos\varphi_1 \cos\varphi_1 = \frac{U}{Z_K}$$

# Однофазный переменный ток



## ТЕСТ – Цепь с параллельными 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 35 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



## Резонанс токов в параллельной цепи

*Резонанс токов* может возникнуть в цепи синусоидального тока при *параллельном соединении ветвей с индуктивным L и емкостном C элементами*. При этом дополнительный резистивный элемент может быть включен в цепь также параллельно, или последовательно, или вовсе отсутствовать. В данной работе исследуется резонанс токов в цепи с параллельным соединением R,L,C –элементов, как показано на рис. 1. Полный ток в этой цепи определяется согласно закону Ома по формуле:

$$I = UY = U\sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}.$$

где  $G = 1/R$  – активная проводимость;  $B_L = 1/X_L$  – реактивная индуктивная проводимость;  $B_C = 1/X_C$  – реактивная емкостная проводимость;  $Y = 1/Z$  – полная проводимость цепи синусоидального тока с параллельным соединением R,L,C –элементов;  $|B_L - B_C| = B$  – общая реактивная проводимость цепи.

Из приведенной формулы видно, что действующее значение тока в неразветвленной части цепи зависит от активной  $G$  и реактивной  $B$  проводимостей и от напряжения  $U$  сети, подведенного к зажимам цепи.

# Однофазный переменный ток



## Резонанс токов в параллельной цепи

*Режим работы цепи синусоидального тока с параллельным соединением конденсатора и индуктивности, при котором угол сдвига фаз  $\phi = \psi_u - \psi_i$  между напряжением питания  $U$  и током  $I$  в неразветвленной части цепи равен нулю называется резонансом токов.*

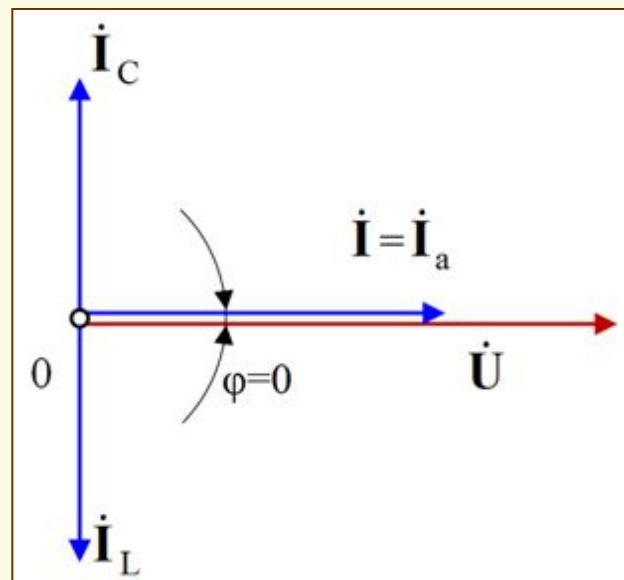


Рис. 8. Векторная диаграмма токов и напряжения для режима резонанса токов при параллельном соединении  $R, L, C$  –элементов

# Однофазный переменный ток



## Резонанс токов в параллельной цепи

*Условием возникновения резонанса токов является равенство реактивной индуктивной проводимости  $B_L$  и реактивной емкостной проводимости  $B_C$ :  $B_L = B_C$ .*

Поскольку  $B_L = 1/X_L$  и  $B_C = 1/X_C$ , то при условии их равенства вытекает равенство индуктивного  $X_L$  и емкостного  $X_C$  сопротивлений:  $X_L = X_C$ , которое также является условием возникновения резонанса токов в цепи с параллельным соединением  $L, C$  –элементов.

### Резонанс токов характеризуется рядом существенных особенностей:

1. Так как  $B_L = B_C$ , то при резонансе токов полная проводимость  $Y_{рез}$  равна активной проводимости  $G$  и принимает минимальное значение:

$$Y_{рез} = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = G.$$

2. В то же время, полное сопротивление этой цепи при резонансе токов имеет максимальное значение, равное активному сопротивлению:

$$Z_{рез} = 1/Y_{рез} = 1/G = R.$$

# Однофазный переменный ток



## Резонанс токов в параллельной цепи

3. Так как  $Z_{\text{рез}} = \mathbf{max}$ , а  $Y_{\text{рез}} = \mathbf{min}$ , то при резонансе ток в неразветвленной части цепи (т.е. полный ток) имеет минимальное значение:

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

Это свойство позволяет обнаруживать резонанс токов в цепи синусоидального тока с параллельными ветвями при изменении частоты или параметров  $L$  и  $C$ .

4. Поскольку при резонансе  $B_L = B_C$ ,  $I_{\text{рез}} = GU$ , то реактивные токи  $I_L$  и  $I_C$ , равны по модулю и могут превышать ток в неразветвленной части цепи в  $B_L/G$  раз (если  $B_L = B_C > G$ ):  $I_L = I_C$ ;  $I_L = B_L U = B_L I_{\text{рез}}/G$ ;

$$I_C = B_C U = B_C I_{\text{рез}}/G.$$

При этом угол сдвига фаз между токами  $I_L$  и  $I_C$  равен  $\pi = 180^\circ$ , так как в индуктивном элементе ток  $I_L$  отстает от напряжения  $U$  по фазе на угол  $\pi/2$ , а ток в емкостном элементе  $I_C$  опережает напряжение на тот же угол (см. рис.8).



# Однофазный переменный ток



## Резонанс токов в параллельной цепи

Действующее значение тока  $I_R$  в ветви с резистивным элементом  $R$  равно току  $I_{рез}$  в неразветвленной части цепи:  $I_R = I_{рез}$ .

Многokратное усиление токов в параллельных ветвях с индуктивным  $L$  и емкостным  $C$  элементами при неизменном общем токе в неразветвленной части цепи является важной особенностью резонанса токов и широко используется в радиотехнических устройствах и установках автоматики.

5. Так как при резонансе токов угол сдвига фаз между напряжением и током в неразветвленной части цепи равен нулю ( $\phi = 0$ ), то коэффициент мощности  $\cos\phi_{рез}$  такой цепи равен единице:  $\cos\phi_{рез} = I_R/I = P/S = G/Y = 1$ .

6. Из этого следует, что полная мощность при резонансе токов равна активной мощности:  $S = P$ .

7. Так как при резонансе токов  $B_L = B_C$ ,  $Q_L = B_L U^2$  и  $Q_C = B_C U^2$ , то  $Q_L = Q_C$ , т.е. при резонансе токов индуктивная мощность  $Q_L$  равна емкостной мощности  $Q_C$ .

# Однофазный переменный ток



## Резонанс токов в параллельной цепи

Это означает, что при резонансе токов, как и при резонансе напряжений, происходит обмен энергиями между энергией магнитного поля катушки индуктивности и энергией электрического поля конденсатора, но источник питания в этом обмене энергиями не участвует.

Полная реактивная мощность цепи при резонансе токов  $Q_{рез}$ , равная разности реактивной индуктивной  $Q_L$  и реактивной емкостной  $Q_C$  мощностей, равна нулю:  $Q_{рез} = |Q_L - Q_C| = 0$ .

Равенство нулю реактивной мощности  $Q_{рез}$  рассматриваемой цепи вытекает также из равенства нулю угла сдвига фаз между напряжением и током ( $\phi = 0^0$ ) в неразветвленной части цепи:  $Q_{рез} = UI \sin \phi = UI \sin 0^0 = 0$ .

При этом реактивная индуктивная  $Q_L$  и реактивная емкостная  $Q_C$  мощности могут, как и реактивные токи (см. п. 4), приобретать большие значения, оставаясь равными друг другу.



# Однофазный переменный ток



## Резонанс токов в параллельной цепи

Резонанс токов, точнее, режим близкий к резонансу токов, находит широкое применение в промышленных электрических установках (асинхронных двигателях, сварочных установках и др.) для **повышения их коэффициента мощности ( $\cos\phi$ )**.

Повышение коэффициента мощности **индуктивных потребителей** электрической энергии обеспечивается **параллельным подключением к ним батареи конденсаторов** емкостью  $C$ . При таком подключении реактивная емкостная мощность конденсаторной батареи  $Q_C$  уменьшает общую реактивную мощность установки  $Q$ , так как  $Q = |Q_L - Q_C|$ .

Это в свою очередь приводит к уменьшению тока и электрических потерь в проводах, соединяющих такого потребителя с источником электрической энергии.

Кривые, выражающие зависимость проводимостей, токов, мощностей и коэффициента мощности от емкости батареи конденсаторов называются **резонансными кривыми**. На рис. 7 приведены резонансные кривые  $(P, Q, S, I, \cos\phi) = f(C)$ , построенные при  $U = \text{const}$  и  $\omega = 2\pi f = \text{const}$ .

# Однофазный переменный ток



## Резонанс токов в параллельной цепи

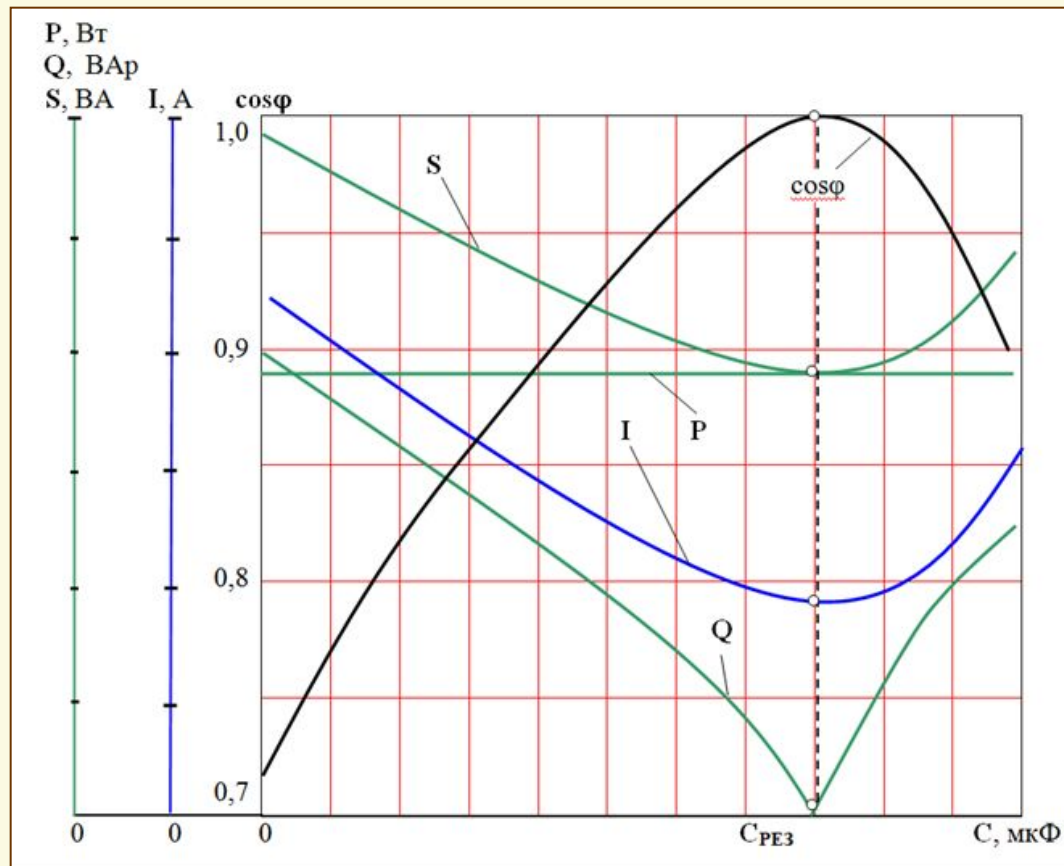


Рис. 9. Резонансные кривые  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ ,  $I$ ,  $\cos\phi$  в зависимости от емкости  $C$  при параллельном соединении катушки индуктивности и батареи конденсаторов

# Однофазный переменный ток



## Резонанс токов в параллельной цепи

Анализ резонансных кривых показывает, что при увеличении емкости батареи конденсаторов полная мощность  $S$  сначала уменьшается, достигает минимума в режиме резонанса и становится равной активной мощности  $P$ , а затем снова возрастает с увеличением емкости, в пределе стремясь к бесконечности.

Активная мощность  $P_K$ , выделяемая на активном сопротивлении  $R$  провода катушки индуктивности, не зависит от емкости конденсатора в другой ветви цепи и остается постоянной.

Реактивная мощность  $Q$  с увеличением емкости батареи конденсаторов снижается, становясь равной нулю в режиме резонанса, а затем возрастает.

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

# Однофазный переменный ток



## Резонанс токов в параллельной цепи

Полная проводимость цепи  $Y$  (на рис. 9 не показана) сначала уменьшается, достигает минимума в режиме резонанса, а затем снова возрастает с увеличением емкости  $C$ , в пределе стремясь к бесконечности.

Ток в неразветвленной части цепи пропорционален полной проводимости –  $I = YU$ . Вначале с ростом емкости конденсаторов ток  $I$  уменьшается, достигая минимума при резонансе, а затем снова начинает увеличиваться.

Таким образом, резонансные кривые позволяют установить минимальную полную мощность  $S$  и реактивную мощность  $Q$ , наименьший ток  $I$  в неразветвленной части цепи при максимуме коэффициента мощности  $\cos\phi$ , равном единице при возникновении резонанса токов (см. рис. 9).

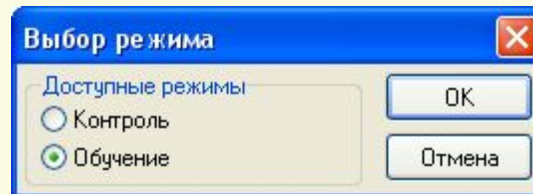
На практике при работе устройств с активно-индуктивным характером нагрузки (пример – трехфазные асинхронные двигатели) повышение коэффициента мощности выше **0,95** обычно не предусматривается, так как это связано со значительным увеличением емкости батареи конденсаторов

# Однофазный переменный ток



## ТЕСТ – Резонанс токов в параллельной цепи

При нажатии на расположенную внизу кнопку-гиперссылку «ТЕСТ» запускается тестирующая программа и предоставляет пользователю выборку пяти вопросов и задач из общего количества 34 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. Инженерные системы и оборудование зданий. Электротехника и электроснабжение. Электронный курс. 2016. [http://cito.mgsu.ru/subject/index/card/switcher/list/subject\\_id/1185](http://cito.mgsu.ru/subject/index/card/switcher/list/subject_id/1185).



**ЛЕКЦИЯ ОКОНЧЕНА**

***Благодарю за внимание!***