

Московский государственный строительный
университет



Кафедра электротехники и электропривода

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Часть 1. Электрические и магнитные цепи. Электрические измерения

Лекция 4. Однофазная цепь с параллельным 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

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.

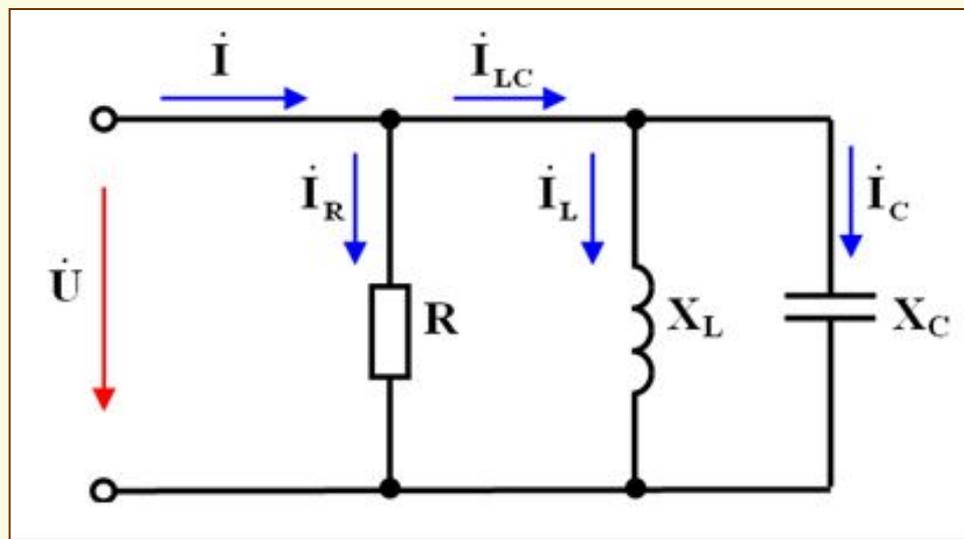


Рис. 1. Схема замещения цепи синусоидального тока с параллельным соединением R, L, C -элементов



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:

$$I_R = U/R = G U;$$

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

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

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_L**, **B_C** проводимостей является *сименс* сокращенно – **См**, как и в цепях постоянного тока (см. лекцию 1).

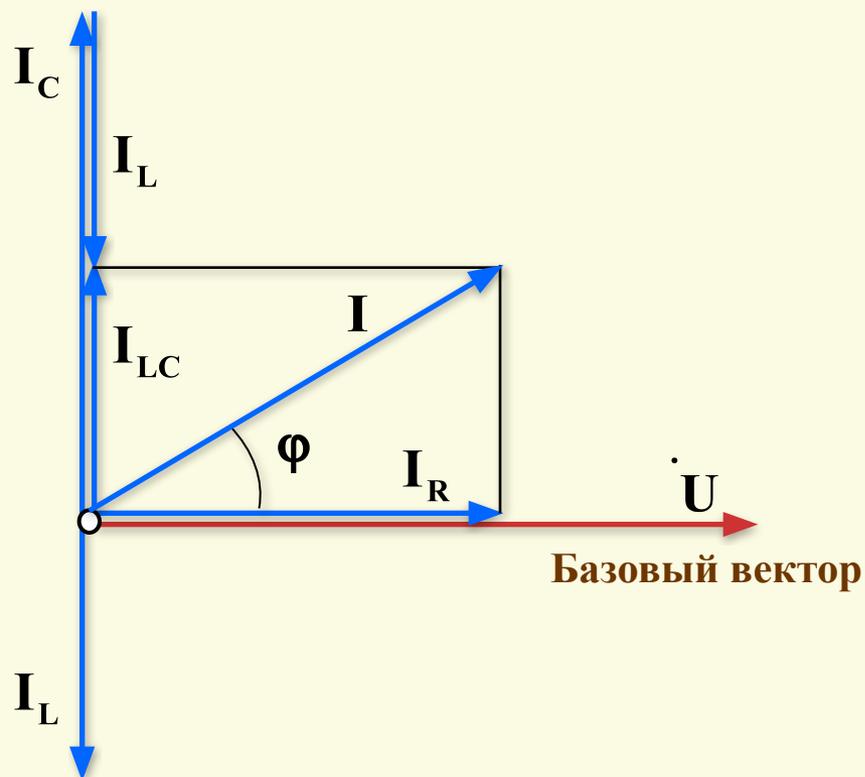
Однофазный переменный ток



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

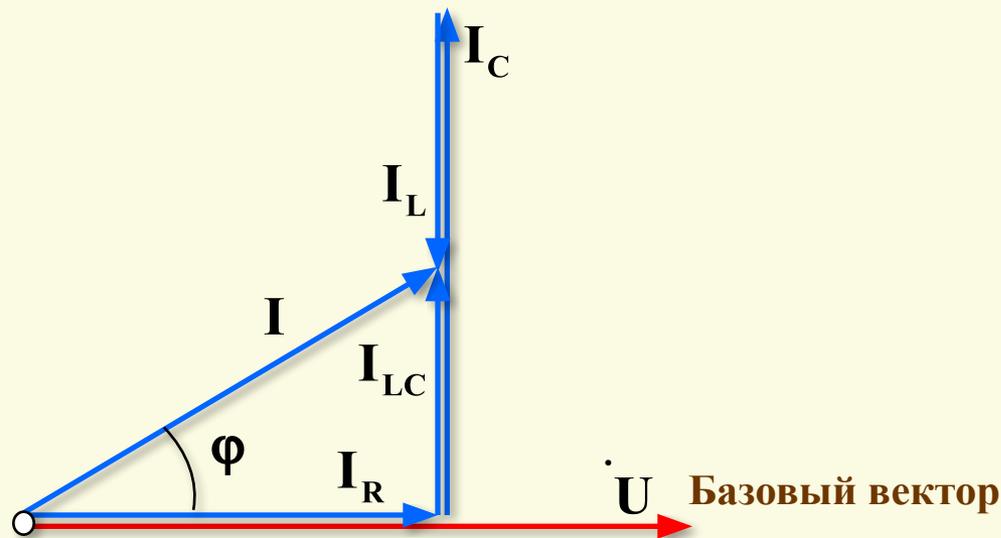


Цепь с параллельным соединением R,L,C-элементов

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 $I_C > I_L$.

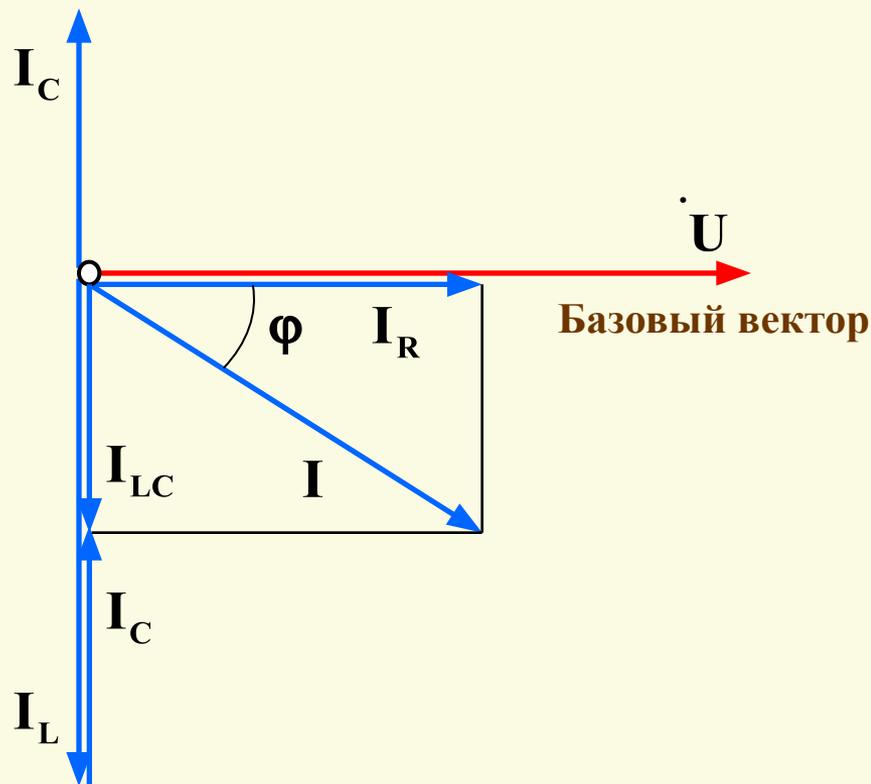
Однофазный переменный ток



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



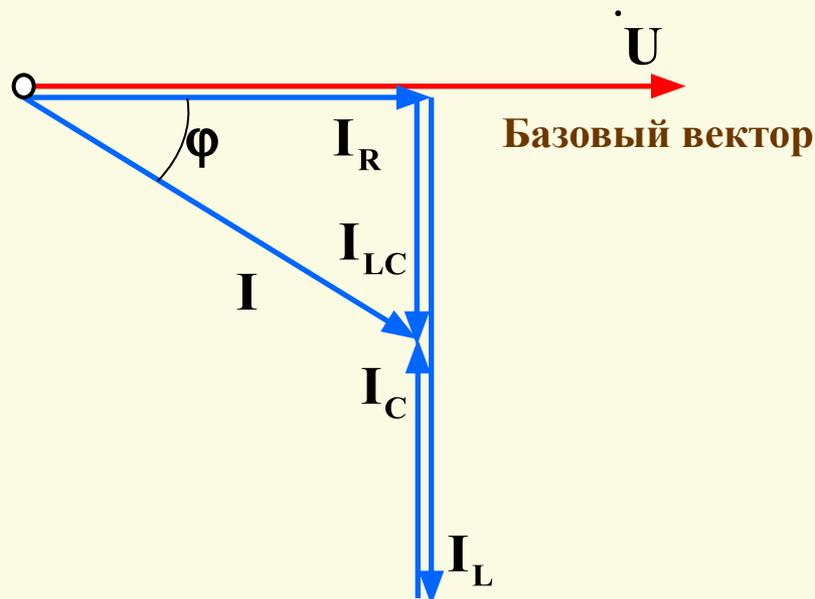
Однофазный переменный ток



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 I_R, I_L, I_C .

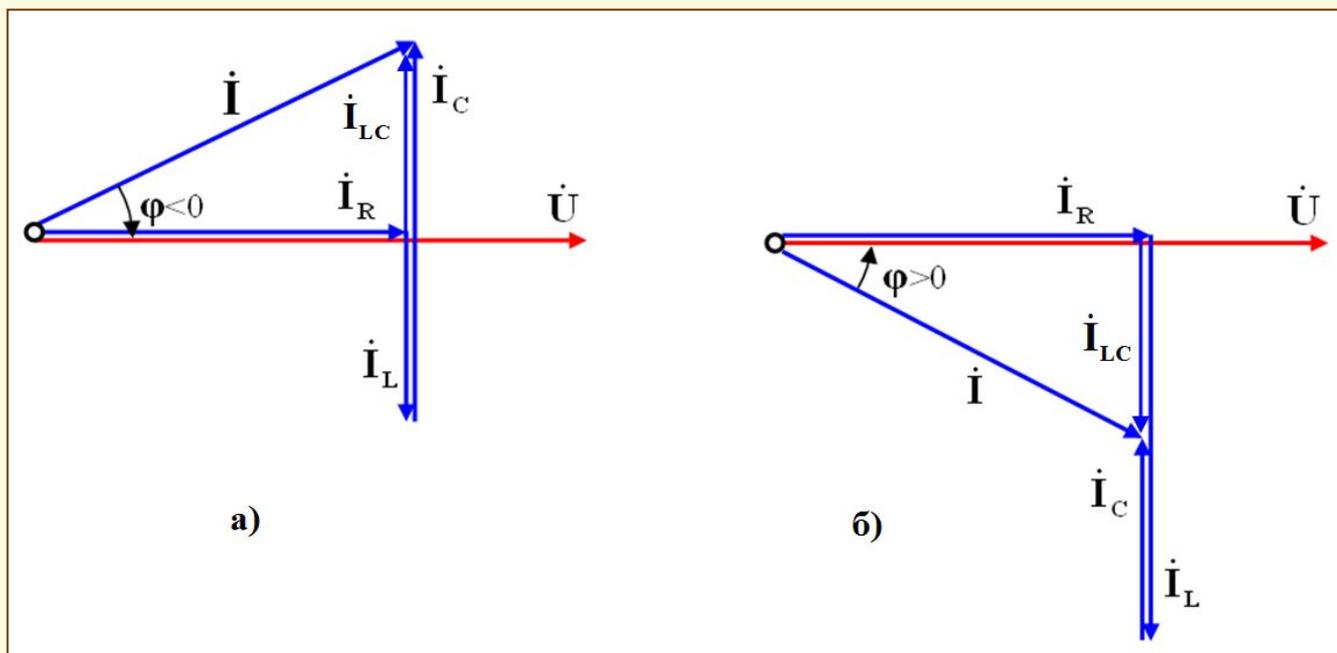


Рис. 2. Векторная диаграмма напряжения и токов для цепи с параллельным соединением R,L,C-элементов

- 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 ϕ (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 ϕ (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

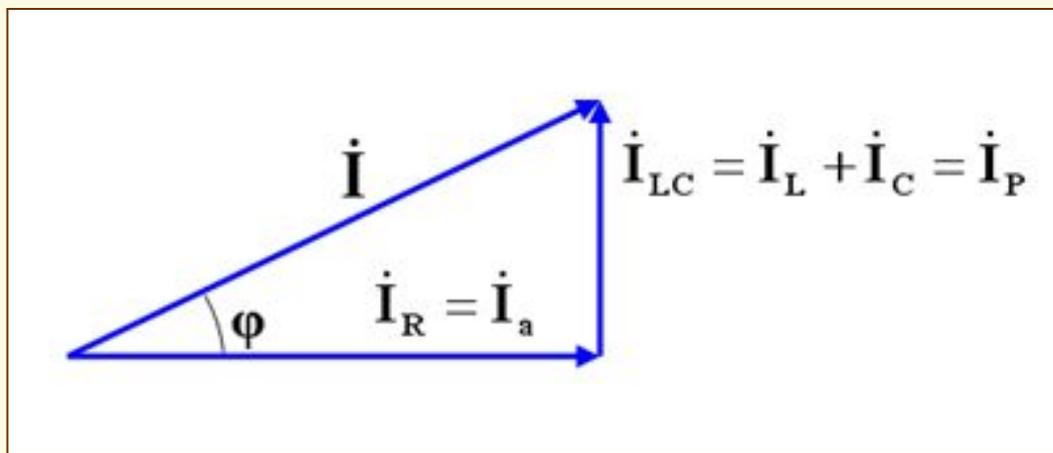


Рис. 3. Треугольник токов для цепи с параллельным соединением R,L,C-элементов (случай активно-емкостной характер нагрузки)

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

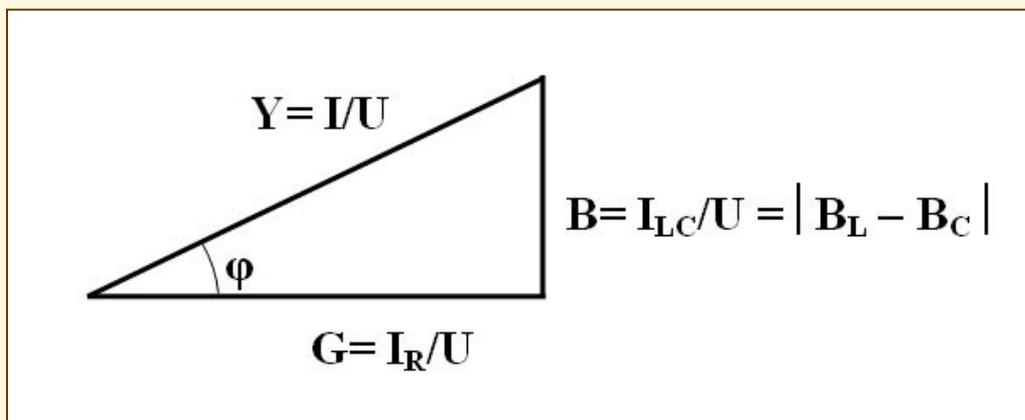


Рис. 4. Треугольник проводимостей для цепи с параллельным соединением R,L,C-элементов

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

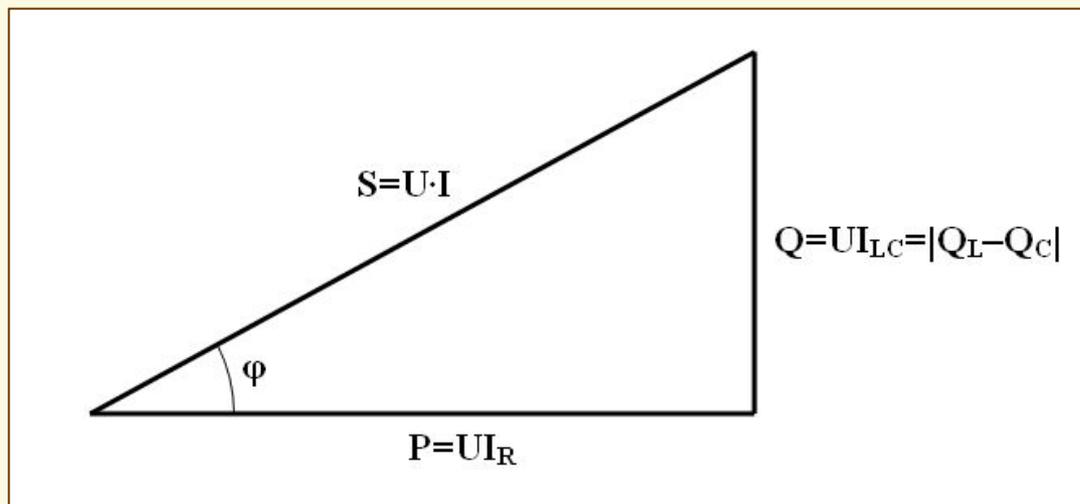


Рис. 5. Треугольник мощностей для цепи с параллельным соединением **R,L,C**-элементов

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; ω – 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

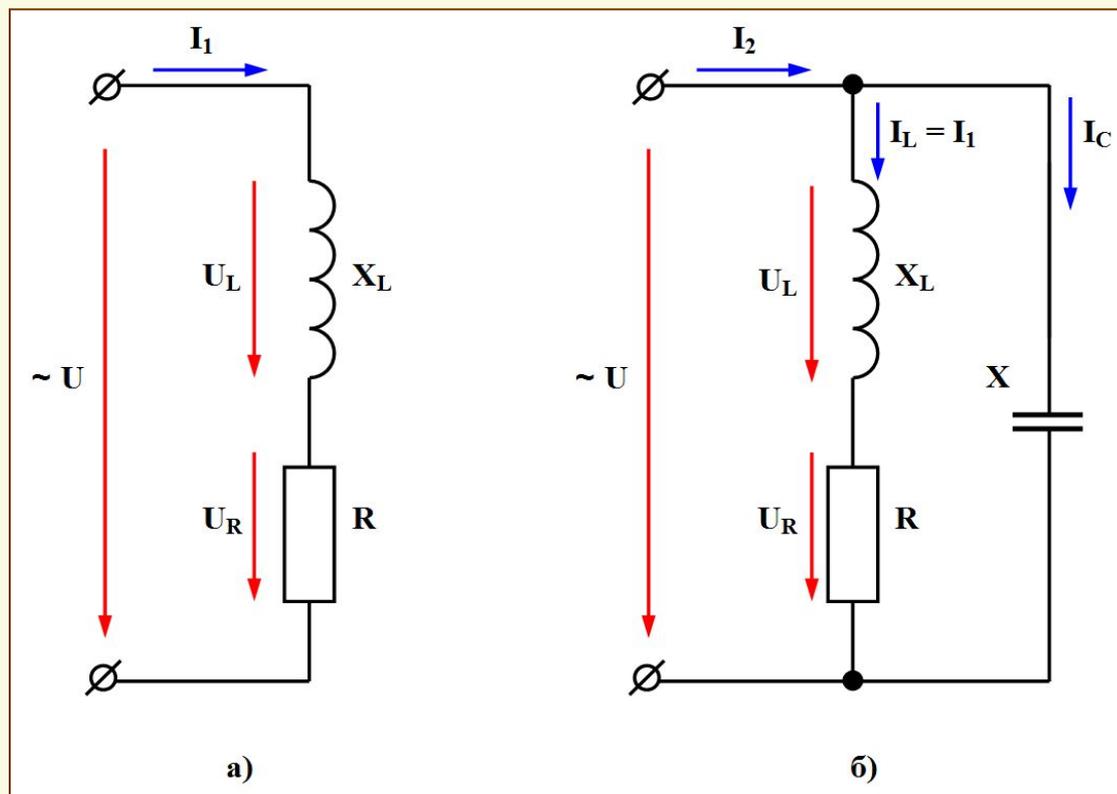


Рис. 6. Эквивалентные схемы замещения

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 φ_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

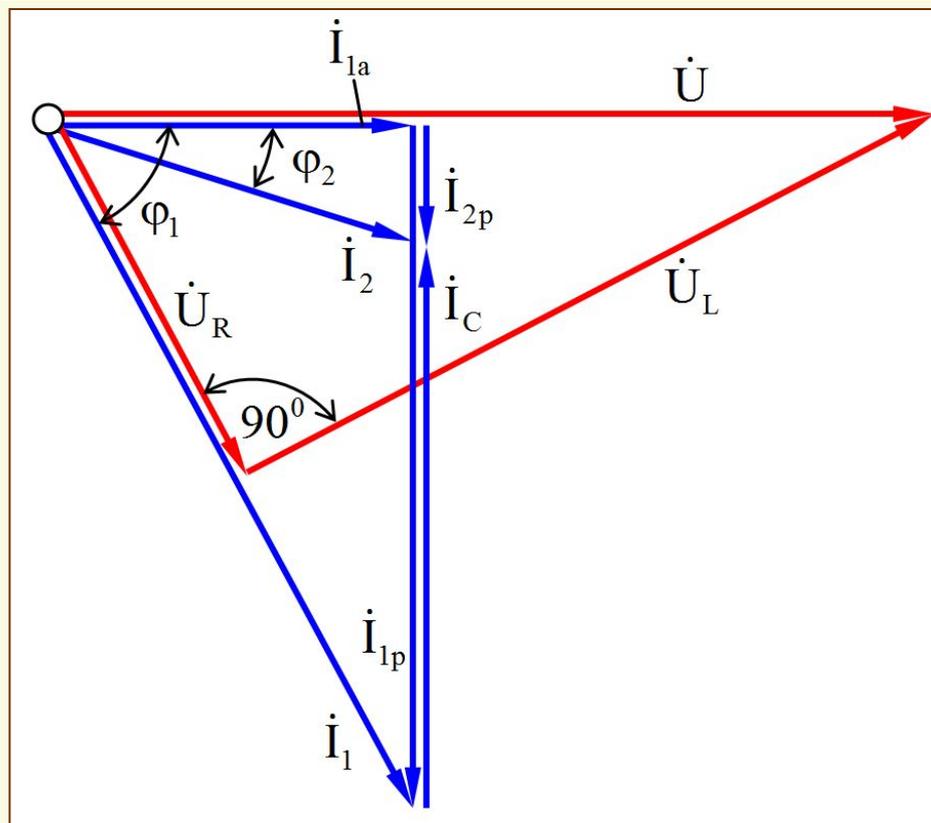


Рис. 7. Векторная диаграмма цепи с параллельно включенной катушкой индуктивности и конденсатором

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° (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 φ_1 и φ_2 как показано на рис. 7.

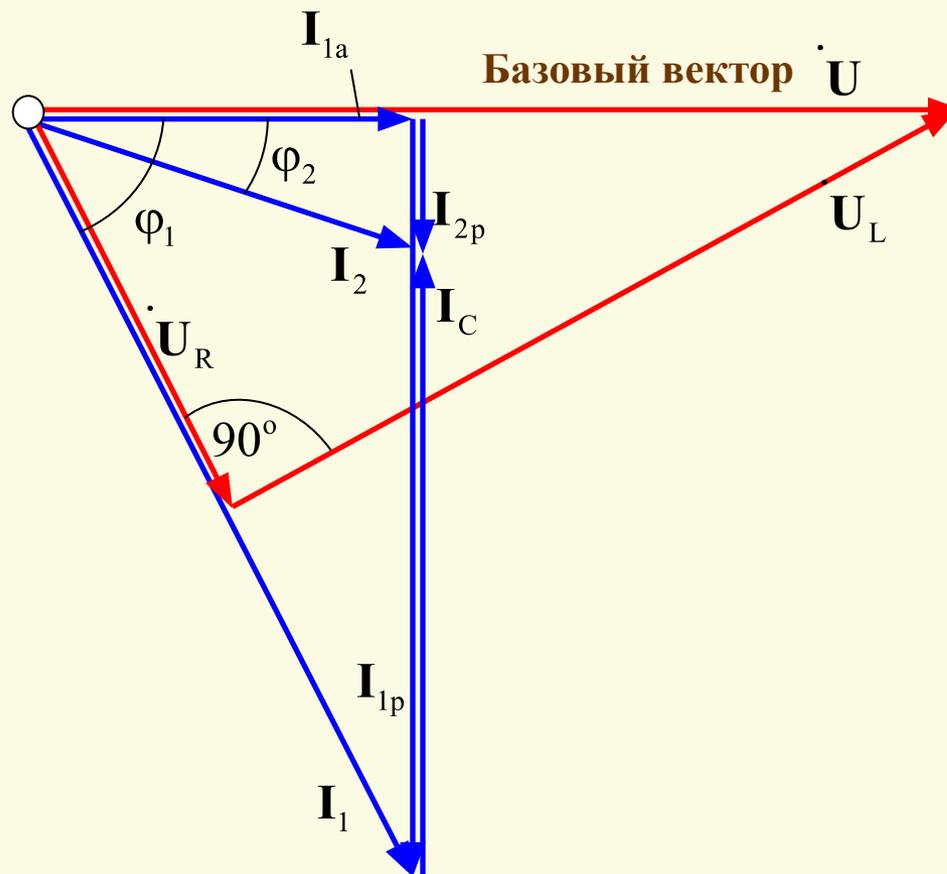
На следующем слайде показана вышеприведенная последовательность построения векторной диаграммы однофазной цепи с параллельным соединением реальной катушки индуктивности и конденсатора.

Однофазный переменный ток



Параллельное соединение катушки и конденсатора

Построение векторной диаграммы (Вариант №1)

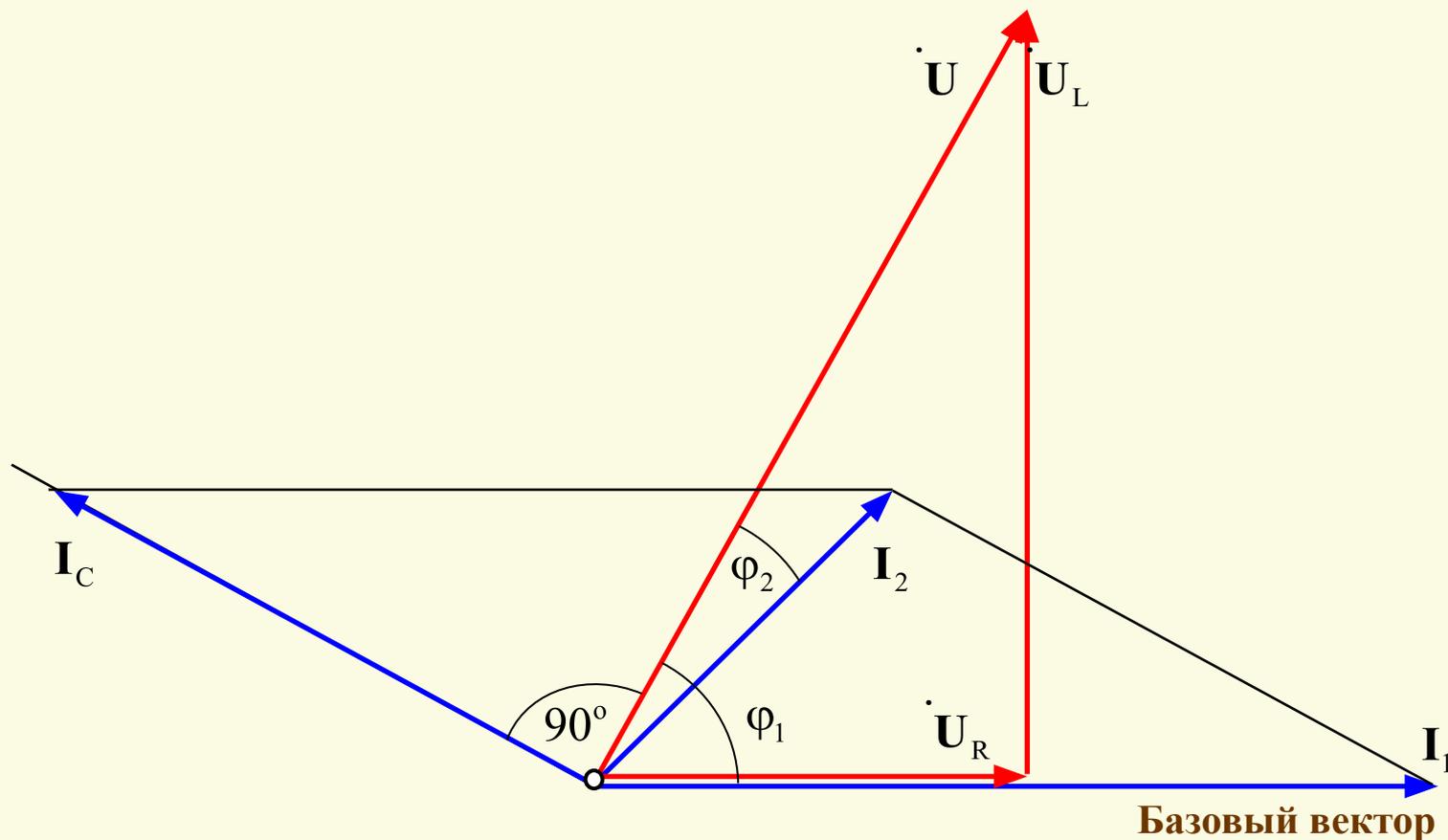


Однофазный переменный ток



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 φ_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:

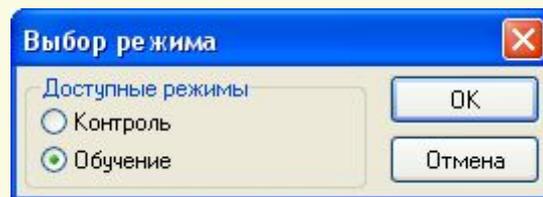
$$I_{2\min} = I_{1a} \cos\varphi_1 \cos\varphi_1 = \frac{U}{Z_K}$$

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.

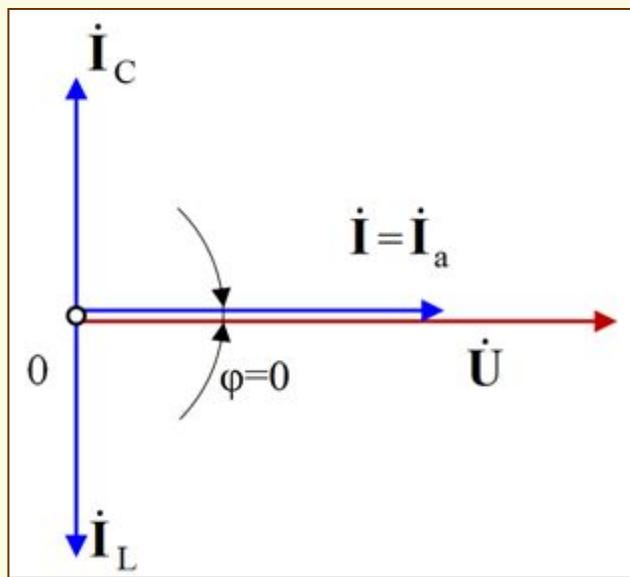


Рис. 8. Векторная диаграмма токов и напряжения для режима резонанса токов при параллельном соединении R, L, C –элементов

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 $Q_{\text{рез}}$, равная разности реактивной индуктивной Q_L и реактивной емкостной Q_C мощностей, равна нулю: $Q_{\text{рез}} = |Q_L - Q_C| = 0$.

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

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

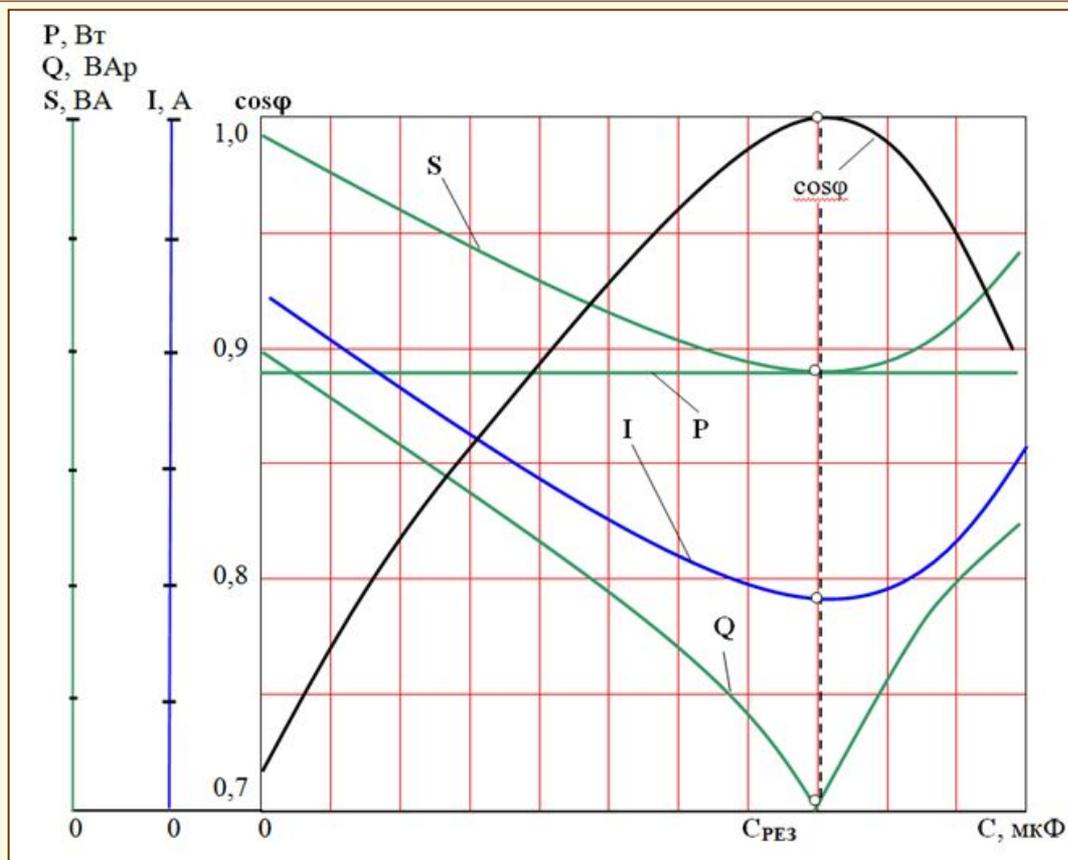


Рис. 9. Резонансные кривые P , Q , S , I , $\cos\phi$ в зависимости от емкости C при параллельном соединении катушки индуктивности и батареи конденсаторов

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).

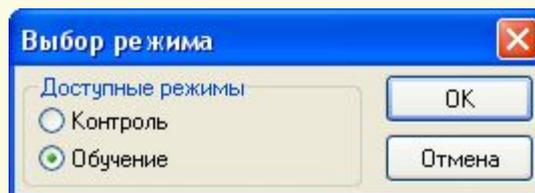
На практике при работе устройств с активно-индуктивным характером нагрузки (пример – трехфазные асинхронные двигатели) повышение коэффициента мощности выше **0,95** обычно не предусматривается, так как это связано со значительным увеличением емкости батареи конденсаторов

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. Часть 1. Электрические цепи и измерения. Электронное учебное пособие по лабораторным работам, 2014. (формат – веб-страницы).



ЛЕКЦИЯ ОКОНЧЕНА

Благодарю за внимание!