ЛЕКЦИЯ 4

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

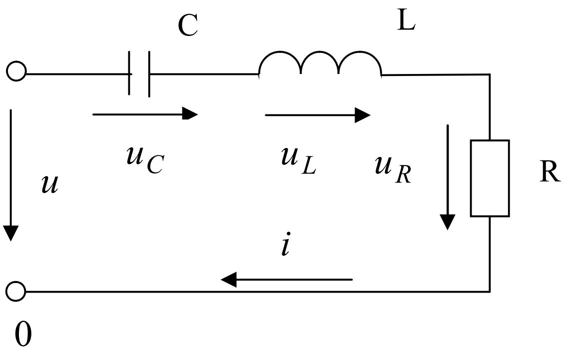
План лекции:

1. Расчет цепи переменного тока при последовательном соединении элементов.
2. Построение векторных диаграмм.
3. Резонанс напряжений.
4. Мощность в цепи переменного тока. Баланс мощностей.

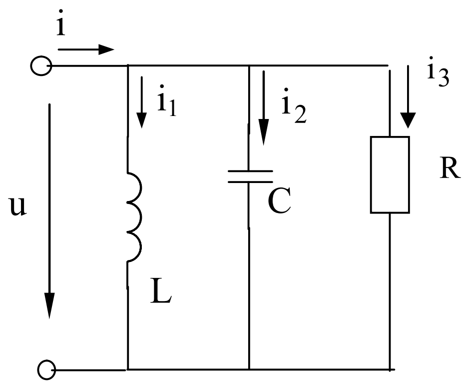
1. Расчет цепи переменного тока при последовательном соединении элементов

При расчетах цепей переменного тока, как и цепей постоянного тока, используют законы Ома и Кирхгофа. Отличие заключается в том, что в цепях переменного тока необходимо учитывать углы сдвига фаз между токами и напряжениями.

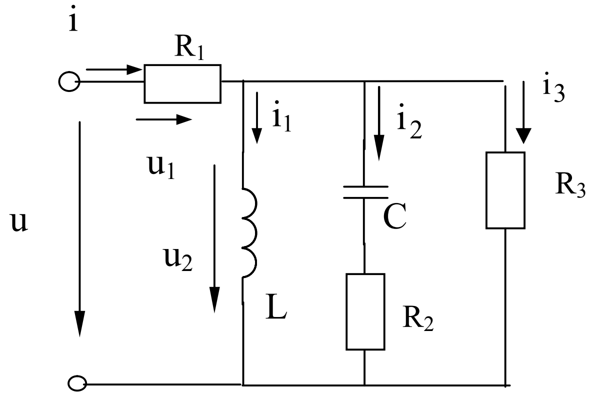
Элементы потребителей в цепях синусоидального тока могут быть включены последовательно (а), параллельно (б) и по смешанной схеме



а

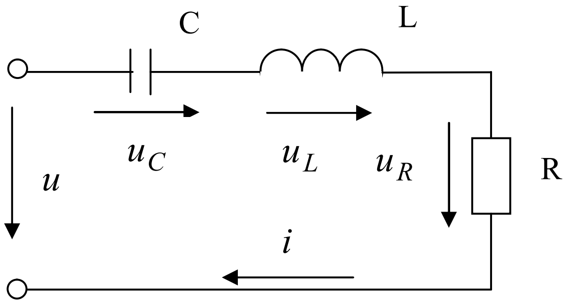


б



в

Последовательное соединение



Уравнение электрического состояния цепи для мгновенных значений напряжений при последовательном соединении элементов имеет вид

$$u = u_R + u_L + u_C.$$

Уравнение электрического состояния может быть записано также в виде суммы векторов напряжений

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

Для действующих значений падений напряжения на отдельных элементах можно записать

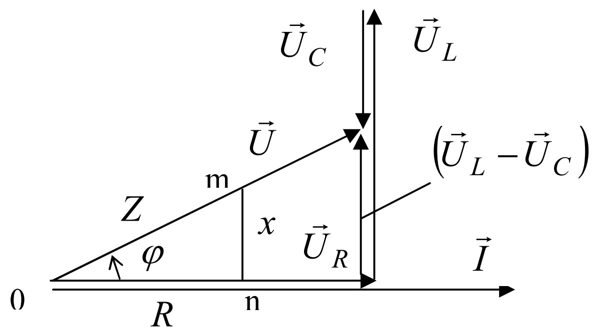
$$U_R = IR; \quad U_L = I\,x_L; \; U_C = I\,x_C.$$

Эти падения напряжения имеют соответствующие углы сдвига фаз по отношению к общему току цепи I.

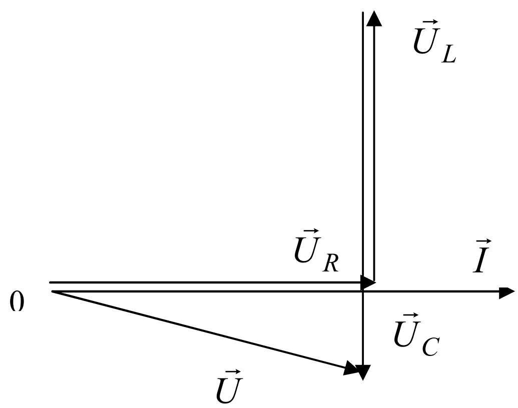
2. Построение векторных диаграмм

Построение векторной диаграммы начинается с вектора тока, так как при последовательном соединении R, L и C он является общим для всех участков цепи.

$U_L > U_C$



$U_L < U_C$



Векторы $\vec{U}, \vec{U}_R, \left(\vec{U}_L - \vec{U}_C\right)$ образуют прямоугольный треугольник, из которого получим действующее значение напряжения

$$U = \sqrt{U_R^2 + \left(U_L - U_C\right)^2}.$$

Для нахождения тока в цепи запишем действующие значения падений напряжений на отдельных элементах в соответствии с законом Ома

$$U = \sqrt{(IR)^2 + \left[(I\omega L) - \left(I\frac{1}{\omega C}\right)\right]^2} = \sqrt{(IR)^2 + \left[(Ix_L) - (Ix_C)\right]^2}.$$

Из этого выражения находим действующее значение тока в цепи

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(x_L - x_C\right)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + x^2}},$$

где $x = x_L - x_C$ - реактивное сопротивление электрической цепи;

На векторной диаграмме этому выражению соответствует треугольник сопротивлений 0mn.

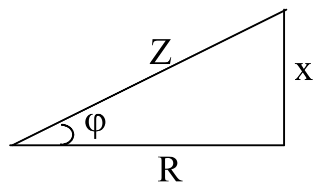


Рис. 1 – Треугольник сопротивлений

$Z = \sqrt{R^2 + \left(x_L - x_C\right)^2} = \sqrt{R^2 + x^2}$ - полное сопротивление электрической цепи.

Из треугольника сопротивлений можно определить угол сдвига фаз между током и напряжением по формулам

$$\cos\varphi = U_R / U = R/Z; \text{ или } \sin\varphi = \left(U_L - U_C\right)/U = \left(x_L - x_C\right)/Z.$$

3. Резонанс напряжений

Под резонансом электрической цепи понимают такое состояние цепи, когда ток и напряжение совпадают по фазе, и, следовательно, эквивалентная схема цепи представляет собой активное сопротивление.

В цепи, где R, L, C соединены последовательно, может возникнуть резонанс напряжений.

Как отмечалось, при резонансе ток и напряжение совпадают по фазе, т.е. $\varphi = 0$, и полное сопротивление цепи равно ее активному сопротивлению

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(x_L - x_C\right)^2} = R.$$

Это равенство будет иметь место, если $x_L = x_C$, т.е. реактивное сопротивление цепи равно нулю:

$$x = x_L - x_c = 0.$$

Выразив x_L и x_c через L, C и ω, получим

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

откуда $$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

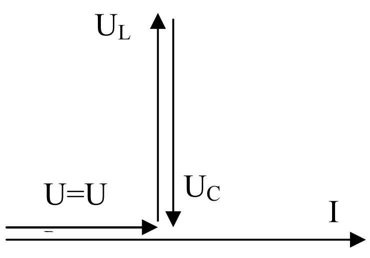
или $$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f_p$$

где f – частота напряжения, подведенного к контуру;

f_p - резонансная частота;

ω_p - резонансная угловая частота.

Векторная диаграмма при резонансе напряжений имеет вид



В электроэнергетических устройствах резонанс напряжений – явление нежелательное. Это связано с возможностью перенапряжений, при которых напряжения на элементах цепи могут в несколько раз превышать рабочее напряжения установки. Но, например, в радиотехнике, телефонии, автоматике резонанс напряжений часто применяется для настройки цепей на заданную частоту.

4. Мощность в цепях переменного тока. Баланс мощности

Электрические процессы в резистивных, индуктивных и емкостных элементах различны по физической природе. В резистивных элементах происходит необратимое преобразование электрической энергии в другие виды энергии. Средняя скорость необратимого процесса преобразования энергии в резистивном элементе определяется активной мощностью P.

В индуктивном и емкостном элементах происходит энергии периодическое аккумулирование энергии в магнитных и электрических полях, а затем энергия возвращается во внешнюю относительно этих элементов цепь. В таких элементах нет необратимого преобразования электрической энергии в другие виды, т.е. активная мощность P равна нулю. Энергетические процессы в индуктивном и емкостном элементах определяются реактивной индуктивной мощностью Q_L и реактивной емкостной мощностью Q_c.

Умножив стороны треугольника напряжений (см. векторную диаграмму) на ток I, получим треугольник мощностей.

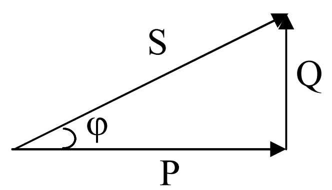


Рис. 2 Треугольник мощностей

Полная мощность цепи переменного тока равна произведению действующих значений напряжения и тока

$$S = UI = I^2 Z, \text{ [В·А]}.$$

Из треугольника мощностей можно установить следующую связь между полной, активной и реактивной мощностями

активная мощность цепи

$$P = S\,cos\varphi = UI\,cos\varphi;$$

реактивная мощность цепи

$$Q = S\,sin\varphi = UI\,sin\varphi;$$

полная мощность цепи

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

При активно-индуктивном характере нагрузки знак перед Q положительный, при активно-емкостном - отрицательный.

Баланс мощностей в цепи синусоидального тока, содержащей произвольное число источников энергии и потребителей энергии, т.е. резистивных, индуктивных и емкостных элементов, означает, что

1)алгебраическая сумма активных мощностей всех источников энергии равна арифметической сумме мощностей всех резистивных элементов

$$\sum P_u = \sum P_r = \sum U_u I_u\,cos\varphi = \sum rI_r^2\ ;$$

2)алгебраическая сумма реактивных мощностей всех источников энергии равна разности между арифметической суммой реактивных мощностей всех индуктивных элементов и арифметической суммой реактивных мощностей всех емкостных элементов:

$$\sum Q_u = \sum U_u I_u\,sin\varphi = \sum x_L I_L^2 - \sum x_C I_C^2$$

или

$$\sum Q_u = \sum Q_L - \sum Q_c\,.$$