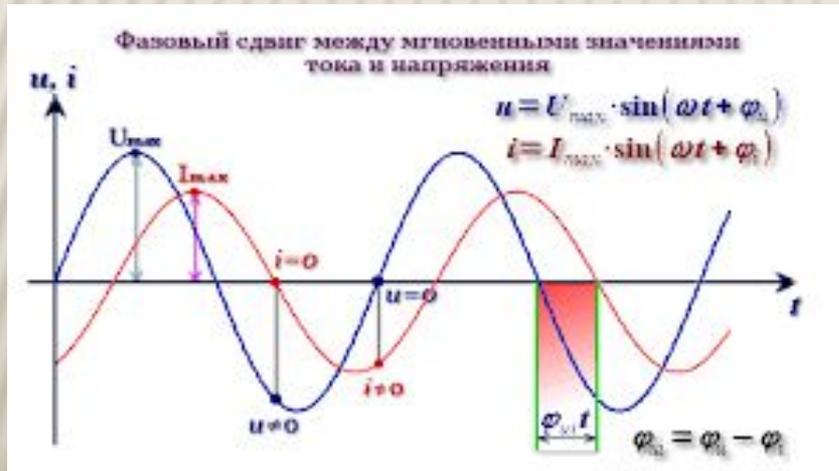


# ЦЕПЬ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА С $R, L, C$



И

Преподаватель НКСЭ  
Кривоносова Н.В.

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

---

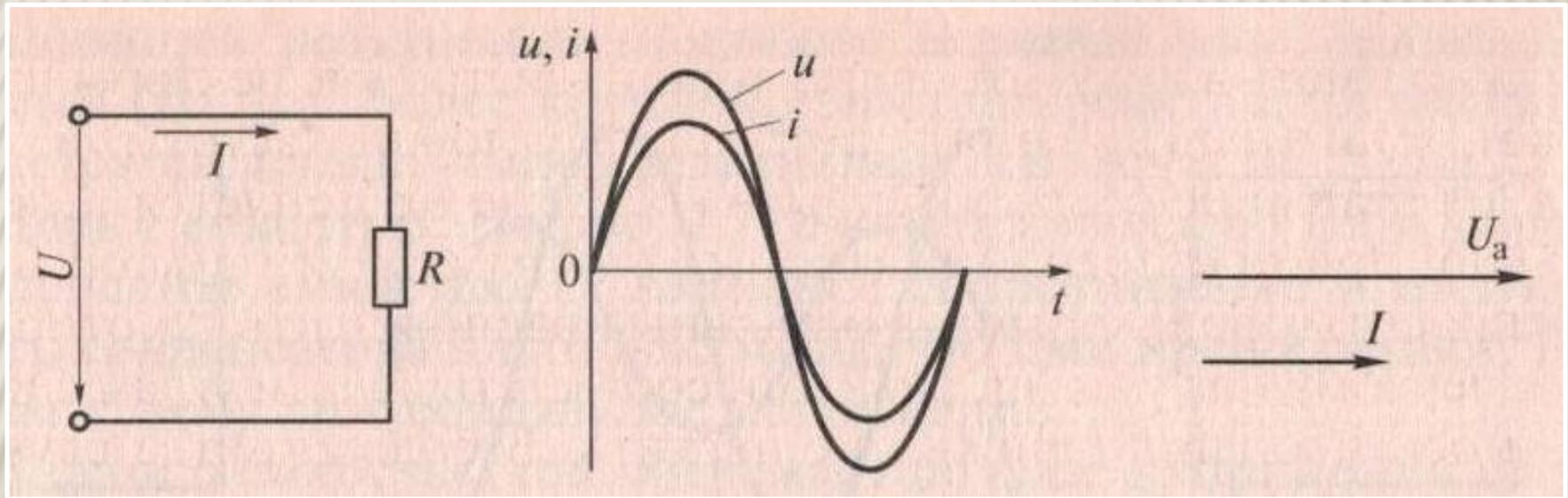
- **Активными** элементами электрической цепи называют элементы, имеющие активное сопротивление  $R$ , в которых электрическая энергия преобразуется в теплоту

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

---

- ▣ **Реактивными** элементами электрической цепи называют элементы  **$L$**  (индуктивность) и  **$C$**  (емкость), в которых электрическая энергия периодически накапливается в магнитном и электрическом полях, а затем возвращается к источнику

# ЦЕПЬ С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ $R$



В цепи с активным сопротивлением  $R$  ток  $I$  и напряжение  $U$  совпадают по фазе,  
 $\varphi = 0$

# ЦЕПЬ С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ $R$

$$I = U_a / R$$

$$P = I U_a = I^2 R = U_a^2 / R$$

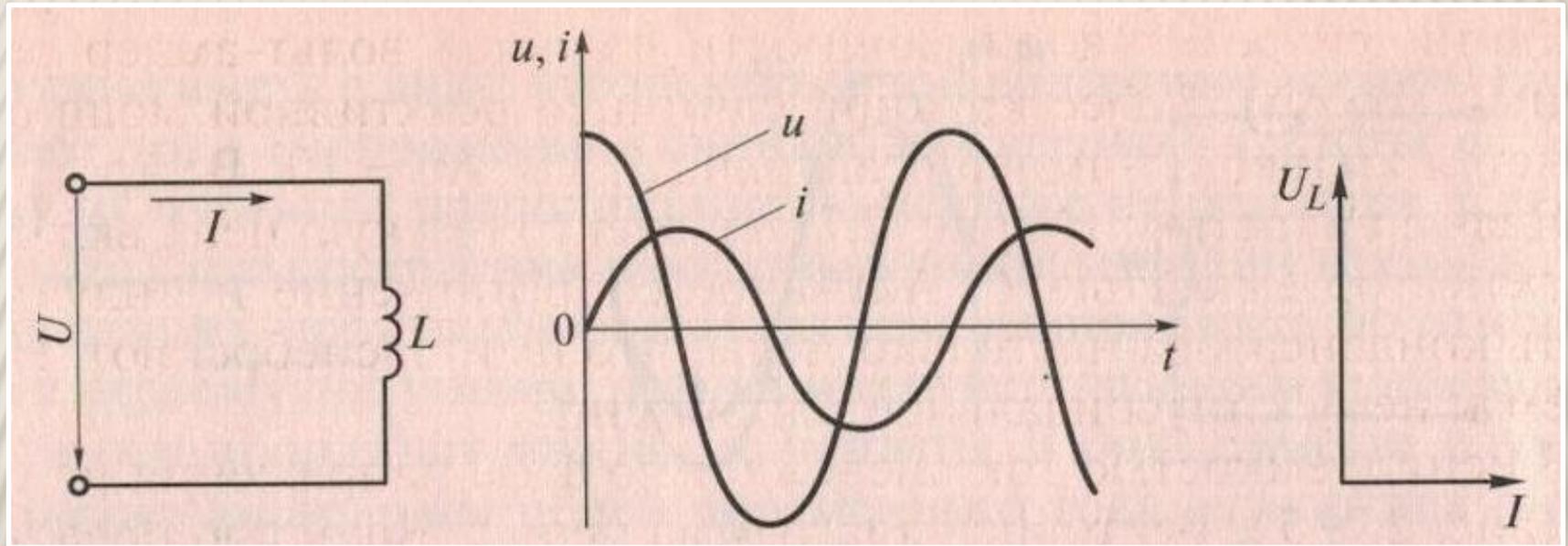
$I$  – сила тока [А]

$U_a$  – напряжение на активном  
сопротивлении [В]

$R$  – активное сопротивление [Ом]

$P$  – активная мощность [Вт]

# ЦЕПЬ С ИНДУКТИВНОСТЬЮ $L$



В цепи с индуктивностью  $L$  ток  $I$  отстает от напряжения  $U$  по фазе на угол  $\varphi = 90^\circ$  (идеальная катушка индуктивности)

# ЦЕПЬ С ИНДУКТИВНОСТЬЮ $L$

$$I = U_L / X_L$$

$$Q_L = I U_L = I^2 X_L = U_L^2 / X_L$$

$I$  – сила тока [А]

$U_L$  – напряжение на индуктивности [В]

$X_L$  – реактивное индуктивное сопротивление [Ом]

$Q_L$  – реактивная индуктивная мощность [вар]

# ЦЕПЬ С ИНДУКТИВНОСТЬЮ $L$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

$X_L$  – реактивное индуктивное сопротивление [Ом]

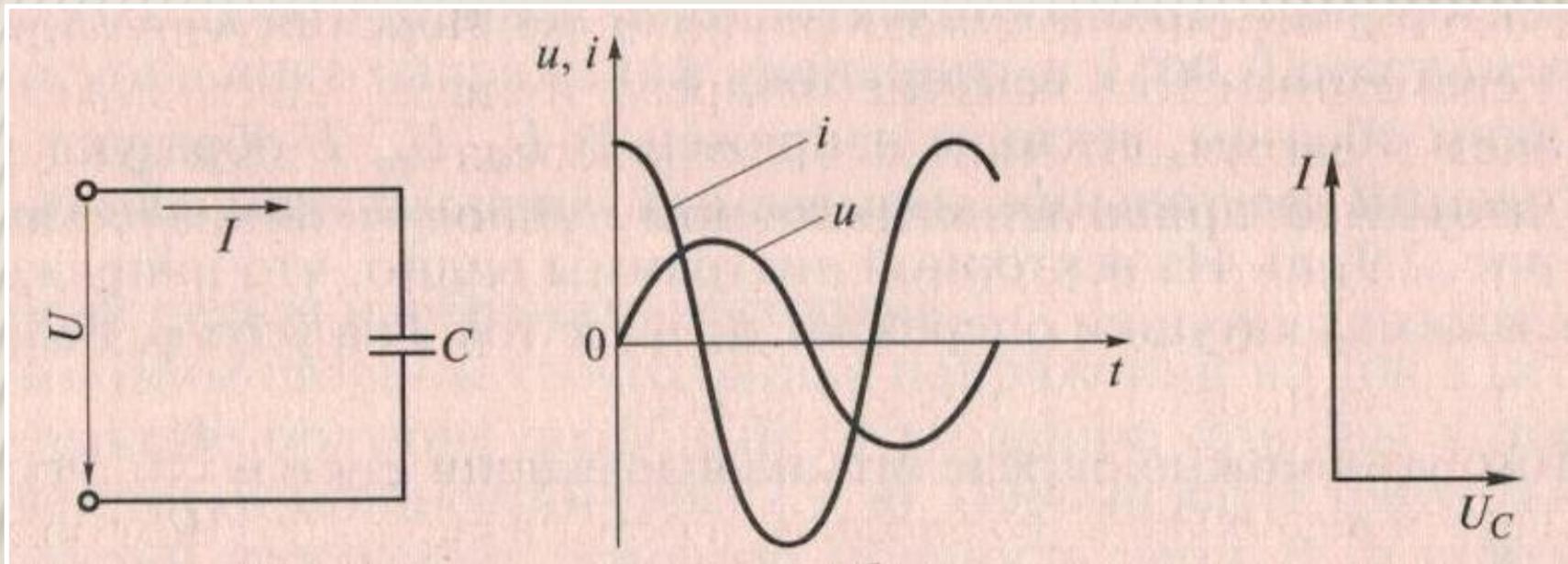
$L$  – индуктивность [Гн]

$\omega = 2\pi f$  - угловая частота [рад/с]

$f$  - циклическая частота [Гц]

Промышленная частота  $f = 50$  Гц,  
что соответствует  $\omega = 314$  рад/с

# ЦЕПЬ С ЕМКОСТЬЮ $C$



В цепи с емкостью  $C$  ток  $I$  опережает напряжение  $U$  по фазе на угол  $\varphi = 90^\circ$

# ЦЕПЬ С ЕМКОСТЬЮ С

---

$$I = U_c / X_c$$

$$Q_c = I U_c = I^2 X_c = U_c^2 / X_c$$

**I** – сила тока [А]

**U<sub>c</sub>** – напряжение на емкости [В]

**X<sub>c</sub>** – реактивное емкостное  
сопротивление [Ом]

**Q<sub>c</sub>** – реактивная емкостная мощность  
[вар]

# ЦЕПЬ С ЕМКОСТЬЮ C

---

$$X_c = 1/(\omega C) = 1/(2\pi f C)$$

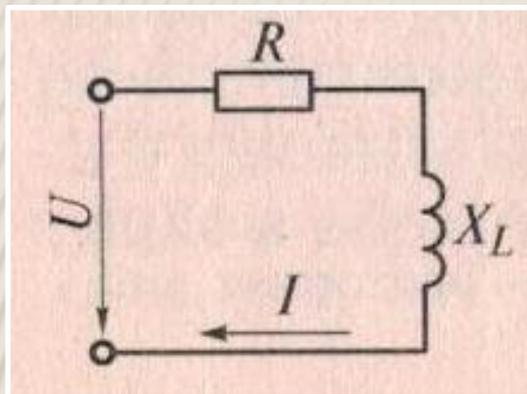
$X_c$  – реактивное емкостное  
сопротивление [Ом]

$C$  – емкость [Ф]

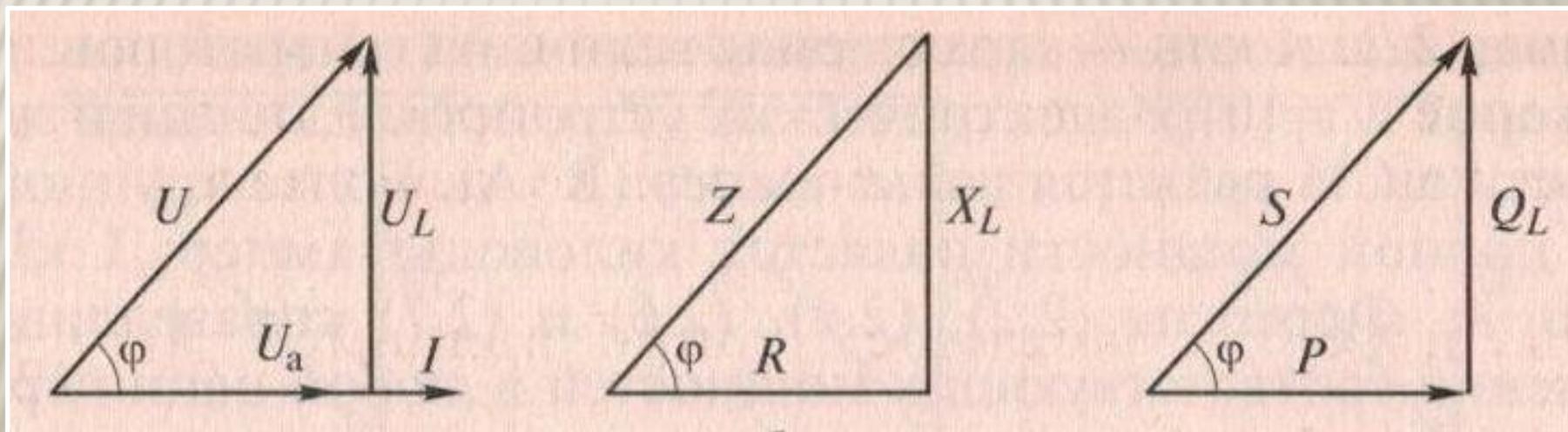
$\omega = 2\pi f$  - угловая частота [рад/с]

$f$  - циклическая частота [Гц]

# ЦЕПЬ С $R$ И $L$ ЭЛЕМЕНТАМИ



Реальная катушка индуктивности имеет два параметра: активное сопротивление  $R$  и индуктивность  $L$



$Z$  – полное сопротивление цепи [Ом]

$S$  – полная мощность цепи [ВА]

# ЦЕПЬ С R И L ЭЛЕМЕНТАМИ

Напряжение , приложенное к цепи, **U** [В]:

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2}$$

Полная мощность цепи, **S** [ВА]:

$$S = \sqrt{P^2 + QL^2}$$

Полное сопротивление цепи, **Z** [Ом]:

$$Z = \sqrt{R^2 + XL^2}$$

# ЦЕПЬ С R И L ЭЛЕМЕНТАМИ

Ток в цепи,  $I$  [А]:

$$I = U_a / R = U_L / X_L = U / Z$$

Полная мощность в цепи,  $S$  [ВА]:

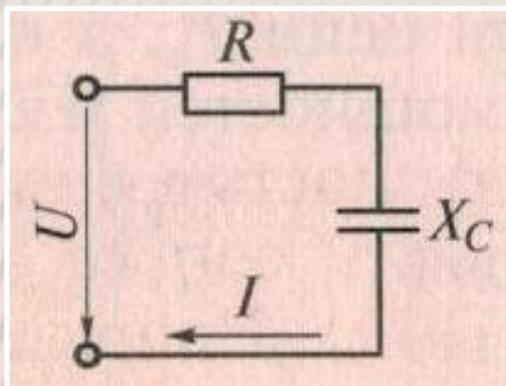
$$S = UI = I^2 Z = U^2 / Z$$

Из треугольника мощностей:

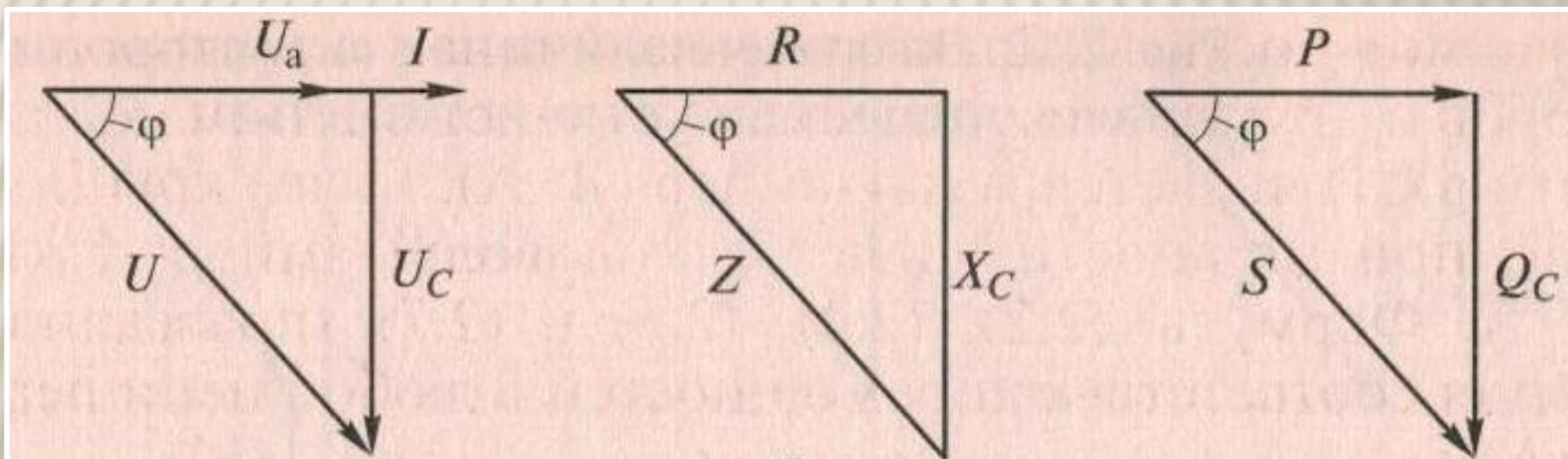
$$P = S \cos \varphi = UI \cos \varphi$$

$$Q_L = S \sin \varphi = UI \sin \varphi$$

# ЦЕПЬ С $R$ И $C$ ЭЛЕМЕНТАМИ



Последовательно включены активное сопротивление  $R$  и емкость  $C$



$Z$  – полное сопротивление цепи [Ом]  
 $S$  – полная мощность цепи [ВА]

# ЦЕПЬ С R И C ЭЛЕМЕНТАМИ

Напряжение, приложенное к цепи, **U** [В]:

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_c^2}$$

Полная мощность цепи, **S** [ВА]:

$$S = \sqrt{P^2 + Q_c^2}$$

Полное сопротивление цепи, **Z** [Ом]:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

# ЦЕПЬ С R И C ЭЛЕМЕНТАМИ

Ток в цепи,  $I$  [А]:

$$I = U_a / R = U_c / X_c = U / Z$$

Полная мощность в цепи,  $S$  [ВА]:

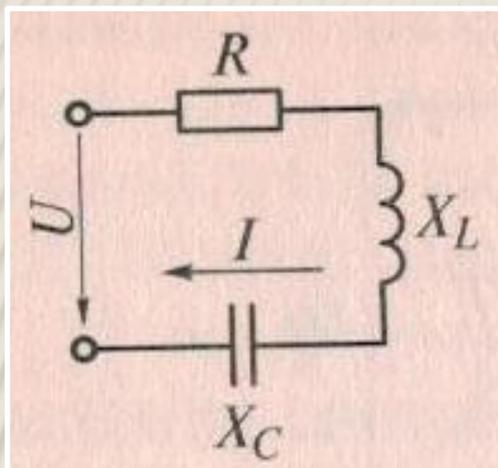
$$S = UI = IZ = U/Z$$

Из треугольника мощностей:

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

$$Q_c = S \sin \varphi = UI \sin \varphi$$

# ЦЕПЬ С $R$ , $L$ И $C$ ЭЛЕМЕНТАМИ



Последовательно включены активное сопротивление  $R$ , индуктивность  $L$  и емкость  $C$

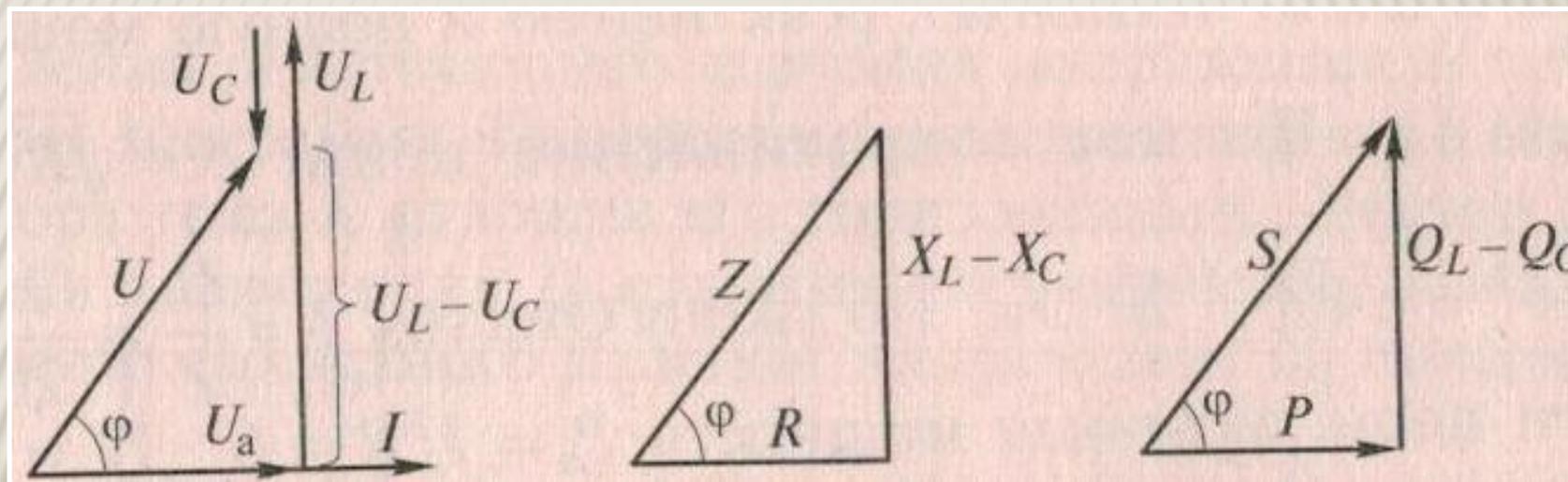
Действующие значения напряжений, на участках цепи, [В]:

$$U_a = I R$$

$$U_c = I X_c$$

$$U_L = I X_L$$

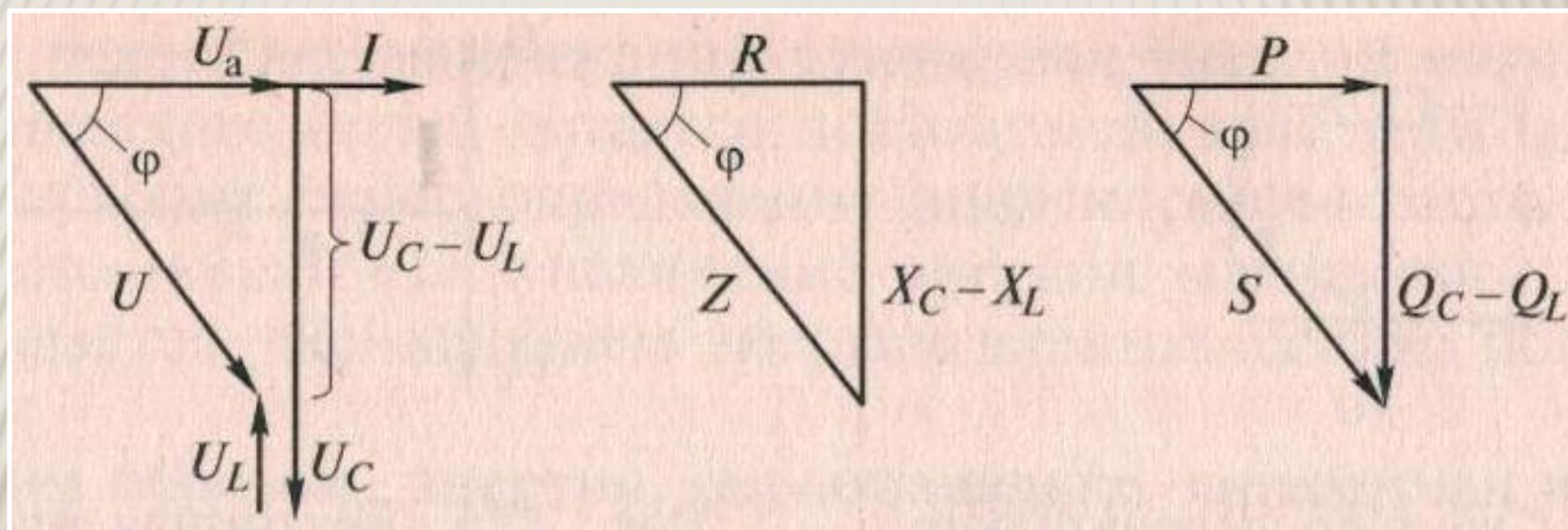
# ЦЕПЬ С R, L И C ЭЛЕМЕНТАМИ



Цепь имеет активно-индуктивный характер  $X_L > X_C$ ,  $U_L > U_C$

Напряжение  $U$  опережает ток  $I$  по фазе на угол  $\varphi$

# ЦЕПЬ С $R$ , $L$ И $C$ ЭЛЕМЕНТАМИ



Цепь имеет активно-емкостной характер  $X_L < X_C$ ,  $U_L < U_C$

Напряжение  $U$  отстает по фазе от тока  $I$  на угол  $\varphi$

# ЦЕПЬ С R, L И C ЭЛЕМЕНТАМИ

Ток в цепи,  $I$  [А]:

$$I = U_a / R = U_c / X_c = U_L / X_L = U / Z$$

Из треугольника напряжений:

$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_c)^2}$$

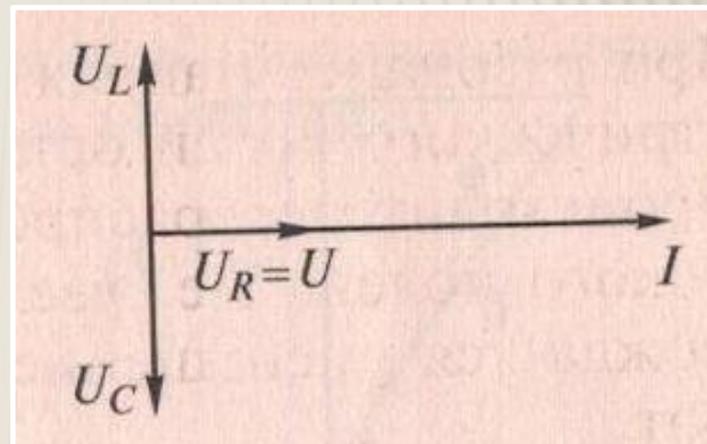
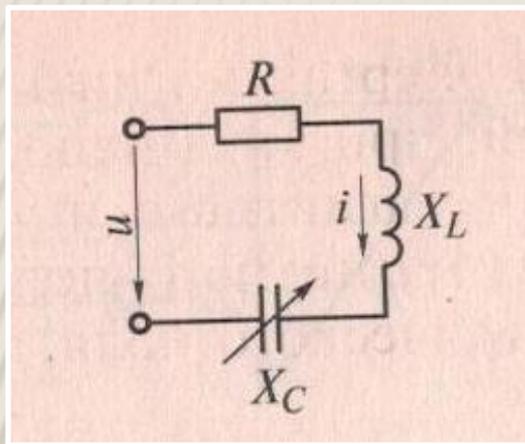
Из треугольника мощностей:

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_c)^2}$$

Из треугольника сопротивлений:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2}$$

# РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ



При резонансе напряжений индуктивное  $X_L$  и емкостное  $X_C$  сопротивления взаимно компенсируются, в результате этого реактивное сопротивление и реактивная мощность цепи равны нулю.

$$X_L - X_C = 0, \quad U_L - U_C = 0, \quad Q_L - Q_C = 0, \quad S = P$$

# РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

---

При резонансе напряжений

$$X_L = X_C, \quad \omega L = 1/(\omega C),$$

откуда угловая частота

при резонансе

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$$

Резонансная частота

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

# РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

---

## **Признаки резонанса напряжений:**

- Сопротивление  $Z = R$  минимальное и чисто активное;
- Ток в цепи совпадает по фазе с напряжением источника и достигает максимального значения;
- Напряжение на индуктивной катушке равно напряжению на конденсаторе и каждое в отдельности может во много раз превышать напряжение на зажимах цепи.

# ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ РЕСУРСЫ

- <http://model.exponenta.ru/>
- <http://www.treugoma.ru/>
- <http://www.hardtech.ru/>
- <http://electroandi.ru/>
- <http://www.ngpedia.ru/>

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

---