

Лекция 2

2.1 Однофазные электрические цепи.

2.2 Резонанс напряжений и токов.

2.3 Основы электрических измерений тока, напряжения и мощности.

Переменный ток имеет огромное практическое значение:

- он легко трансформируется и передается на большие расстояния;
- электрические машины и другие электротехнические устройства, предназначенные для работы в цепях переменного тока, относительно просты и достаточно надежны в эксплуатации.

Почти вся электроэнергия вырабатывается в виде энергии *переменного синусоидального тока синхронными генераторами*, принцип работы которых основан на законе электромагнитной индукции.

- Изменение тока по синусоидальному закону происходит плавно, без скачков, что благоприятно сказывается на работе электротехнических устройств.

Основные понятия и определения.

Ток, изменяющийся с течением времени, называют *переменным*.

Если его значения и направление через равные промежутки времени повторяются, то ток называется *периодическим*.

Ток (напряжение, ЭДС) считается *синусоидальным*, если его величина изменяется по закону синуса, т.е.

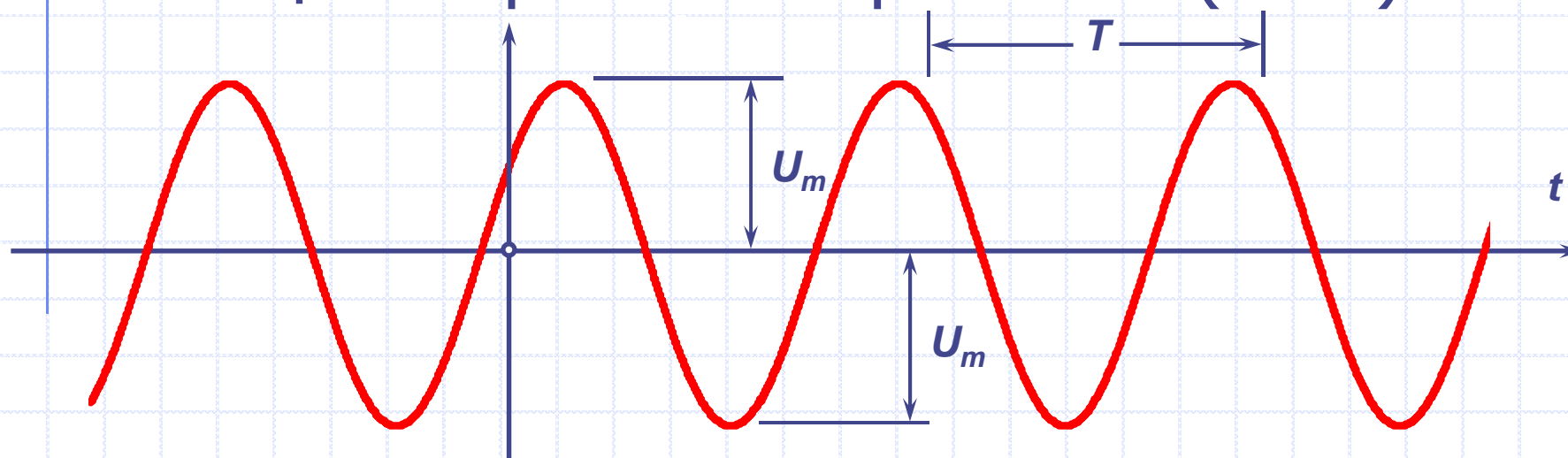
$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_u)$$

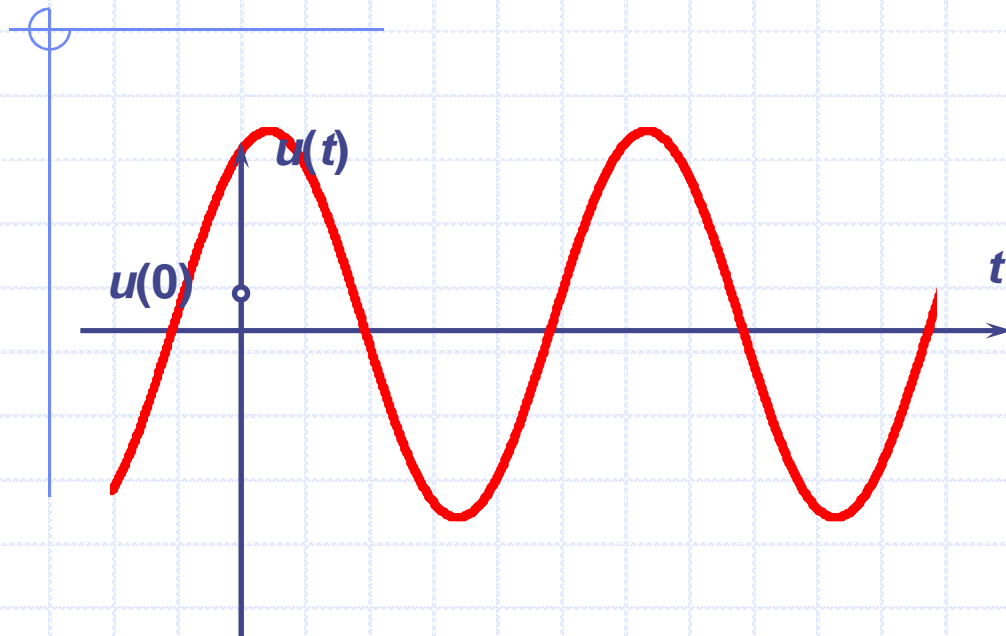
$$e = E_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_e)$$

Свойства синусоидальных токов и напряжений

1. Осциллограмма напряжения (тока)



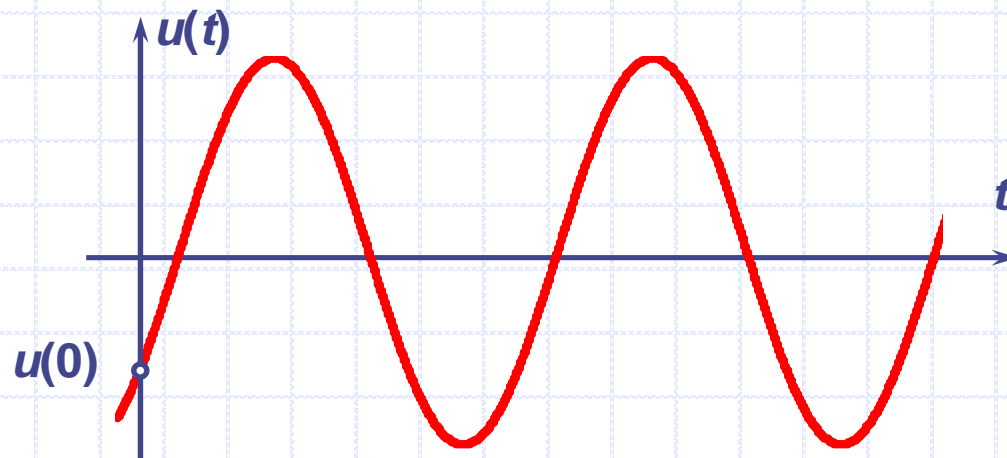
2. Напряжение (ток) функция времени



$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$$

$$u(0) = U_m \sin(\varphi_u)$$

$$\varphi_u > 0$$

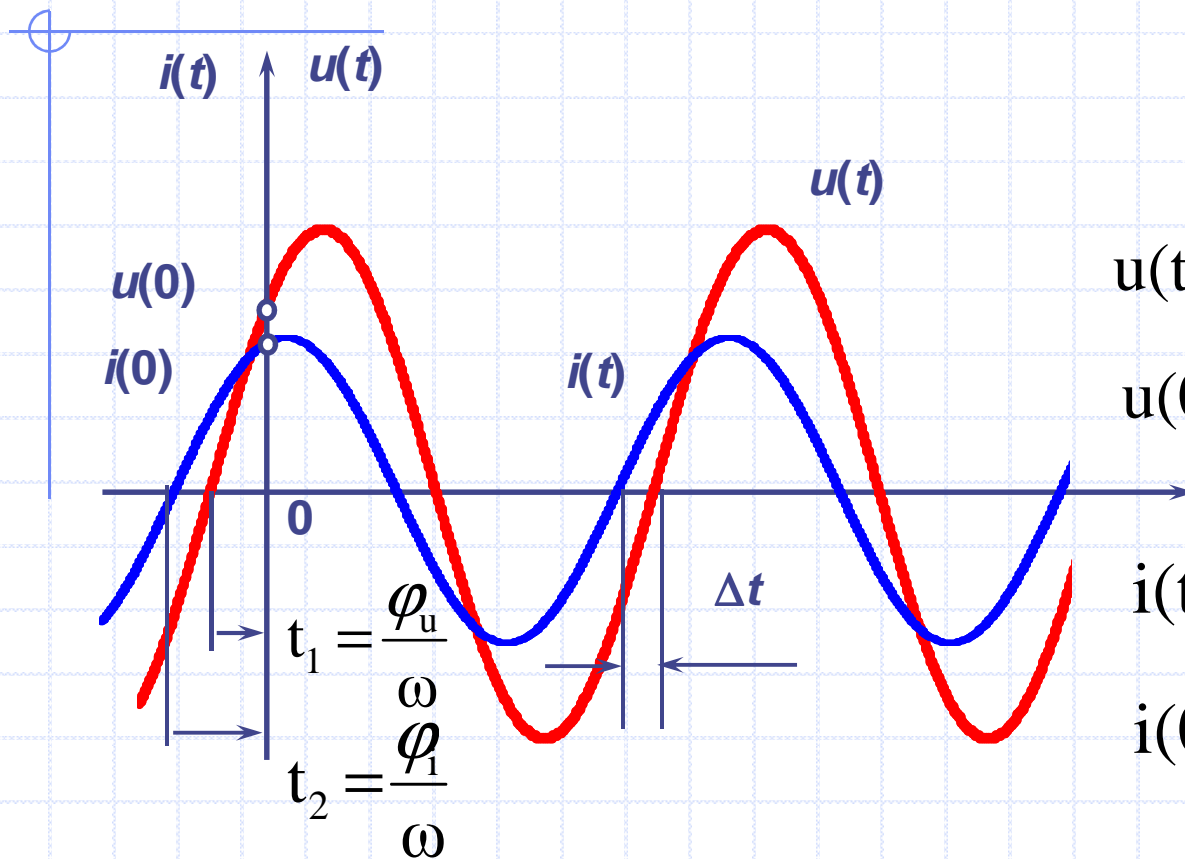


$$u(t) = U_m \sin(\omega t - \varphi_u)$$

$$u(0) = U_m \sin(\varphi_u)$$

$$\varphi_u < 0$$

3. Фазовые сдвиги напряжения и тока



$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$$

$$u(0) = U_m \sin(\varphi_u)$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$i(0) = I_m \sin(\varphi_i)$$

$$f = \frac{1}{T}$$

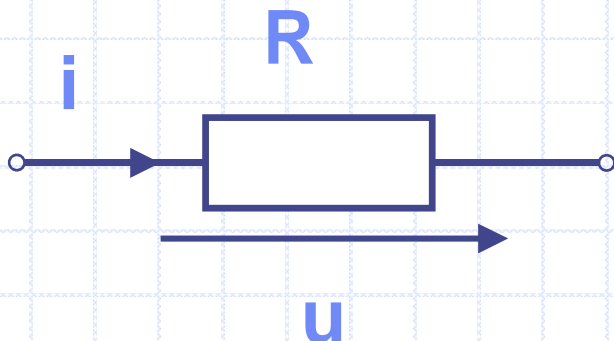
$$\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta\varphi = \varphi_u - \varphi_i = \Delta t \cdot \omega$$

НАГРУЗКА В ЦЕПИ ~ ТОКА:

1. Активное сопротивление - резистор

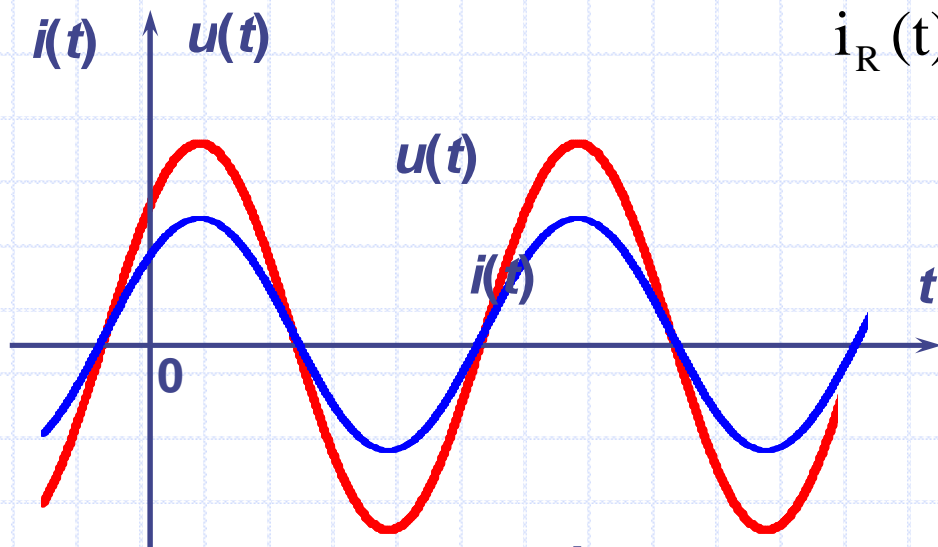


$$i(t) = \frac{1}{R} u(t) = G \cdot u(t)$$

$$u_R(t) = U_{Rm} \sin(\omega t + \varphi_{uR})$$

$$i_R(t) = I_{Rm} \sin(\omega t + \varphi_{iR})$$

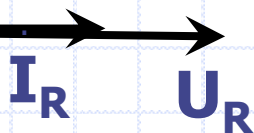
$$\Delta\varphi_R = \varphi_{uR} - \varphi_{iR} = 0$$



$$I_{Rm} = \frac{U_{Rm}}{R}$$

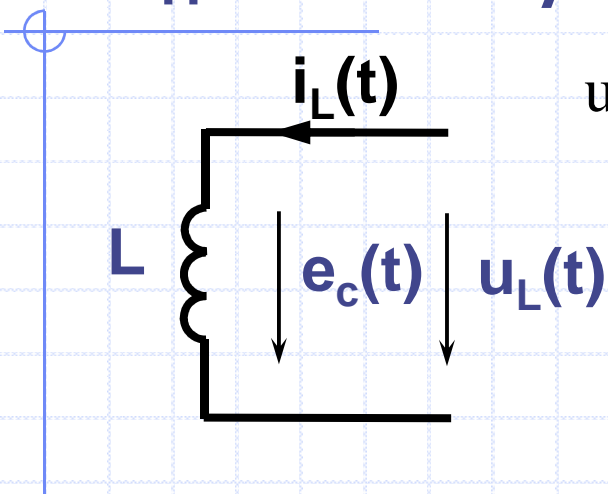
Закон Ома:
 $I = U/R$

Активная мощность $P = IU = I^2 R$ [Вт]



2. Реактивное сопротивление – индуктивность

L – идеальная катушка, $R_L = 0$

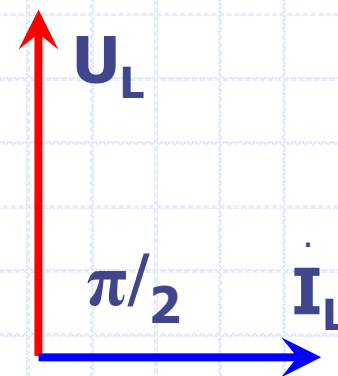


$$u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = -e_c(t)$$

$$i_L(t) = I_{Lm} \sin \omega t$$

$$u_L(t) = U_{Lm} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$\Delta \varphi_L = \varphi_{uL} - \varphi_{iL} = \frac{\pi}{2} - 0 = \frac{\pi}{2}$$

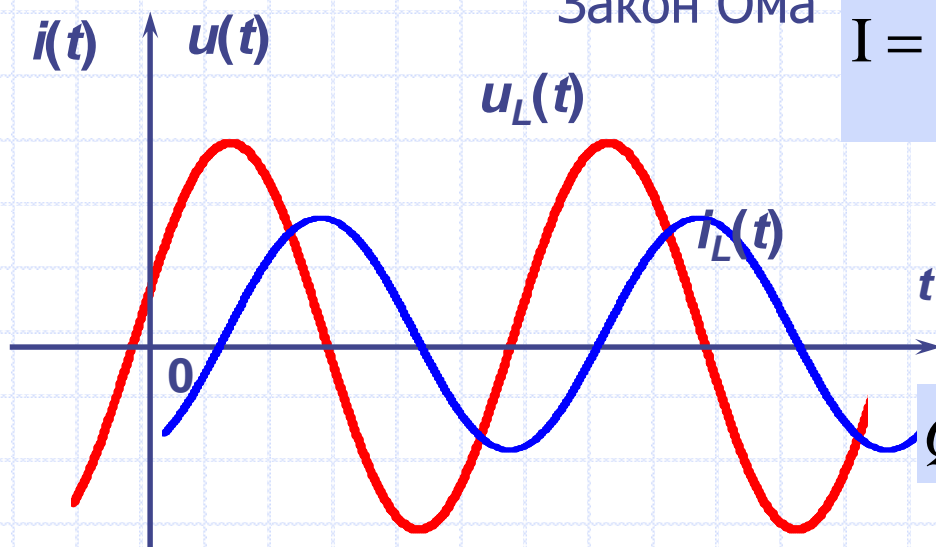


Закон Ома

$$I = \frac{U}{X_L}$$

Индуктивное сопротивление

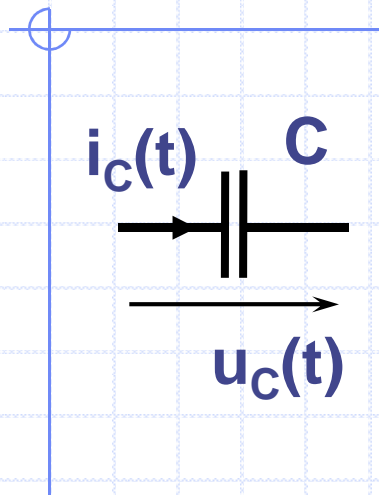
$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad [\text{Ом}]$$



Реактивная мощность [ВАр]

$$Q_L = U_L I_L = X_L \cdot I_L^2 = U_L^2 / X_L$$

3. Реактивное сопротивление – конденсатор

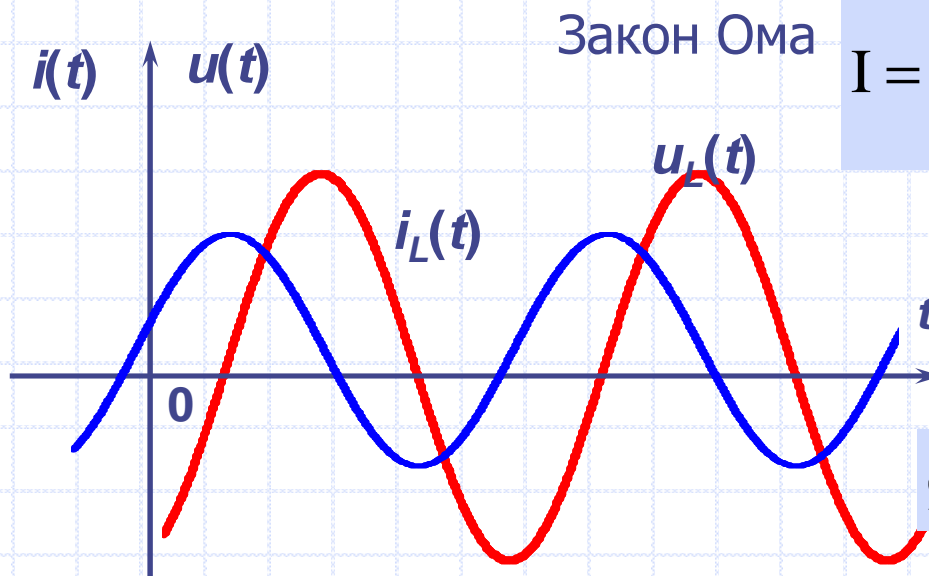
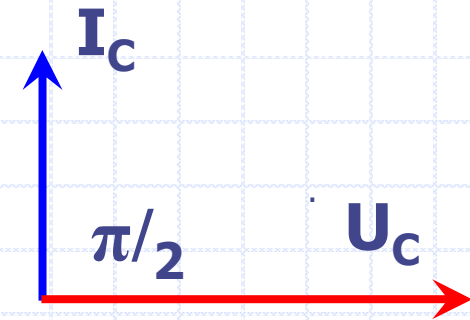


$$i_c(t) = C \frac{du_c(t)}{dt}$$

$$u_c(t) = U_{cm} \sin \omega t$$

$$i_c(t) = I_{cm} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$\Delta \varphi_C = \varphi_{u_C} - \varphi_{i_C} = 0 - \frac{\pi}{2} = -\frac{\pi}{2}$$



Закон Ома

$$I = \frac{U}{X_C}$$

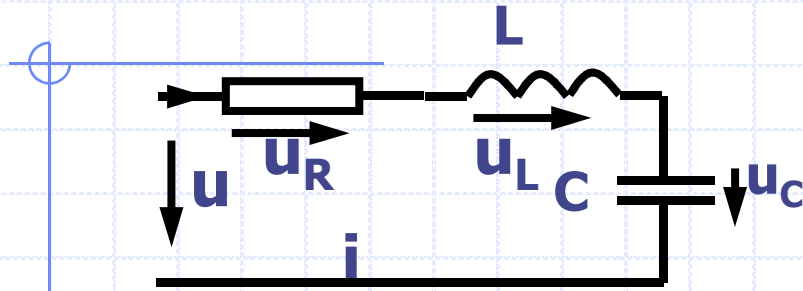
Емкостное сопротивление

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \text{ [Ом]}$$

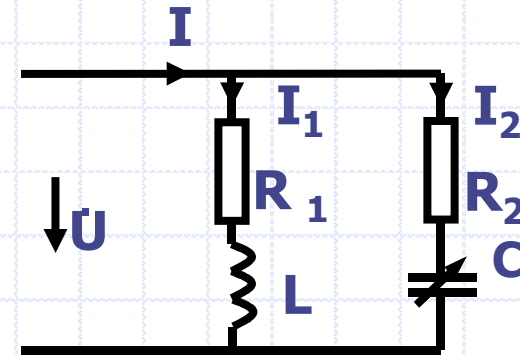
Реактивная мощность [ВАр]

$$Q_C = U_C I_C = X_C \cdot I_C^2 = U_C^2 / X_C$$

Смешанная нагрузка



последовательное
соединение R, L, C .



параллельное
соединение R, L, C .

Вид векторной диаграммы напряжений и тока и характер электрических процессов, протекающих в цепи, зависят от соотношения сопротивлений X_L и X_C :

а) при $X_L > X_C$ и $U_L > U_C$ цепь носит **резистивно-индуктивный** характер, т.е. ток i отстает по фазе от напряжения u на угол φ (рис. 14а);

б) при и $X_L < X_C$ и $U_L < U_C$ цепь носит **резистивно-ёмкостный** характер, т. е. ток i опережает по фазе напряжение u на угол φ (рис. 14б);

в) при $X_L = X_C$ и $U_L = U_C$ имеет место явление **резонанса напряжений**.
Нагрузка для источника является чисто *резистивной*, угол $\varphi = 0$

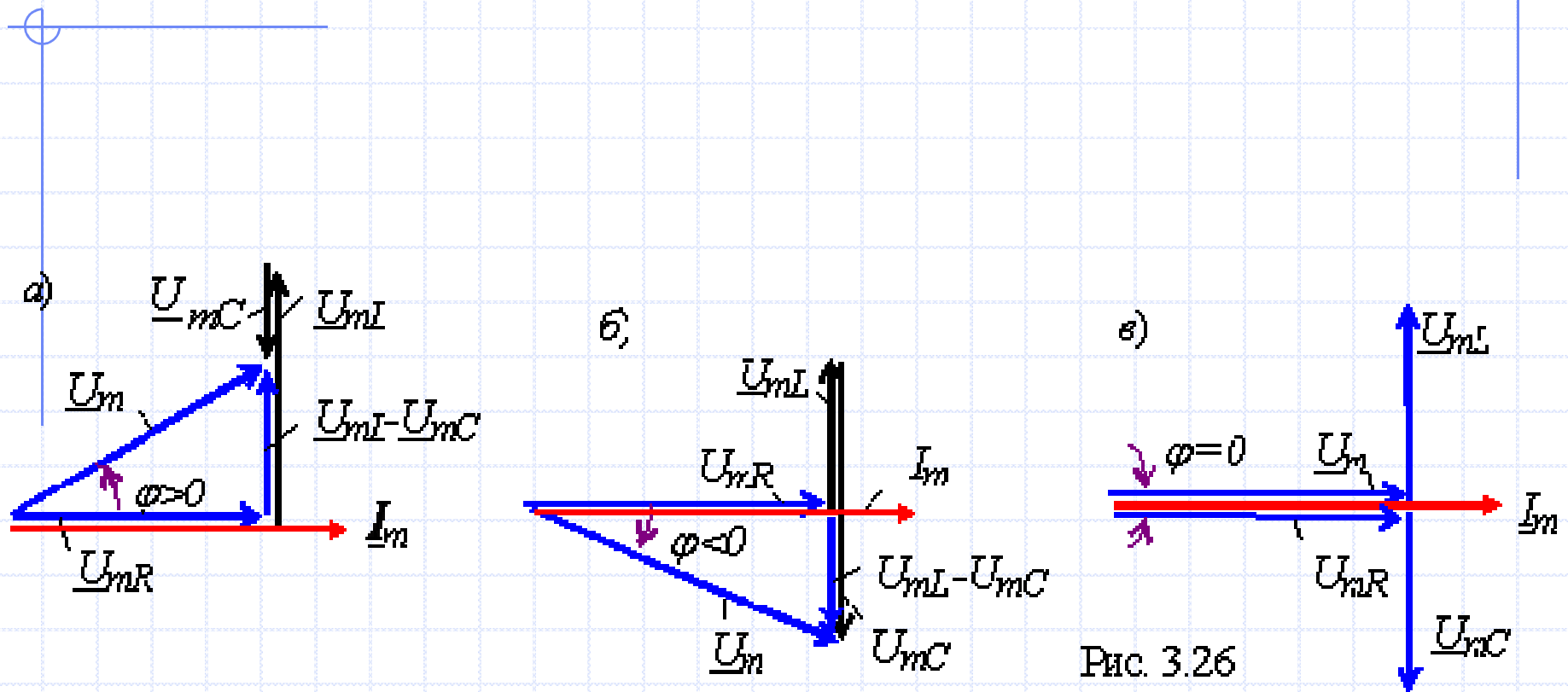


Рис. 3.26

Рис. 14. Векторные диаграммы

Полное сопротивление цепи **Z** при резонансе напряжений оказывается равным активному сопротивлению **R**.

Т.к. **X_L = X_C** и реактивное сопротивление цепи оказывается равным нулю

$$\mathbf{X = X_L - X_C = 0}$$

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

Ток в цепи совпадает по фазе с напряжением и может оказаться довольно большим даже при небольшом напряжении.

$$\uparrow I = \frac{U}{Z} \downarrow$$

При этом напряжения U_L и U_C могут существенно (в десятки раз!) превышать напряжение питания.

◆ При заданных значениях **L** и **C** резонанс может быть получен путем изменения частоты.

◆ Поскольку **$X_L = \omega L$** , а **$X_C = 1 / \omega C$** , то резонансная частота **ω_0** определяется из уравнения:

$$\omega_0 L = 1 / \omega_0 C$$