

# **АКТИВНОЕ, ЕМКОСТНОЕ И ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

**11 класс**

# НАГРУЗКА В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

```
graph TD; A[НАГРУЗКА В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА] --> B[РЕАКТИВНАЯ]; A --> C[АКТИВНАЯ]; B --> D[Индуктивная]; B --> E[Емкостная];
```

РЕАКТИВНАЯ

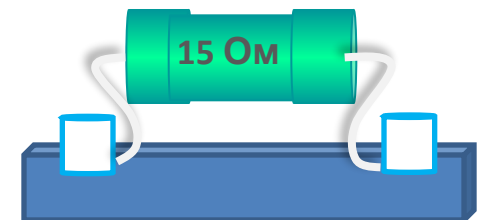
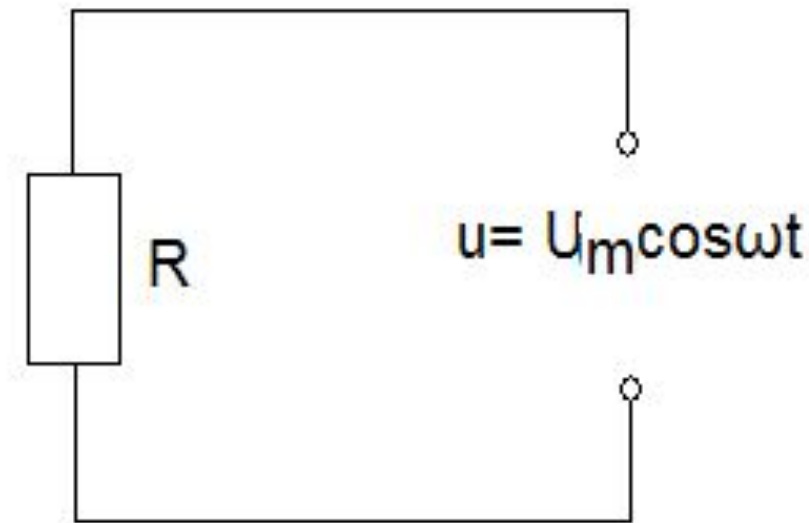
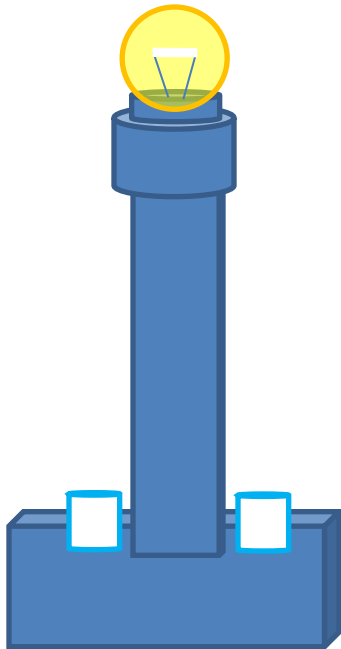
АКТИВНАЯ

Индуктивная

Емкостная

# АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

- Электрические устройства, преобразующие электрическую энергию во внутреннюю, называются активными сопротивлениями.



# АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

- От чего зависит активное сопротивление проводник<sup>а</sup>?

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

# АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

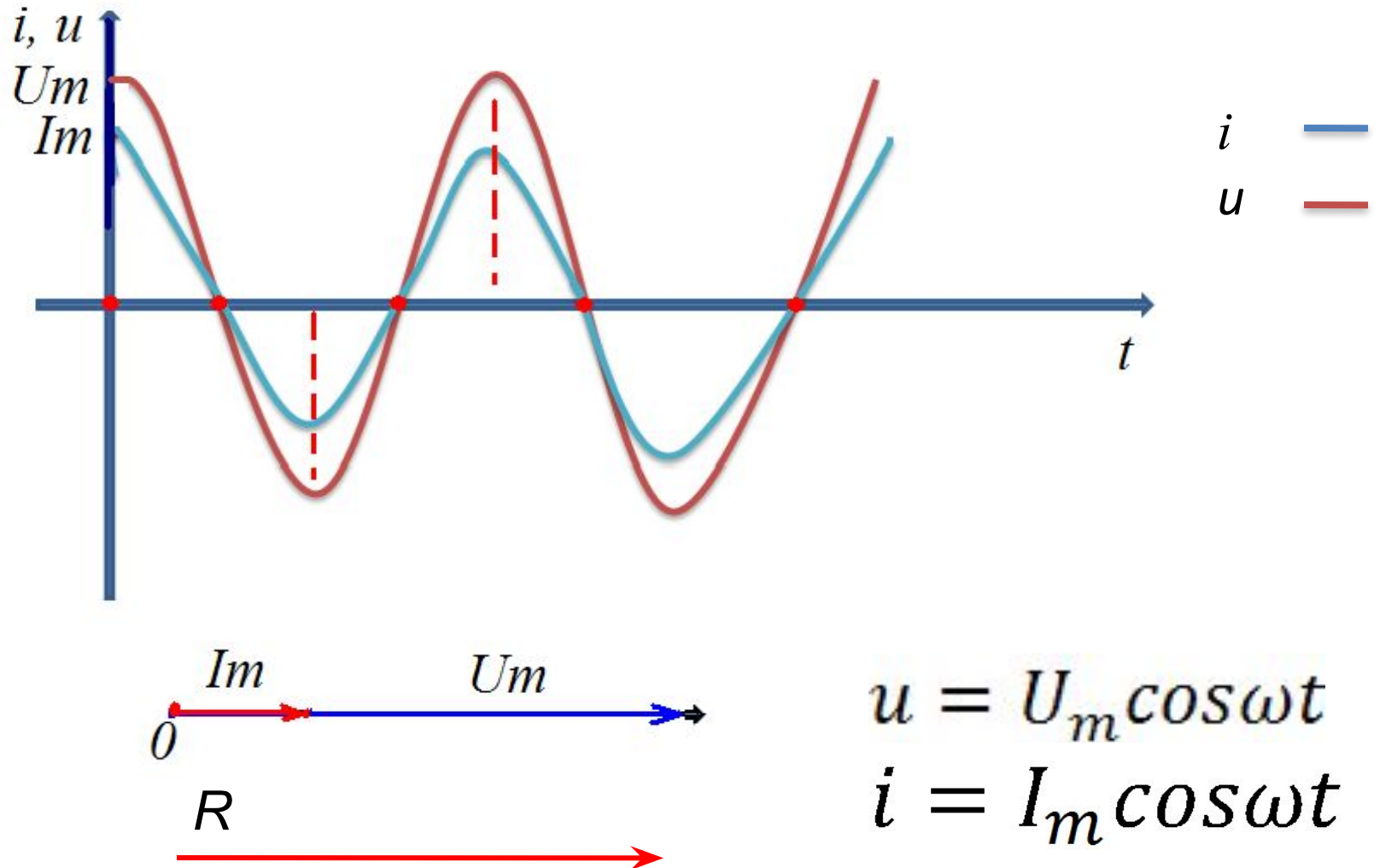
- Рассмотрим сначала цепь, состоящую из одного лишь сопротивления, подключённого к синусоидальной ЭДС  $\varepsilon_0 \sin \omega \cdot t$
- Из второго правила Кирхгофа для такой цепи

$$U_R = \varepsilon \Rightarrow I \cdot R = \varepsilon_0 \sin \omega \cdot t \Rightarrow I = \frac{\varepsilon_0}{R} \sin \omega \cdot t$$

можно сделать следующие три вывода:

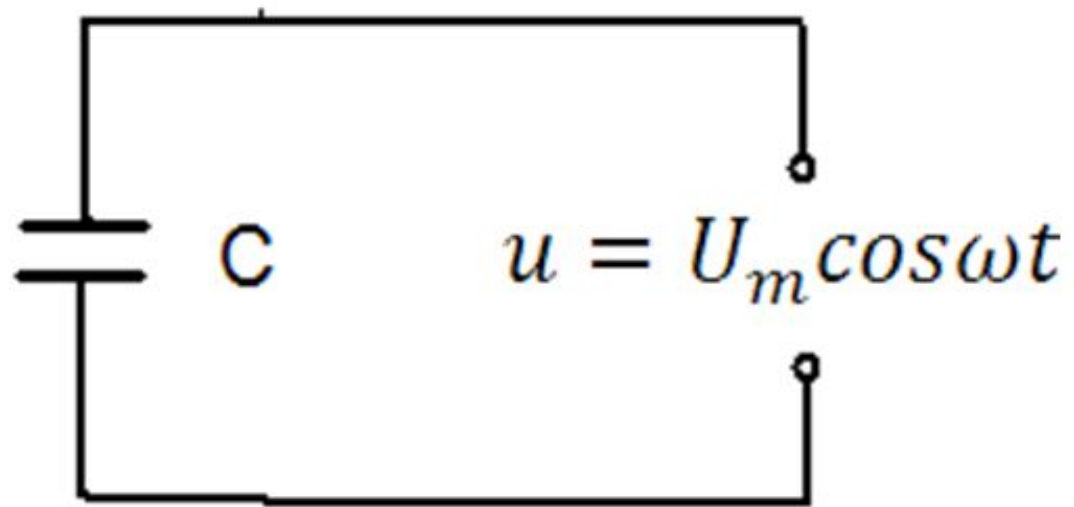
- 1) ток через сопротивление совершает гармонические колебания в одной фазе с напряжением;
- 2) максимальная сила тока (достигается при значении синуса, равном единице)  $I_0 = \varepsilon_0 / R$
- 3) связь амплитуд силы тока и напряжения на сопротивлении формально совпадает с законом Ома для участка цепи с постоянным током.

# АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

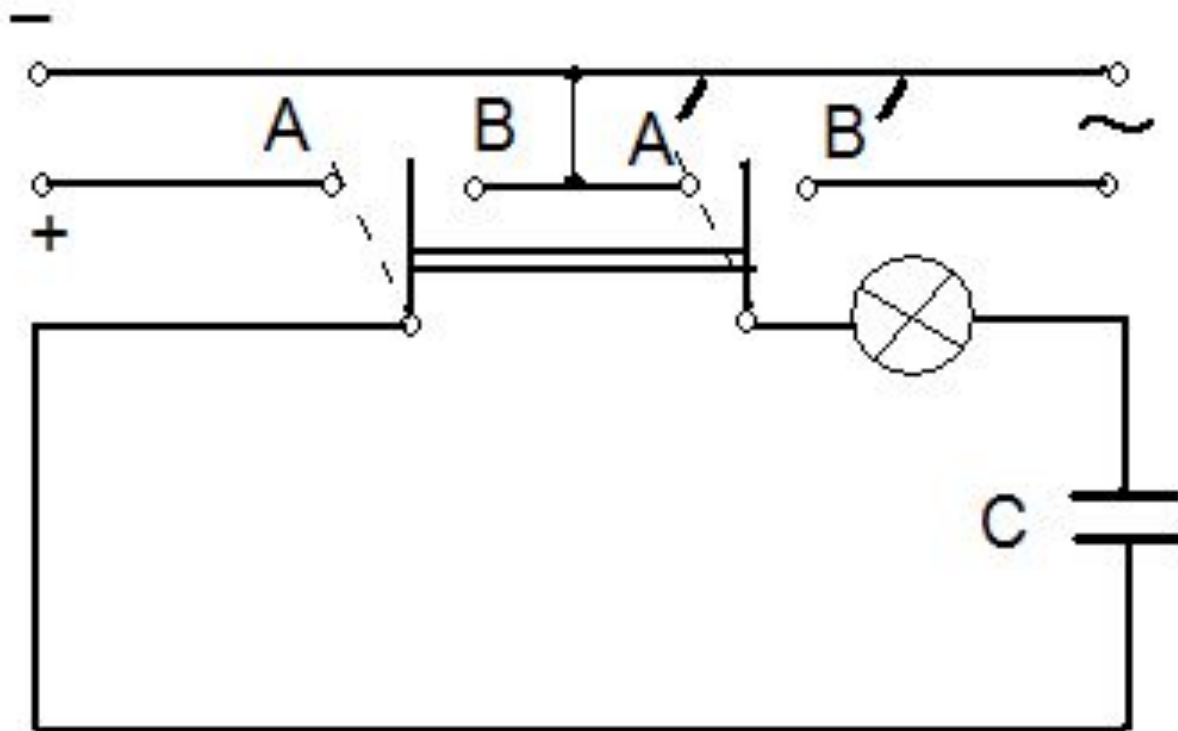


# ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

- Емкостное сопротивление - величина, характеризующая сопротивление, оказываемое переменному току электрической емкостью



# ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА





# ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Рассмотрим цепь, состоящую из одной лишь ёмкости, подключенной к синусоидальной ЭДС. Второе правило Кирхгофа для так

$$U_C = \varepsilon \Rightarrow q/C = \varepsilon_0 \sin \omega \cdot t \Rightarrow q = C\varepsilon_0 \sin \omega \cdot t .$$

Тогда сила ток  $I = \dot{q} = C\varepsilon_0 \omega \cos \omega \cdot t = \varepsilon_0 \omega \cdot C \sin (\omega \cdot t + \pi/2)$ .

$$X_C = 1/(\omega \cdot C)$$

**Величина** **называется ёмкостным**  
**сопротивлением.**

Можно сделать  $\pi/2$  едущие

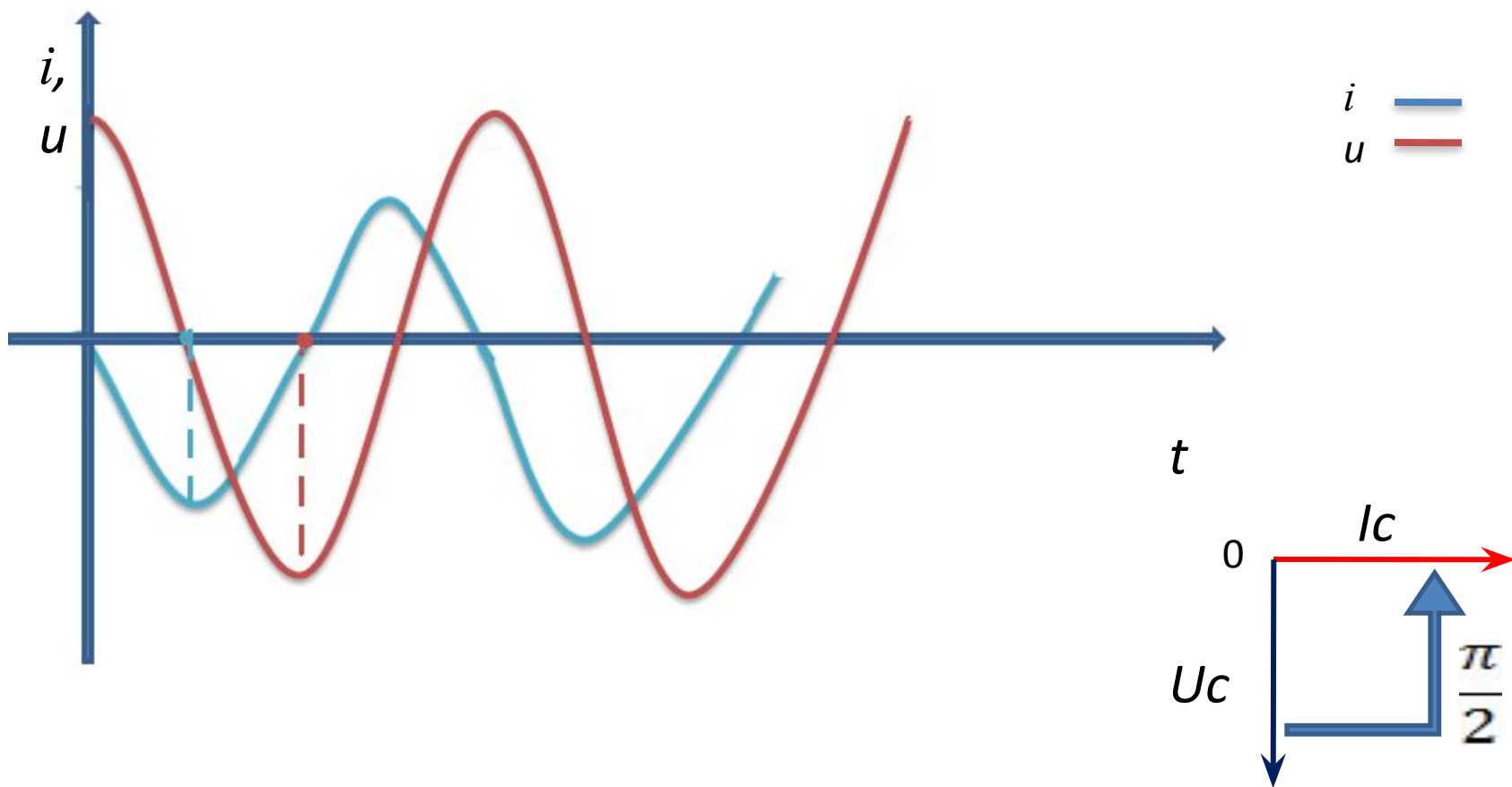
- 1) ток в цепи совершает гар  $I_0 = \varepsilon_0 \omega \cdot C = \varepsilon_0 / X_C$  ия, опережая по фазе напряжение на ;
- 2) максимальная сила тока ;
- 3) связь амплитуд силы тока и напряжения на конденсаторе формально совпадает с законом Ома для участка цепи в случае постоянных токов.

# ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Почему конденсатор оказывает конечное сопротивление переменному току? Ведь между обкладками конденсатора – диэлектрик, а значит, цепь разомкнута, и её сопротивление должно быть очень большим. Этот факт имеет простое объяснение.

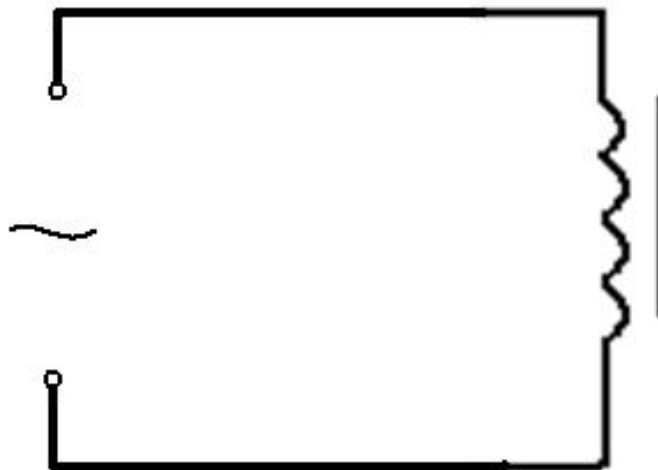
***Переменный электрический ток не проходит сквозь конденсатор, а представляет собой периодически повторяющийся процесс зарядки и разрядки конденсатора.***

# ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

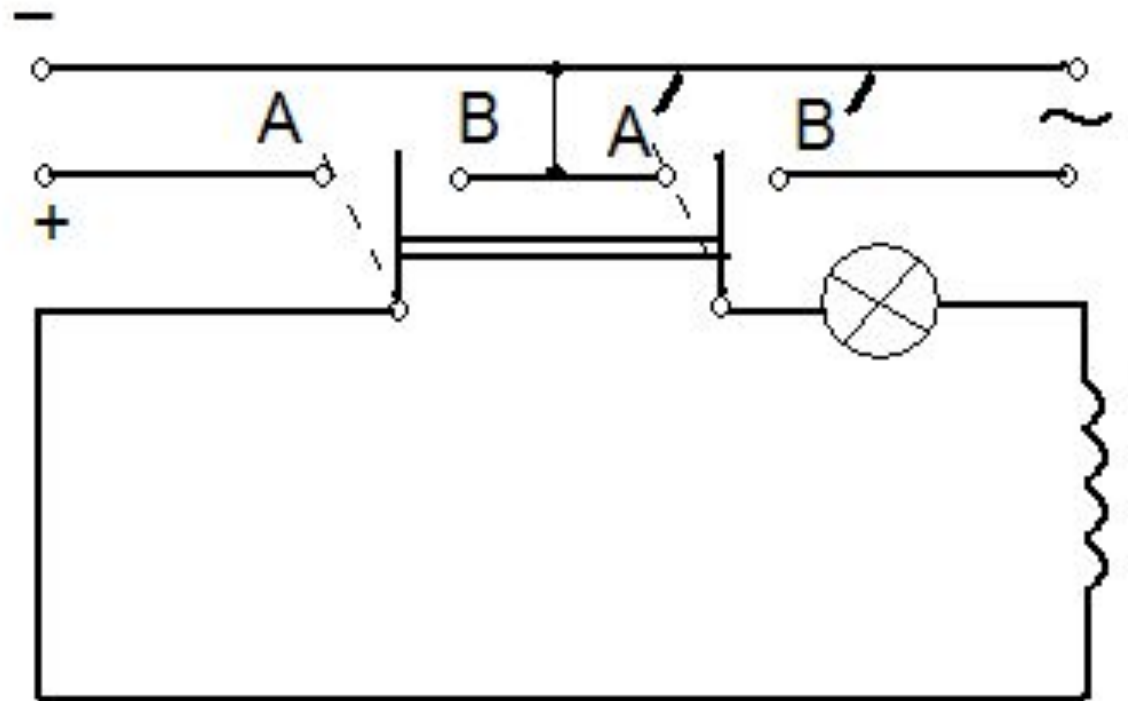


# ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Индуктивное сопротивление- величина, характеризующее сопротивление, оказываемое переменному току индуктивностью цепи



# ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



# ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Рассмотрим цепь, состоящую из одной лишь катушки индуктивности, присоединённой к синусоидальной ЭДС. Второе правило Кирхгофа

для такой цепи  $U_L = \varepsilon \Rightarrow L \cdot \dot{I} = \varepsilon_0 \sin \omega \cdot t \Rightarrow \dot{I} = \frac{\varepsilon_0}{L} \sin \omega \cdot t.$

Интегрируя, получаем:  $I = -\frac{\varepsilon_0}{\omega \cdot L} \cos \omega \cdot t \Rightarrow I = \frac{\varepsilon_0}{\omega \cdot L} \sin \left( \omega \cdot t - \frac{\pi}{2} \right).$

Величина  $X_L = \omega \cdot L$  называется индуктивным сопротивлением.

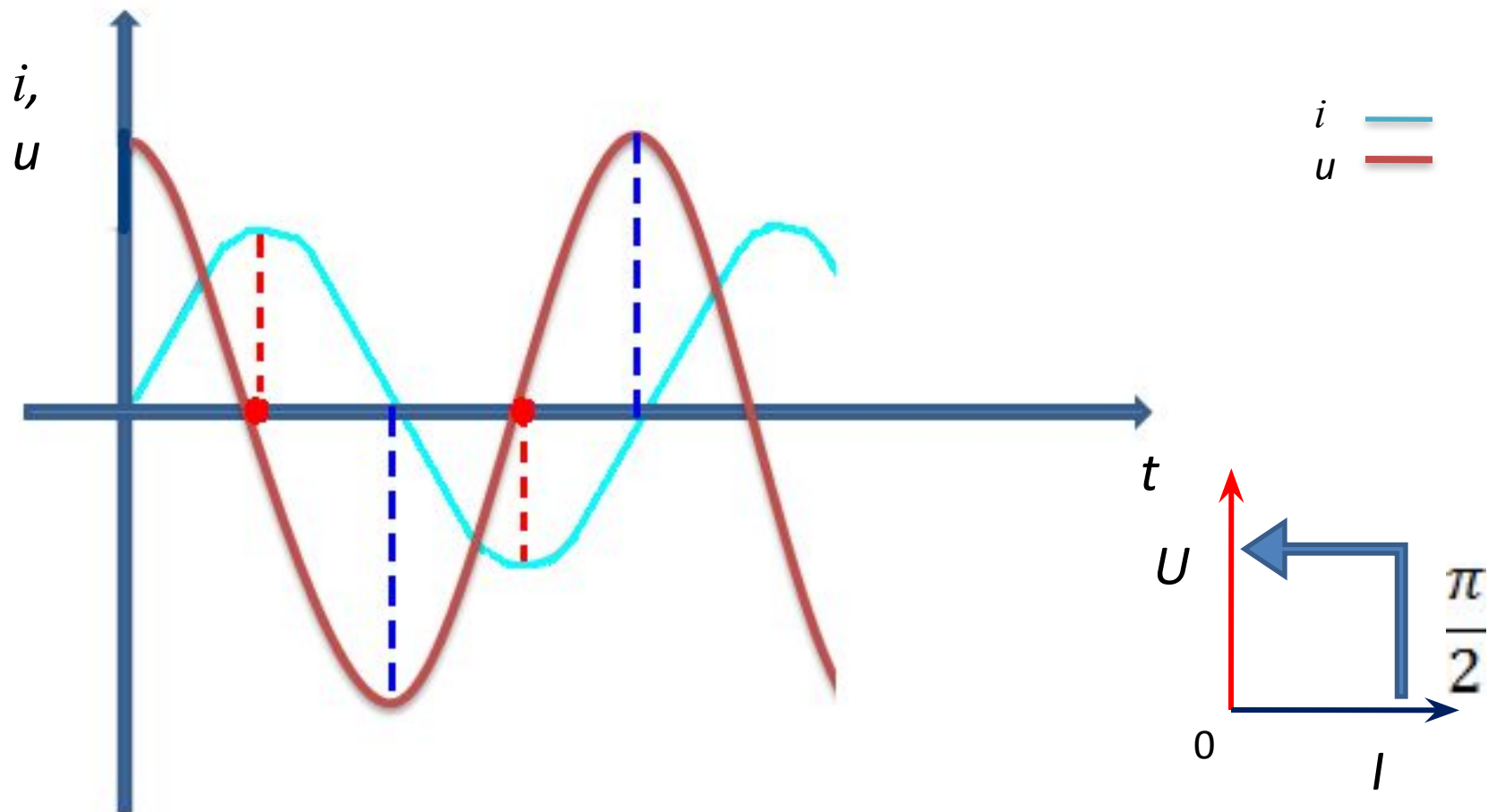
Можно сделать следующие три вывода:

1) ток через индуктивность совершает гармонические колебания и отстаёт от напряжения по фазе на  $\pi/2$

2) максимальная сила тока  $I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\omega \cdot L} = \frac{\varepsilon_0}{X_L}$  ;

3) связь амплитуд силы тока и напряжения на индуктивности формально совпадает с законом Ома для участка цепи в случае постоянных токов.

# ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



# ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

$$i = I_m \sin \omega t = I_m \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

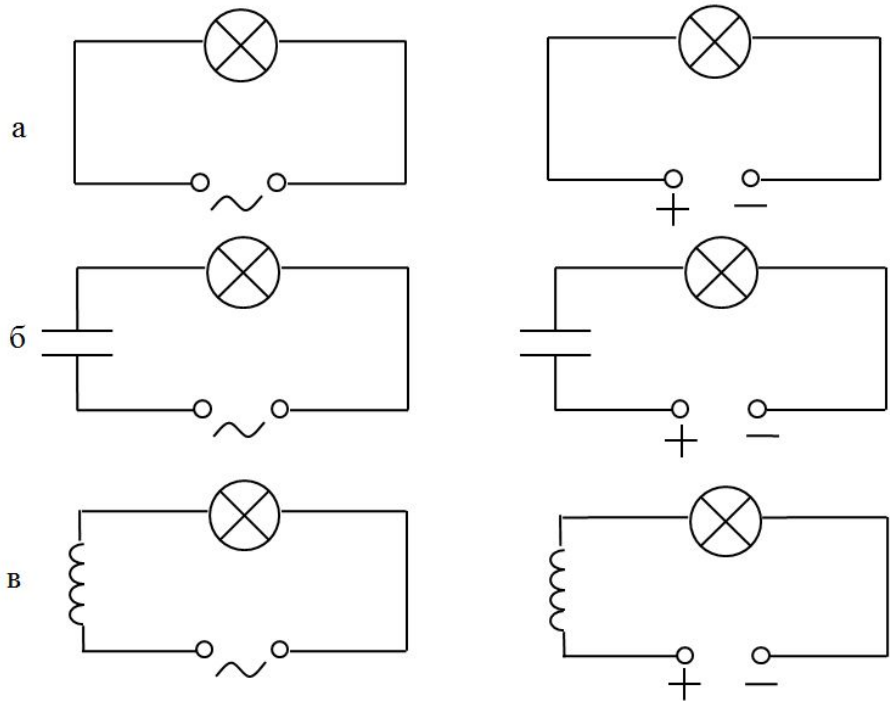
$$u = U_m \cos \omega t \quad U_m = L \omega I_m$$

$$X_L = \frac{L \omega I_m}{I_m}$$

$$X_L = L \omega$$



# Сравнить накал лампочек, подключённых к синусоидальному и постоянному напряжениям. Накал лампочек для рисунка (а) одинаков.



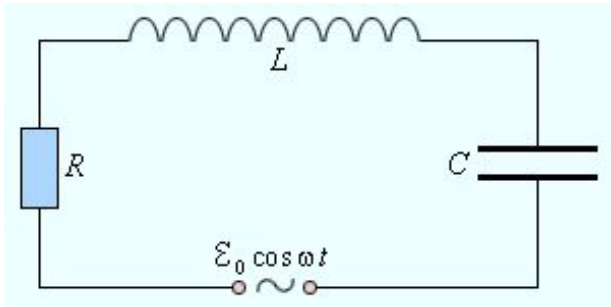
Одинаковый накал лампочек на рис (а) означает, что напряжения источника постоянного тока равно эффективному напряжению источника переменного тока

Если в обе цепи включить конденсатор достаточно большой ёмкости (б), то лампочка в цепи источника переменного тока будет по-прежнему гореть ярко, поскольку ёмкостное сопротивление переменному току обратно пропорционально ёмкости и, следовательно, будет мало. В цепи постоянного тока накал отсутствует, поскольку между обкладками конденсатора – диэлектрик, и цепь разомкнута.

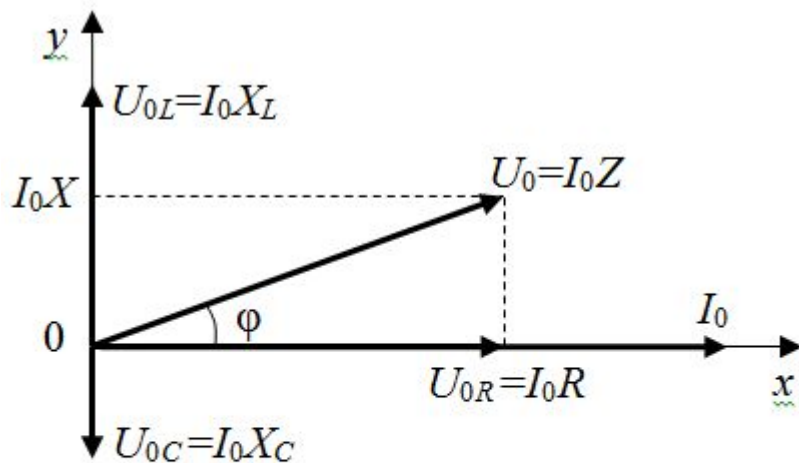
анализируя формулу  $X_C \rightarrow \infty$ .  
Постоянный ток означает, что циклическая частота  $\omega \rightarrow 0$  и значит,

Если в обе цепи включить катушку достаточно большой индуктивности, то ток в цепи источника переменного тока будет мал из-за большого индуктивного сопротивления, лампочка погаснет, а в цепи источника постоянного тока лампочка по-прежнему будет гореть ярко, поскольку индуктивное сопротивление постоянному току равно нулю. Действительно, в случае постоянного тока  $X_L = \omega \cdot L \rightarrow 0$  и индуктивное сопротивление

# Метод векторных диаграмм



$$\vec{U}_0 = \vec{U}_{0R} + \vec{U}_{0L} + \vec{U}_{0C}$$

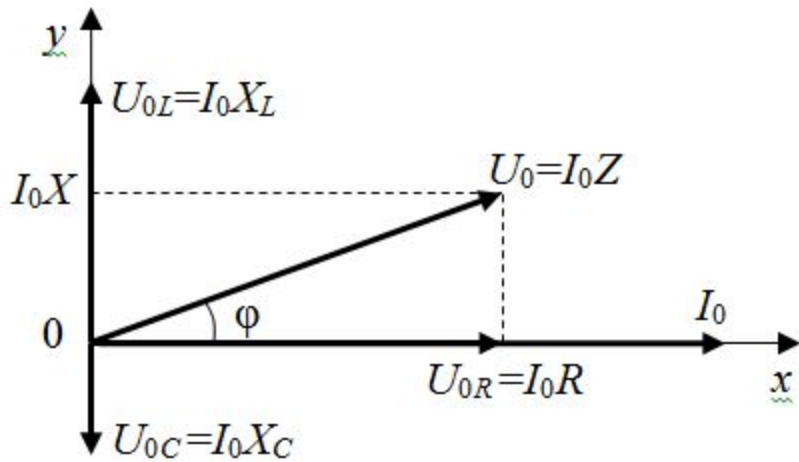


Векторная диаграмма сложения напряжений при последовательном соединении элементов  $L$ ,  $C$  и  $R$

1) Вектор  $\vec{U}_{0R}$  направлен вдоль оси  $Ox$  так как напряжение на активном сопротивлении колеблется в одной фазе с током.

2) напряжение на индуктивности опережает ток по фазе на  $\pi/2$ , вектор  $\vec{U}_{0L}$  повернут относительно оси  $Ox$  на угол  $\pi/2$  против часовой стрелки, т.е. направлен вдоль положительного направления оси  $Oy$ .

3) напряжение на ёмкости отстает от тока по фазе на  $\pi/2$ , вектор  $\vec{U}_{0C}$  повернут относительно оси  $Ox$  на угол  $\pi/2$  по часовой стрелке, т.е. направлен вдоль отрицательного направления оси



$$U_{0R} = I_0 R, \quad U_{0L} = I_0 X_L = I_0 \omega L, \\ U_{0C} = I_0 X_C = I_0 / (\omega \cdot C).$$

Сначала удобно сложить противоположно направленные вектора  $\vec{U}_L$  и  $\vec{U}_C$ . Их сумма равна вектору, направленному вдоль оси  $Ox$  и по величине равному

$$I_0 (X_L - X_C) = I_0 X$$

,  $X = X_L - X_C$  где  $X$  – реактивное сопротивление цепи. Далее по теореме Пифагора находим величину результирующего вектора

$$U_0 = \sqrt{(I_0 X)^2 + (I_0 R)^2} = I_0 \sqrt{X^2 + R^2} = I_0 Z \Rightarrow \\ \Rightarrow I_0 = \frac{U_0}{Z} = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

Величина  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$

называется **полным сопротивлением** цепи.

# *закон Ома для переменного тока*

$$I_0 = \varepsilon_0 / Z$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

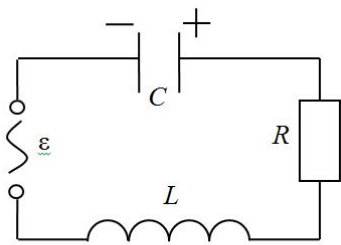


Рис. LCR – контур  
под действием внешней  
синусоидальной ЭДС

**Пример** Рассчитать допустимую амплитуду напряжения генератора в электрической цепи на рис, если пробой конденсатора наступает при напряжении  $U=500$  В. Параметры схемы:  $C=10$  мкФ,  $L=1$  Гн,  $R=3$  Ом, частота генератора 50 Гц.

**Решение.** Циклическая частота генератора  $\omega = 2\pi\nu$ , индуктивное и ёмкостное сопротивления:

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L = 314 \text{ (Ом)}, \quad X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi\nu \cdot C} = 318 \text{ (Ом)}.$$

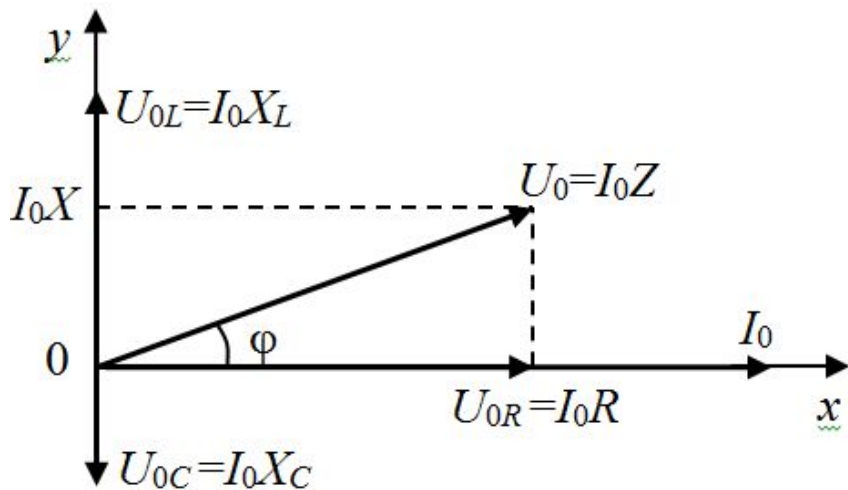
Полное сопротивление цепи

$$Z = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2} = 5 \text{ (Ом)}.$$

Для того, чтобы не было пробоя конденсатора, амплитуда напряжения на нём не должно превышать значение  $U$ :  $U_{0C} \leq U$ . Амплитуда напряжения на конденсаторе  $U_{0C} = I_0 X_C$ . По закону Ома амплитуда тока в цепи  $I_0 = U_0 / Z$ . Таким образом

$$U_{0C} = \frac{U_0}{Z} \cdot X_C \Rightarrow \frac{U_0}{Z} \cdot X_C \leq U \Rightarrow U_0 \leq U \cdot \frac{Z}{X_C}, \quad U_0 \leq 500 \cdot \frac{5}{318} = 7,9 \text{ (В)}.$$

## Сдвиг фаз между током в цепи и суммарным напряжением на концах цепи



- Сдвиг фаз равен углу между векторами  $\vec{I}_0$  и  $\vec{U}_0$ . Из прямоугольного треугольника

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_0 X}{I_0 R} = \frac{X}{R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$