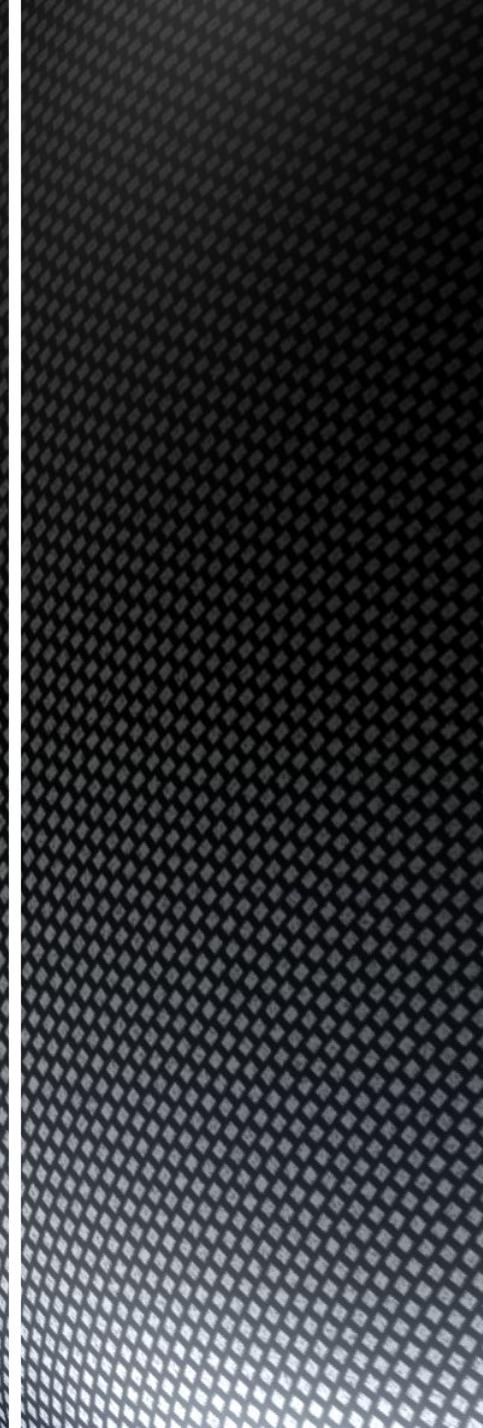


# ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК



# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

**Электромагнитные колебания** – это периодические изменения со временем электрических и магнитных величин в электрической цепи.

**Свободные электромагнитные колебания** – это колебания, которые происходят в идеальном колебательном контуре за счет расходования сообщенной этому контуру энергии, которая в дальнейшем не пополняется.

Свободные колебания не могут существовать сколь угодно долго и со временем затухают.

# ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Процессы, возникающие в электрических цепях под действием внешнего периодического источника тока, называются **вынужденными электромагнитными колебаниями.**

Вынужденные электромагнитные колебания в отличие от собственных колебаний в электрических цепях, являются **незатухающими.**

Внешний источник периодического воздействия обеспечивает приток энергии к системе и не дает колебаниям затухать, несмотря на наличие неизбежных потерь.

# ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

Вынужденные электромагнитные колебания в электрической цепи представляют собой переменный электрический ток.

**Переменный электрический ток** – это ток, сила и направление которого периодически меняются.

**Генератор переменного тока** – устройство, создающее вынужденные электромагнитные колебания в электрических цепях.

# ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

Пусть поток магнитной индукции  $\Phi$ , пронизывающий проволочную рамку площадью  $S$ , пропорционален косинусу угла  $\alpha$  между нормалью к рамке и вектором магнитной индукции:

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

При равномерном вращении рамки угол  $\alpha$  увеличивается прямо пропорционально времени:

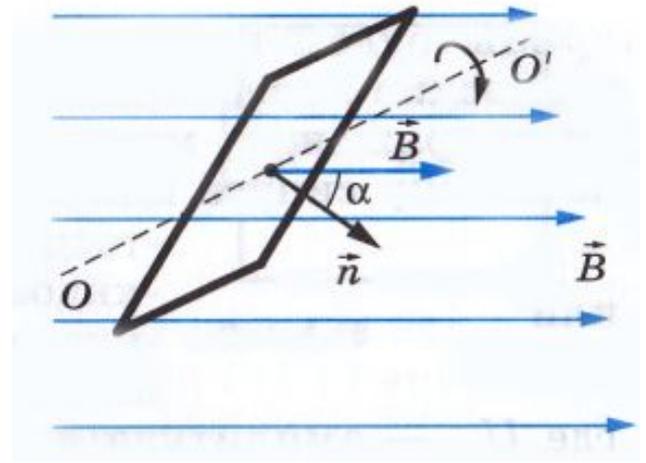
$$\alpha = \omega t,$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения рамки.

Поток магнитной индукции меняется по гармоническому закону:

$$\Phi = BS \cos \omega t$$

Здесь величина  $\omega$  играет уже роль циклической частоты.



# ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

Согласно закону электромагнитной индукции ЭДС индукции в рамке равна со знаком «-» скорости изменения потока магнитной индукции, т.е. производной потока магнитной индукции по времени:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'$$

$$\varepsilon = -BS(\cos \omega t)' = BS\omega \sin \omega t$$

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$$

где  $\varepsilon_m = BS\omega$  – амплитуда ЭДС индукции.

# ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

Вынужденные электрические колебания, происходящие в цепях под действием напряжения, меняющегося с циклической частотой по закону синуса или косинуса:

$$u = U_m \sin \omega t$$

ИЛИ

$$u = U_m \cos \omega t$$

где  $U_m$  - амплитуда напряжения, т.е. максимальное по модулю значение напряжения.

# ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

Если напряжение меняется с циклической частотой  $\omega$ , то и сила тока в цепи будет меняться с той же частотой. Но колебания силы тока не обязательно должны совпадать по фазе с колебательным напряжением. Поэтому в общем случае сила тока  $i$  в любой момент времени (мгновенное значение силы тока) определяете по формуле :

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

где  $I_m$  - амплитуда силы тока, т.е. максимальное по модулю значение силы тока

$\varphi$  – резонанс (сдвиг) фаз между колебаниями силы тока и напряжения.

# ДЕЙСТВУЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Действующее значение переменного тока численно равно такому постоянному току, при котором за время равное одному периоду в проводнике с сопротивлением  $R$  выделяется такое же количество тепловой энергии, как и при переменном токе.

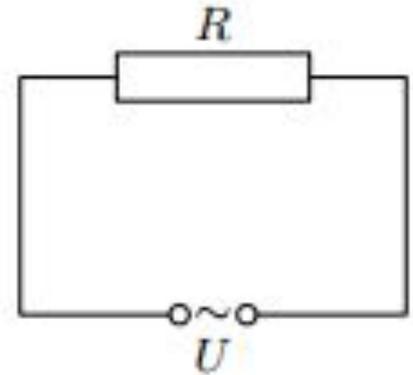
▪ 
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$
 – действующее значение силы тока

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$
 – действующее значение напряжения

- Нагрузка в цепи переменного тока
  - Реактивная
    - Индуктивная
    - Емкостная
  - Активная

# РЕЗИСТОР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Простейшая цепь переменного тока получится, если к источнику переменного напряжения подключить обычный резистор  $R$ , называемый также **активным сопротивлением**.



Будем считать, что напряжение на зажимах цепи меняется по гармоническому закону:

$$u = U_m \cos \omega t$$

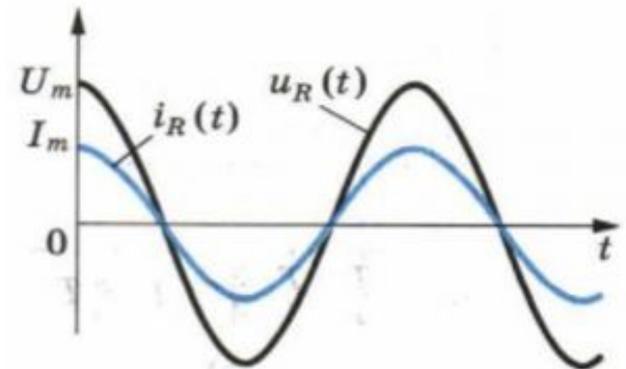
# РЕЗИСТОР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Для нахождения мгновенного значения силы тока применим закон Ома:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \cos \omega t}{R} = I_m \cos \omega t$$

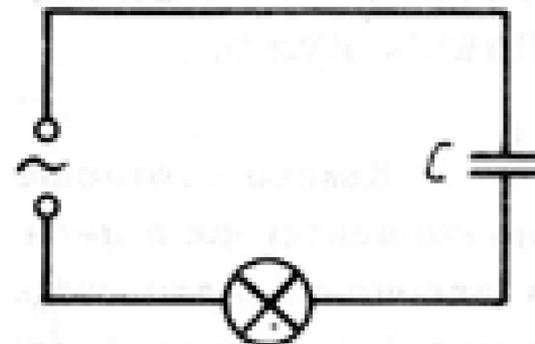
В проводнике с активным сопротивлением колебания силы тока совпадают по фазе с колебаниями напряжения, а амплитуда силы тока определяется равенством:

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$



# КОНДЕНСАТОР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Емкостное сопротивление** – величина, характеризующая сопротивление, оказываемое переменному току электрической емкостью.



Будем считать, что напряжение на зажимах цепи меняется по гармоническому закону:

$$u = U_m \cos \omega t$$

# КОНДЕНСАТОР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

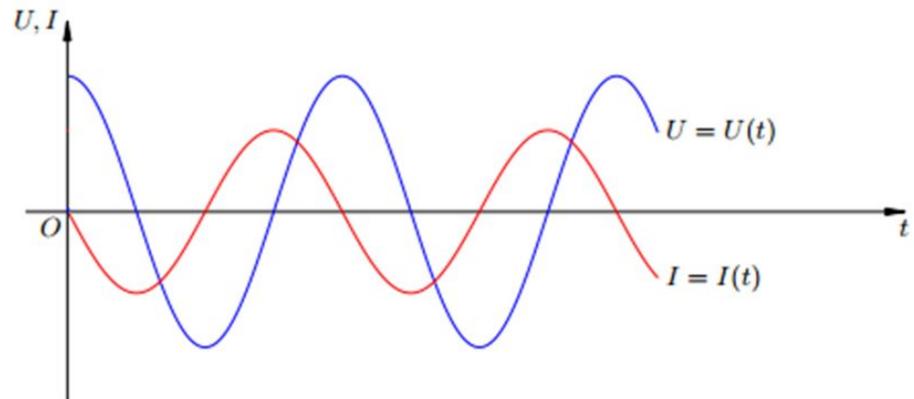
Заряд на обкладках конденсатора изменяется по закону:

$$q = Cu = CU_m \cos \omega t$$

Электрический ток в цепи возникает в результате изменения заряда конденсатора:

$$i = q' = -CU_m \omega \sin \omega t = CU_m \omega \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = I_m \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

Следовательно, колебания силы тока опережают колебания напряжения конденсатора на  $\frac{\pi}{2}$ .



# КОНДЕНСАТОР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Амплитуда колебания силы тока:

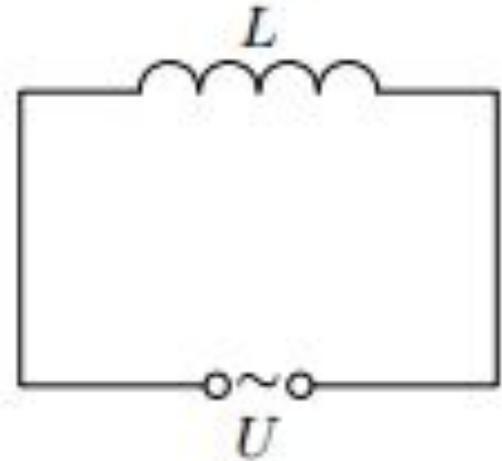
$$I_m = U_m C \omega$$

Емкостное сопротивление:

$$X_c = \frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C}$$

# КАТУШКА В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Индуктивное сопротивление** – величина, характеризующее сопротивление, оказываемое переменному току индуктивностью цепи.



Пусть ток меняется по закону:

$$i = I_m \sin \omega t$$

В катушке возникает ЭДС самоиндукции:

$$\varepsilon = -Li' = -L(I_m \sin \omega t)' = -L\omega I_m \cos \omega t$$

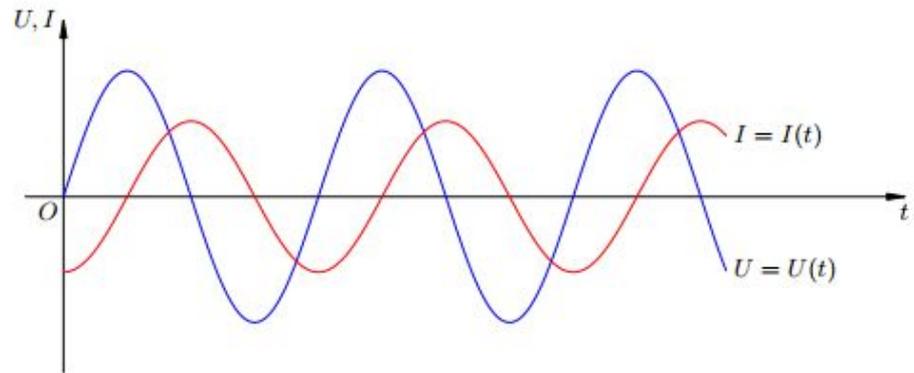
# КАТУШКА В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

$$R = 0 \rightarrow u = -\varepsilon$$

$$u = L\omega I_m \cos \omega t = L\omega I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = U_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

где  $U_m = L\omega I_m$  – амплитуда напряжения

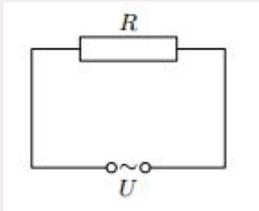
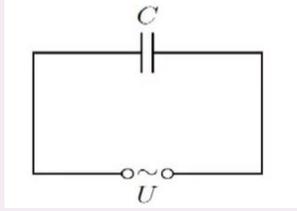
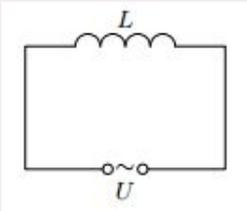
Колебания силы тока  
отстают по фазе от  
колебаний напряжения на  $\frac{\pi}{2}$



Индуктивное сопротивление:

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

## Тип сопротивления

	Активное	Емкостное	Индуктивное
Упрощенная схема включения цепи			
Пропускная способность сопротивлений	Пропускает постоянный и переменный ток	Пропускает постоянный и переменный ток	Пропускает переменный ток и не пропускает постоянный
Формула мгновенного значения напряжения			
Формула мгновенного значения силы тока			

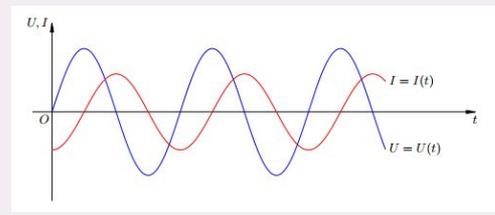
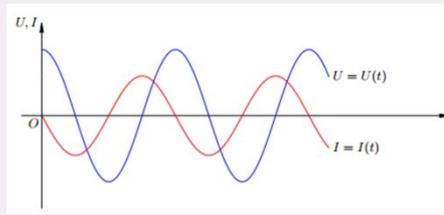
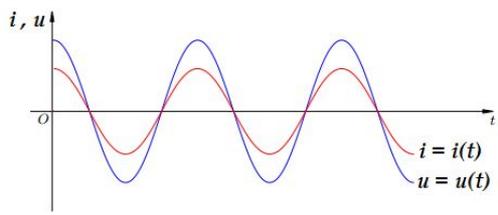
## Тип сопротивления

Активное

Емкостное

Индуктивное

График  
колебания  
силы тока и  
напряжения



Пояснение  
графиков

Колебания силы тока и  
напряжения совпадают  
по фазе