

# Переменный электрический ток

# Переменный электрический ток представляет собой вынужденные электромагнитные колебания.

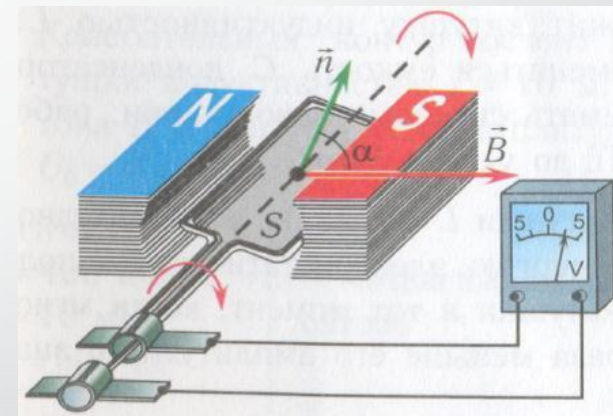
Простейшая модель генератора переменного тока- рамка, вращающаяся в магнитном поле. Поток магнитной индукции  $\Phi$ , пронизывающий рамку площадью  $S$ , пропорционален косинусу угла между нормалью к рамке и вектором магнитной индукции

$$\Phi = B S \cos \alpha$$

- При равномерном вращении рамки  $\alpha = 2\pi\nu t$
- Таким образом поток магнитной индукции меняется гармонически

$\Phi = B S \cos 2\pi\nu t$ ,  $\omega = 2\pi\nu$  –циклическая частота колебаний (число колебаний магнитного потока за  $2\pi$  секунд )

$$\Phi = B S \cos \omega t$$



# По закону электромагнитной индукции

$$e = -\Phi' = -BS(\cos \omega t)' = BS\omega \sin \omega t = \varepsilon_m \sin \omega t$$

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

$u = U_m \sin \omega t$ ,  $U_m$  – амплитуда напряжения

$i = I_m \sin(\omega t + \phi)$ ,  $I_m$  – амплитуда силы тока

$\phi$  – сдвиг фаз между током и напряжением

# Активное сопротивление-R

Потому что при наличии нагрузки, обладающей таким сопротивлением, цепь поглощает энергию, поступающую от генератора. Эта энергия превращается во внутреннюю энергию проводника.

Пусть напряжение на зажимах цепи меняется по гармоническому закону:

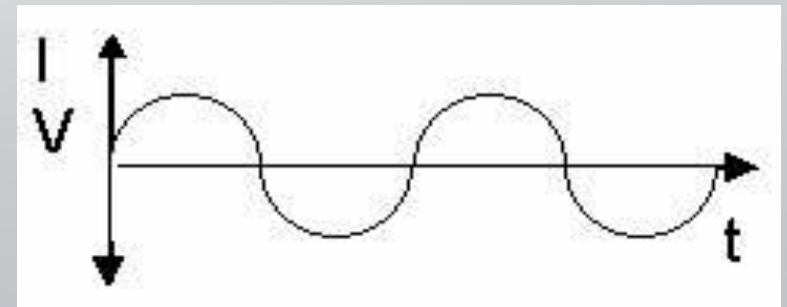
$$u = U_m \cos \omega t$$

• По закону 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 по фазе совпадают с колебаниями напряжения, а

амплитуда силы тока определяется

равенством:  $I_m = \frac{U_m}{R}$



# Мощность в цепи с резистором

В цепи переменного тока промышленной частоты сила тока и напряжение изменяются быстро, поэтому количество выделенной энергии также быстро будет меняться со временем.

Поэтому необходимо знать среднюю мощность тока на участке цепи за большой промежуток времени.

Мощность постоянного тока определяется по формуле:  $P=I^2 R$

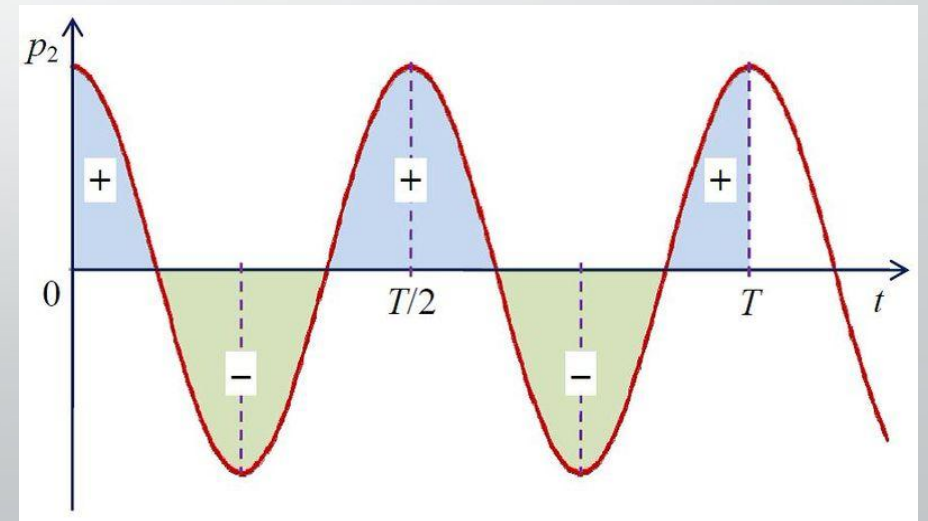
В цепи переменного тока на участке цепи с активным сопротивлением определяется по формуле:  $p=i^2 R$

Среднее значение мощности за период:

$$p = \frac{I_m^2}{2} R (1 + \cos 2\omega t) = \frac{I_m^2}{2} R + \frac{I_m^2}{2} R \cos 2\omega t$$

Среднее за период значение  $\cos 2\omega t = 0$

$$\text{Средняя за период мощность } \bar{p} = \bar{i}^2 R = \frac{I_m^2}{2} R$$



# Действующие значения силы тока и напряжения

Среднее за период значение квадрата силы тока  $\bar{i}^2 = \frac{I_m^2}{2}$

Величина, равная квадратному корню из среднего значения квадрата силы тока, называется действующим значением силы переменного тока

$$I = \sqrt{\bar{i}^2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Действующее значение силы переменного тока равно силе постоянного тока, выделяющего в проводнике то же количество теплоты, что и переменный ток за то же время.

Действующее значение напряжения определяется аналогично действующему значению силы тока:

$$U = \sqrt{\bar{u}^2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

# Конденсатор в цепи переменного тока

В цепи переменного тока, содержащей конденсатор, происходит периодическая зарядка и разрядка конденсатора под действием переменного напряжения.

Напряжение на конденсаторе  $u = \frac{q}{C} = U_m \cos \omega t$

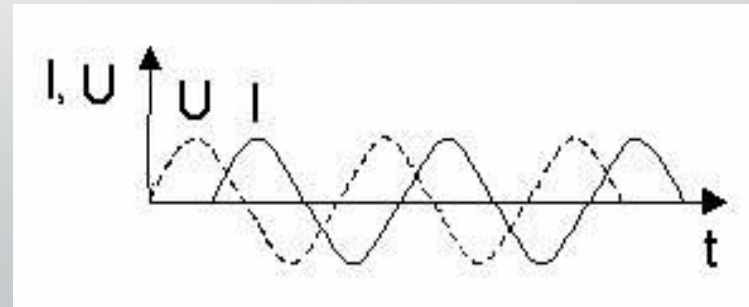
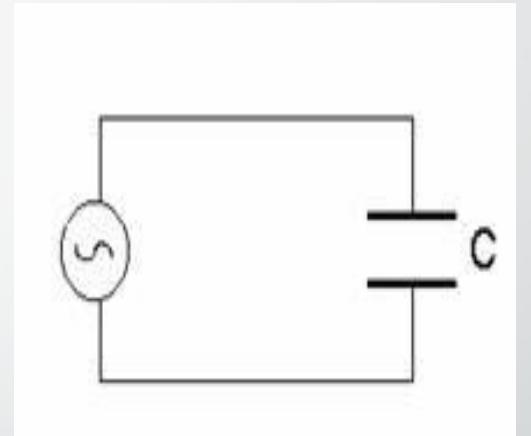
$$q = U_m C \cos \omega t$$

$$i = q' = -U_m C \omega \sin \omega t = U_m C \omega \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

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

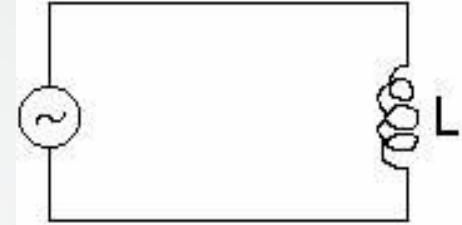
Амплитуда силы тока  $I_m = U_m C \omega$

•  $X_C = \frac{1}{C \omega}$  - емкостное сопротивление





# Катушка индуктивности в цепи переменного тока



Цепью переменного тока с индуктивным сопротивлением

представляет собой цепь с замкнутым конденсатором и  $U_L \gg U_R$

При быстром изменении напряжения сила тока не успевает достигать максимальных значений, ограничиваемых индуктивностью цепи.

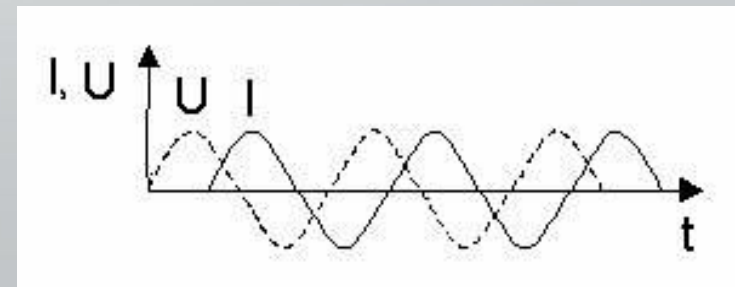
Так как активное сопротивление равно нулю, то  $e_i = -U$  и при изменении силы тока по гармоническому закону:  $i = I_m \sin \omega t$

ЭДС самоиндукции:  $e_i = -L i' = -L I_m \omega \cos \omega t$ , а  $U = L I_m \omega \cos \omega t =$

$L I_m \omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$ , где  $L I_m \omega = U_m$  - амплитуда напряжения.

Следовательно, колебания напряжения на катушке опережают колебания силы тока на  $\frac{\pi}{2}$ . По закону Ома  $I_m = \frac{U_m}{L \omega}$ ,

поэтому  $L \omega = X_L$  - индуктивное сопротивление цепи





# Резонанс в цепи переменного тока

Если активное сопротивление мало, то собственная частота колебаний в контуре:

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

При совпадении частоты собственных колебаний контура с частотой переменного напряжения, приложенного к контуру:  $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  сила тока вынужденных колебаний достигает максимальных значений.

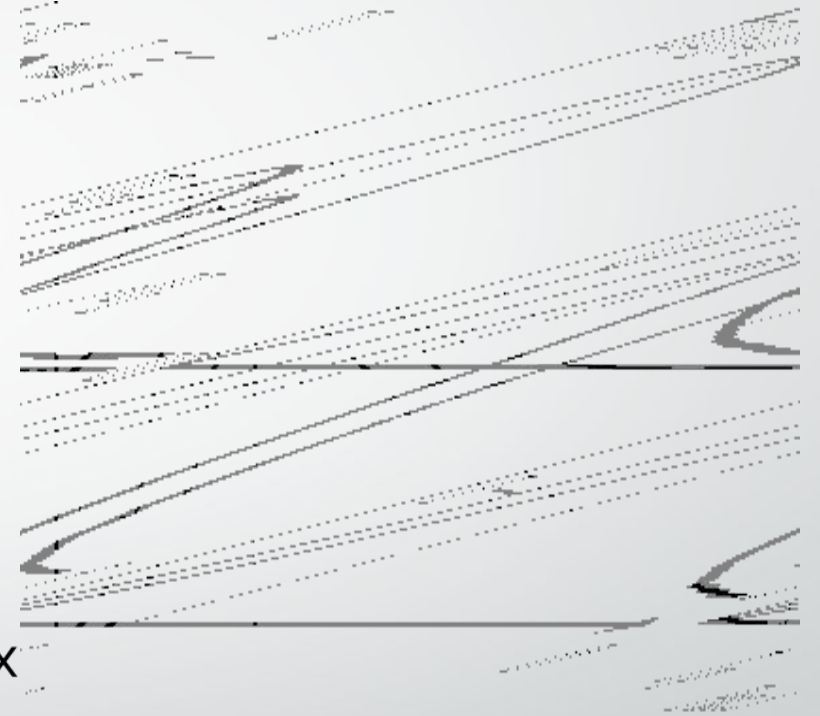
Явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний силы тока называется **резонансом** в электрическом колебательном контуре.

Амплитуда колебаний силы тока нарастает до тех пор, пока энергия, выделяющаяся за период на резисторе, не сравняется с энергией, поступающей в контур за то же

время:  $\frac{I_m^2 R}{2} = \frac{U_m I_m}{2}$ . следовательно:  $I_m R = U_m$  или

$I_m = \frac{U_m}{R}$  - амплитуда установившихся колебаний силы тока при резонансе.

При  $R \rightarrow 0$  резонансное значение силы тока неограниченно возрастает. Одновременно нарастает напряжение и на катушке  
• индуктивности и на конденсаторе, причем достигают значений, во много раз превышающих внешнее напряжение.



# Применение резонанса

Явление резонанса используется при осуществлении радиосвязи.

## Учет резонанса

Если электрическая цепь не рассчитана на работу в условиях резонанса, что приводит к перегреву проводов и к пробое изоляции.

# Домашнее задание

- §31-35, упр. 4 (5) уч-к Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б.