

## Тема: *Переменный электрический ток. Генератор переменного тока.*

Что такое вынужденные колебания? Когда речь шла о механических колебаниях, то они обладали некоторыми характеристиками, одной из которых является вынуждающая сила.

$$F_x(t) = F_m \cos \omega t$$

Теперь рассмотрим вынужденные электромагнитные колебания и определим, что является аналогом характеристик вынужденных механических колебаний в электромагнитных колебаниях.

$$q \leftrightarrow x \quad \vartheta \leftrightarrow I \quad m \leftrightarrow L$$

а аналогом силы является ЭДС или напряжение  $F \leftrightarrow \varepsilon, U$

Т.О. уравнение вынужденных электромагнитных колебаний примет вид:

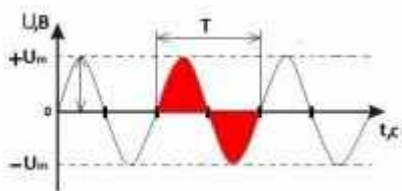
$$\left. \begin{aligned} \varepsilon(t) &= \varepsilon_m \cos \omega t \\ U(t) &= U_m \cos \omega t \end{aligned} \right\} \quad I(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi)$$

$\varphi$  -- сдвиг фаз колебаний между ЭДС (напряжением) и силой тока.

Выясним чему будет равняться  $I_m$  и  $\varphi$  в этой цепи. Каким образом можно получить вот такие, меняющиеся со временем  $\varepsilon(t)$  и  $U(t)$  меняющиеся со временем по гармоническим законам.

Ток меняющийся по закону  $I(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi)$  это **переменный ток** - Электрический ток, меняющий свою величину и направление с течением времени.

### Периодический переменный ток



Основные параметры переменного тока – период, частота и амплитуда.

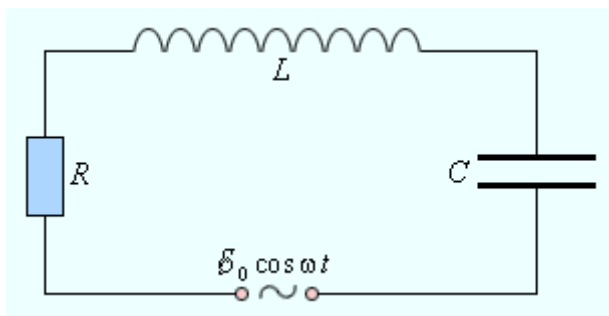
Представим, что за какое-то время  $T$  переменный ток пройдет цикл изменений и вернется к своему первоначальному значению. Следующий такой же цикл он также пройдет за такое же время  $T$ . Такой ток называется **периодическим переменным током**, а величина  $T$  -

**периодом** тока. Это наименьший промежуток времени, через который изменения силы тока и напряжения повторяются. Измеряется период в секундах.

Величина, обратная периоду, называется **частотой** тока ( $f$ ). Она отображает количество периодов (полных колебаний), которые ток проходит в единицу времени. Измеряется в герцах (Гц).

$$f = 1/T$$

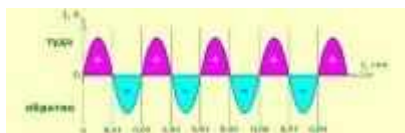
Переменный ток изменяется с частотой в 1 Гц, если его период равен 1 с.



В Беларуси, как и в большинстве стран мира, стандартная частота переменного тока в электротехнике 50 Гц. В США и Канаде – 60 Гц. В Японии же используются оба варианта. В западной части применяется частота 60 Гц, а в восточной – 50 Гц. Так случилось, потому что в 1895 г. для Токио были закуплены генераторы немецкой компании AEG, а немного позже для Осаки - американские генераторы General Electric. Так как приведение этих сетей к единому стандарту оказалось весьма дорогостоящим делом, то всё было оставлено как есть, а между сетями установили четыре преобразователя частоты.

Величину тока в данный момент времени называют **мгновенным значением переменного тока**. Его максимальное значение называется амплитудой и обозначается  $I_m$ .

### Синусоидальный ток



Наиболее распространён в электротехнике **синусоидальный ток**. Это периодический переменный ток, изменяющийся по закону синуса:

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

где  $i$  – значение тока в любой момент времени  $t$ ;

$I_m$  – мгновенное значение синусоидального тока;

$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ , где  $\omega$  – угловая частота;  $\psi$  – начальная фаза переменного синусоидального тока (фаза в момент времени  $t = 0$ ).

Наибольшее положительное или отрицательное значение переменного тока называют **амплитудой**.

График переменного синусоидального тока представляет собой **синусоиду**.

Два синусоидальный тока совпадают по фазе, если они одновременно достигают максимальных и нулевых значений. Если же их фазы различны, то говорят, что токи сдвинуты по фазе.

Как же определить величину переменного синусоидального тока?

Переменный синусоидальный ток, как и постоянный, обладает тепловым действием. Сравнив его тепловое действие с тепловым действием постоянного тока, можно судить о его величине.

Согласно закону Джоуля-Ленца количество теплоты  $Q$ , выделяемое на участке электрической цепи за время  $t$  при прохождении тока, определяется следующей формулой:

$$Q = I^2 R t,$$

где  $I$  – величина тока;  $R$  – электрическое сопротивление.

*Если два тока, постоянный и переменный, протекая через одинаковые по величине сопротивления, за одинаковое время выделяют одинаковое количество тепла, то они считаются эквивалентными по тепловому действию.*

Величина постоянного тока, который произвёл такое же количество теплоты, что и переменный ток за такое же время, называется **действующим значением переменного синусоидального тока**.

Величина действующего значения синусоидального тока связана с его амплитудой соотношением:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Рассмотрим по отдельности случаи подключения внешнего источника переменного тока к резистору с сопротивлением  $R$ , конденсатору с ёмкостью  $C$  и катушки с индуктивностью  $L$ . Во всех трех случаях напряжение на резисторе, конденсаторе и катушке равно напряжению источника переменного тока.

### 1. Резистор в цепи переменного тока

$$J_R R = u_R = U_R \cos \omega t; \quad J_R = \frac{U_R}{R} \cos \omega t = I_R \cos \omega t.$$

Здесь через  $I_R$  обозначена амплитуда тока, протекающего через резистор. Связь между амплитудами тока и напряжения на резисторе выражается соотношением

$$RI_R = U_R$$

Фазовый сдвиг между током и напряжением на резисторе равен нулю.

Физическая величина  $R$  называется активным сопротивлением резистора.

### 2. Конденсатор в цепи переменного тока

$$u_C = \frac{q}{C} = U_C \cos \omega t;$$

$$J_C = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt} = CU_C (-\omega \sin \omega t) = \omega CU_C \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = I_C \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Соотношение между амплитудами тока  $I_C$  и напряжения  $U_C$ :

$$\frac{1}{\omega C} I_C = U_C.$$

Ток опережает по фазе напряжение на угол  $\frac{\pi}{2}$ .

Физическая величина  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  называется емкостным сопротивлением конденсатора.

### 3. Катушка в цепи переменного тока

$$u_L = L \frac{dJ_L}{dt} = U_L \cos \omega t;$$

$$J_L = \int \frac{U_L}{L} \cos \omega t dt = \frac{U_L}{\omega L} \sin \omega t = \frac{U_L}{\omega L} \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) = I_L \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

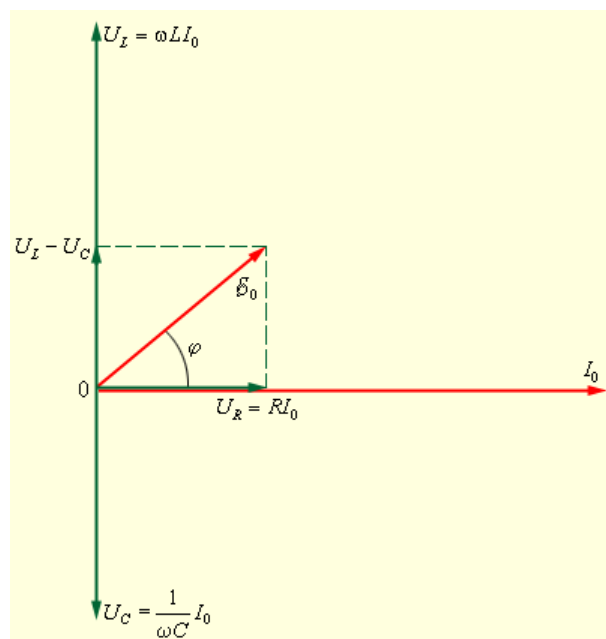
Соотношение между амплитудами тока  $I_L$  и напряжения  $U_L$ :

$$\omega L I_L = U_L.$$

Ток отстает по фазе от напряжения на угол  $\frac{\pi}{2}$ .

Физическая величина  $X_L = \omega L$  называется индуктивным сопротивлением катушки.

Теперь можно построить векторную диаграмму для последовательного RLC-контура, в котором происходят вынужденные колебания на частоте  $\omega$ . Поскольку ток, протекающий через последовательно соединенные участки цепи, один и тот же, векторную диаграмму удобно строить относительно вектора, изображающего колебания тока в цепи. Амплитуду тока обозначим через  $I_0$ . Фаза тока принимается равной нулю. Это вполне допустимо, так как физический интерес представляют не абсолютные значения фаз, а относительные фазовые сдвиги. Векторная диаграмма для последовательного RLC-контура изображена на рис. 2.



Амплитуда тока принимает максимальное значение при условии

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$$

Явление возрастания амплитуды колебаний тока при совпадении частоты  $\omega$  колебаний внешнего источника с собственной частотой  $\omega_0$  электрической цепи называется **электрическим резонансом**. При резонансе

$$(I_0)_{\text{рез}} = \frac{\mathcal{E}_0}{R}.$$

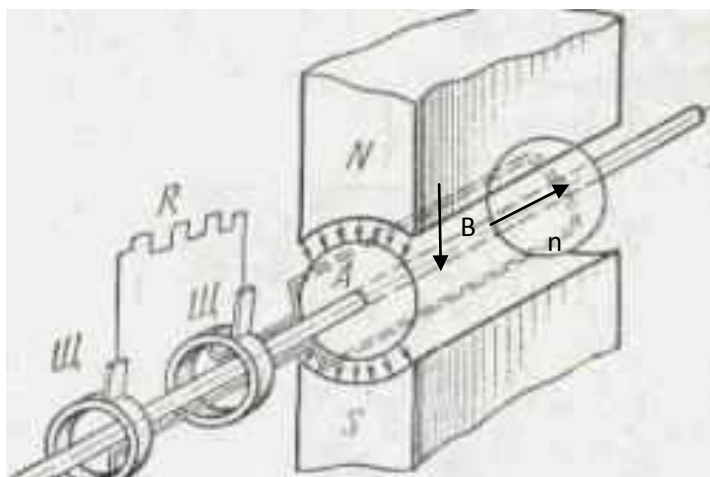
Сдвиг фаз  $\varphi$  между приложенным напряжением и током в цепи при резонансе обращается в нуль. Резонанс в последовательной RLC-цепи называется резонансом напряжений. Аналогичным образом с помощью векторной диаграммы можно исследовать явление резонанса при параллельном соединении элементов  $R$ ,  $L$  и  $C$  (так называемый **резонанс токов**).

### **Генератор переменного тока**

Задача генератора переменного тока, создать меняющееся ЭДС и напряжение. Как это сделать?

В основе практически всех генераторов лежит вращающаяся рамка в магнитном поле.

Рассмотрим простейшую рамку, состоящую из одного витка. Пусть магнитное поле создается постоянным магнитом.



$B$  - вектор магнитной индукции

$n$ - нормаль к поверхности рамки.

Рамка - это контур, находящийся в магнитном поле, следовательно в этом контуре создается магнитный поток.

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

Если рамка вращается, то угол  $\alpha$  меняется с течением времени

$$\alpha = \omega t + \varphi_0$$

$\varphi_0$

– это начальный угол, между нормалью к рамке и вектором магнитной индукции

т.к.  $\alpha$  меняется с течением времени, то и  $\Phi$  меняется со временем

$$\Phi(t) = BS \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Если в контуре меняется магнитный поток, то в ней возникает ЭДС по закону Фарадея.

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$

тогда,  $\varepsilon_i = BS \sin(\omega t + \varphi_0) \omega$

пусть  $\varphi_0 = \pi/2$ , тогда с помощью формул приведения получим

$$\varepsilon_i = BS \omega \cos \omega t \quad \text{или} \quad \varepsilon_i = \varepsilon_m \cos \omega t$$

где  $\varepsilon_m = BS \omega$

Если витков не 1, а  $N$ , то в каждой витке возникает ЭДС, а т.к. витки соединены последовательно (один за другим), то при последовательном соединении ЭДС складывается.

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_m \cos \omega t$$

$$\varepsilon_m = NBS \omega$$

$$U(t) = U_m \cos \omega t \quad u_m = NBS \omega$$

Вращающаяся часть генератора - ротор

Неподвижная часть генератора - статор.