

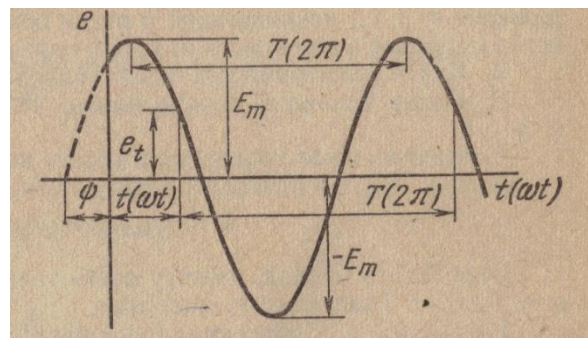
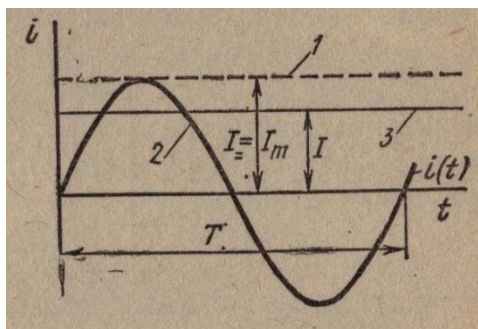
Схема RLC последовательная, параллельная и при переменном токе

Ознакомьтесь с информацией ниже.

Общие характеристики переменного тока.

Переменный ток (на английском языке *Alternating Current* – AC) – это [электрический ток](#), направление и значение которого периодически меняются по закону синуса или косинуса. Обычная форма волны переменного тока – это синусоида.

a)
b)



**Рисунок. 1-Общие характеристики переменных величин:
a) - переменный ток; b) - переменная ЭДС**

Переменный ток возникает в результате применения переменной электродвижущей силы (**Рисунок 1**) в электрической цепи. Переменная (синусоидальная) форма напряжения/тока представляет собой обычный способ генерации, транспортировки и распределения электроэнергии. Переменный ток является основой для работы большинства электроприборов благодаря своим значительным преимуществам перед постоянным током:

- Переменный ток можно легко получить из других видов энергии;
- Переменный ток может передаваться на большие расстояния с малыми потерями по линиям электропередачи;
- Переменный ток может быть легко преобразован с помощью электрических трансформаторов;
- Электроприборы переменного тока проще в изготовлении, надежнее в работе и дешевле по стоимости;
- Переменный ток технически и экономически более эффективен, чем постоянный.

Характерные параметры переменного тока:

Значение переменного тока в данный момент времени называется **мгновенным значением переменного тока**. Аналитическая форма мгновенного значения однофазного переменного тока:

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

Переменный ток, являясь периодическим явлением, характеризуется величинами:

♦ **Период** (T) – это временной интервал, по истечении которого сила переменного тока и напряжение проходят через одинаковые значения, в одном направлении, т. е. совершают полное (синусоидальное) колебание. Единицей измерения периода в СИ является: $[T] = 1 \text{ с}$.

♦ **Частота** (f) – это количество полных колебаний, выполненных в единицу времени (секунда). Частота является обратной величиной по отношению к периоду:

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

Единицей измерения частоты в СИ является $[f] = \frac{1}{s} = 1 \text{ Гц (Герц)}$. Герц – это частота переменного тока с периодом в одну секунду.

Частота промышленного переменного тока в европейских странах составляет 50 Гц, а в Америке и Австралии – 60 Гц.

♦ **Амплитуда** – это максимальное значение, которое переменное напряжение или сила переменного тока имеют в течение периода и обозначается E_m, U_m, I_m .

♦ **Мгновенное значение** – это значение, которое переменное напряжение или сила переменного тока имеют в определенный момент времени и обозначаются (e, u, i).

♦ **Частота (ω)** – это количество периодов, выполненных в 2π единиц времени.

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

Единица измерения частоты в СИ: $[\omega] = \text{рад} / \text{с} \frac{\text{rad}}{s}$

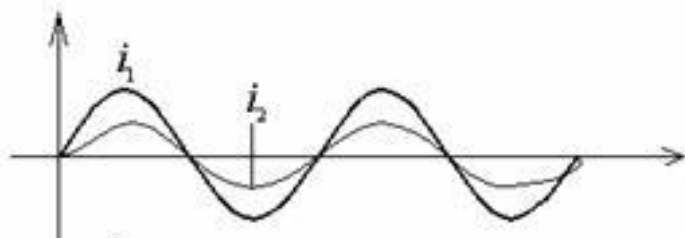
♦ **Фаза** переменной величины – это аргумент синуса выражения для мгновенного значения силы тока и напряжения, соответственно.

$$\varphi = \omega t \pm \varphi_1$$

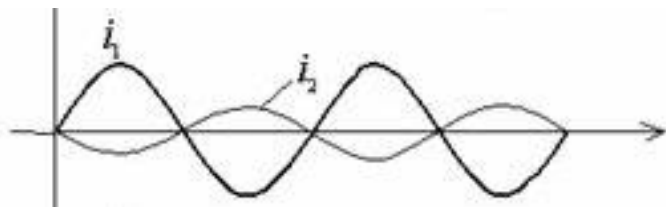
$\pm \varphi_1$ – это *начальная фаза*, которая показывает значение фазы переменной величины при $t = 0$, см. **рисунок 1.1.b**. В случае, когда начальная фаза положительна ($+\varphi_1$), это означает, что переменная величина прогрессирует по отношению к $t = 0$ и ее синусоида смещена влево относительно начала координат. Если начальная фаза отрицательна ($-\varphi_1$), это означает, что переменная величина отстает от $t=0$ и его синусоида смещена вправо от начала координат.

Разность начальных фаз двух синусоидальных величин одинаковой частоты или пульсации называется **разностью фаз** или **фазовым смещением**:

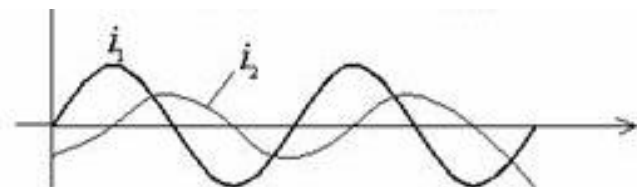
Две переменные величины совпадают по фазе, если разность фаз между ними равна нулю. В этом случае величины проходят одновременно через нуль, максимум или минимум.



Две переменные величины находятся в противофазе, если разность фаз между ними составляет $\pm \pi$ радиан. В этом случае одновременно одна из них имеет положительный максимум, а другая – отрицательный.



Две переменные величины находятся в квадратуре, если разность фаз между ними составляет $\pm\pi/2$ радиана. В этом случае одна из них имеет положительный максимум или отрицательный максимум, а другая обнулена (см. рисунок 1.5).



Производство переменного тока

Синусоидальная электродвижущая сила создается за счет явления электромагнитной индукции в генераторах переменного напряжения, которые установлены на электростанциях. Переменная ЭДС в электрогенераторах достигается путем:

- равномерное вращение одного витка в однородном магнитном поле;
- равномерное вращение магнита перед неподвижной катушкой (переменное магнитное поле).

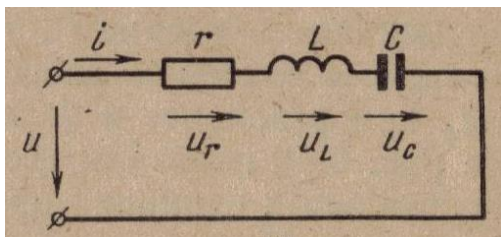
В **Приложении 2** представлен принцип работы простейшего генератора переменной ЭДС, рассматриваемого как одиночная прямоугольная катушка, вращающаяся с постоянной угловой скоростью ω вокруг своей оси, в однородном магнитном поле магнитной индукции B , создаваемом двумя магнитными полюсами север – N и юг – S .

Пусть через последовательно подключенную цепь R - L - C пропускается синусоидальный ток:

$$I = I_m \sin \omega t$$

Исходя из теоремы Кирхгофа II, для мгновенных значений, для цепи, показанной на **рисунке 2.16**, можно записать:

$$u = u_R + u_L + u_C = iR + iX_L + iX_C$$



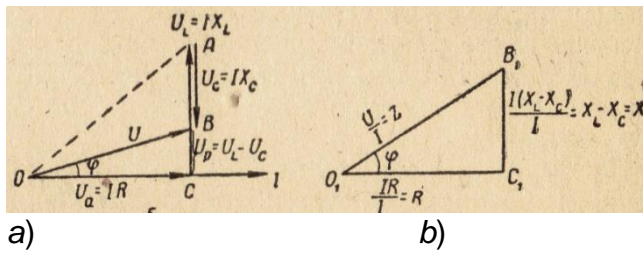
Последовательно подключенная цепь R - L - C с переменным током

Для объяснения процессов, происходящих в цепи, построим векторную диаграмму для последовательной цепи R - L - C , учитывая, что напряжение на резисторе – U_R совпадает по фазе с током; напряжение на индуктивном сопротивлении – U_L опережает ток на $+90^\circ$; напряжение на емкостном сопротивлении – U_C отстает от тока на -90° .

В цепи R - L - C возможны три случая: $X_L > X_C$, $X_L < X_C$ и $X_L = X_C$.

1. Пусть $X_L > X_C$. Откладываем вектор тока I по горизонтали. Откладываем вектор U_R в направлении тока. Из его конца строим вектор U_L под углом $+90^\circ$, направляя его перпендикулярно току. Из конца вектора U_L строим вектор U_C под

углом -90° , направляя перпендикуляр вниз к вектору тока. Геометрическая сумма этих векторов дает вектор напряжения, приложенный к цепи.



а) Векторная диаграмма; б) треугольник резисторов для случая $X_L > X_C$.

Из векторной диаграммы видно, что для случая $X_L > X_C$, приложенное напряжение U опережает ток I на угол $\varphi < \frac{\pi}{2} = 90^\circ$, таким образом, последовательная цепь RLC имеет индуктивный характер. Треугольник ОВС (рисунок 2.17.б), показывает треугольник сопротивлений для этого случая.

Используя векторный метод, из рисунка 2.17.а видно, что U – вектор напряжения на выводах схемы задается, согласно теореме Пифагора, отношением:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \quad (2.55)$$

Подставляя напряжения в зависимости от силы тока в цепи, получаем:

$$U = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Разность фаз между напряжением на зажимах цепи и силой тока в цепи составляет:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R} \Rightarrow \varphi = \operatorname{arctg} \frac{X_L - X_C}{R}$$

Если каждую сторону треугольника напряжений разделить на действующее значение тока I тогда мы получим треугольник, называемый также **треугольником**

резисторов (см. рисунок 2.17.б). В треугольнике резисторов катет $R = \frac{U_R}{I}$

называется **активным сопротивлением**; катет $X_L = \frac{U_L}{I}$ называется

индуктивным сопротивлением; катет $X_C = \frac{U_C}{I}$ называется **емкостным**

сопротивлением; гипотенуза $Z = \frac{U}{I}$ называется **импедансом**. Из треугольника резисторов следует:

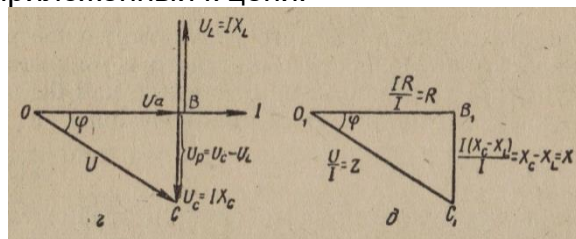
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}; R = Z \cdot \cos \varphi; X = X_L - X_C = Z \cdot \sin \varphi$$

Угол фазового смещения между приложенным напряжением и током, согласно треугольнику резисторов, может быть определен с помощью одного из соотношений:

$$\sin \varphi = \frac{X_L - X_C}{Z}; \cos \varphi = \frac{R}{Z}; \operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

2. Предположим $X_L < X_C$. Откладываем вектор тока I по горизонтали. Откладываем вектор U_R в направлении тока. Из его конца строим вектор U_L под углом -90° , направляя его перпендикулярно току. Из конца вектора U_L , строим вектор U_C под углом -90° , направляя перпендикуляр вниз к вектору тока (см. рисунок

2.18.а). Геометрическая сумма этих векторов дает вектор напряжения, приложенный к цепи.



а) **Рисунок 2.18** – а) векторная диаграмма; б) треугольник резисторов для случая $X_L < X_C$

Из векторной диаграммы видно, что для случая $X_L < X_C$, приложенное напряжение U он отстает от тока I на угол $\varphi < -\frac{\pi}{2} = -90^\circ$ таким образом, последовательная RLC-цепь имеет емкостный характер. Треугольник OBC (**рисунок 2.18.б**), показывает треугольник сопротивлений для этого случая.

Если каждую сторону треугольника напряжений разделить на действующее значение тока I тогда мы получим треугольник, называемый также **треугольником резисторов** (см. **рисунок 2.18.б**).

3. Предположим $X_L = X_C$. Из векторной диаграммы для этого случая видно, что приложенное напряжение U совпадает по фазе с током I (см. **рисунок 2.19**) и угол фазового смещения $\varphi = 0^\circ$ таким образом, последовательная RLC-цепь имеет чисто активный характер – явление, называемое *резонансом напряжений*, которое будет проанализировано отдельно.

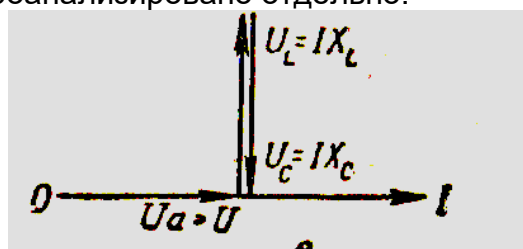


Рисунок 2.19 – Векторная диаграмма для случая $X_L = X_C$

Резонанс токов возникает в параллельной RLC-цепи переменного тока (также называемой параллельным колебательным контуром), когда индуктивная проводимость цепи равна ее емкостной проводимости, или $B_L = B_C$ – это и есть *условие резонанса*. Принципиальная схема параллельной RLC-цепи представлена на рисунке ниже.

Работа параллельной RLC-цепи, питаемой переменным напряжением в режиме резонанса, называется **резонансом токов**.

При резонансе токов имеем:

$B_C = B_L$; или $2\pi fC = \frac{1}{2\pi \cdot fL}$; откуда следует известное соотношение Томсона для резонансной частоты:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

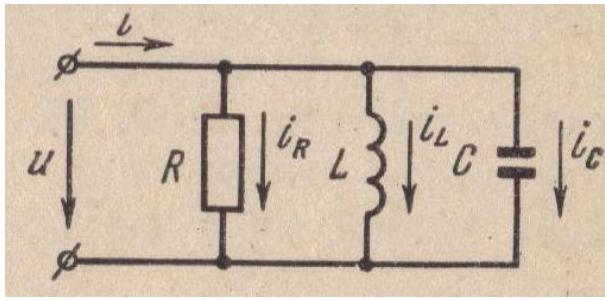


Схема параллельной RLC-цепи

Из соотношения Томсона следует, что резонанс токов может быть достигнут следующими процедурами

- а) путем изменения индуктивности катушки;
- б) путем изменения емкости конденсатора;
- с) путем изменения частоты питающего напряжения.