



«ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»



Литература

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
Сибирский колледж транспорта и строительства

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
по учебной дисциплине
ОП.02. Электротехника и электроника
по специальности
08.02.10 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство
базовая подготовка среднего профессионального образования

Иркутск 2018

Теоретические сведения

Теоретические сведения:

Параметры переменного электрического тока:

1. **Период T** (рис.3) – время, в течении которого происходит весь цикл изменения переменных ЭДС, тока или напряжения; измеряется в секундах (с).
2. **Частота f** – величина, обратная периоду, показывающая, сколько периодов содержится в 1 секунде (или число оборотов ротора в секунду); единица измерения *Герц* (Гц):

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

стандартная частота в России $f_{ст} = 50 \text{ Гц}$

3. **Угловая частота ω** – скорость изменения угла α в течение времени t , единица измерения радиан в секунду (*рад/с*):

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \Rightarrow \alpha = \omega t \Rightarrow t = \frac{\alpha}{\omega}$$

На практике для России $\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}$

4. **Амплитудные значения тока I_m , напряжения U_m , эдс E_m** (рис.3) – максимальные значения мгновенных величин тока, напряжения и ЭДС.
5. **Мгновенные значения тока i , напряжения u , эдс e** в времени. Изменяются по синусоидальному закону:

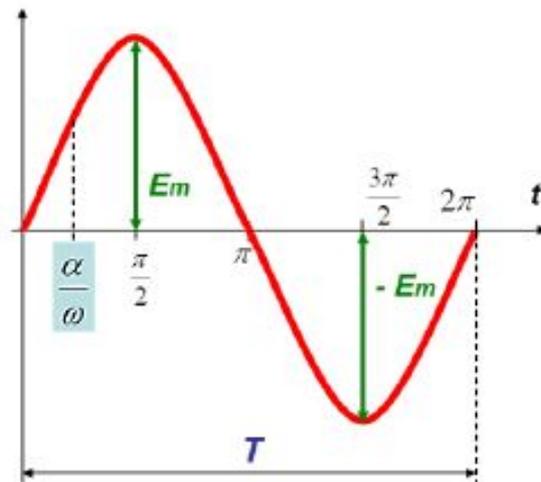


рис.3

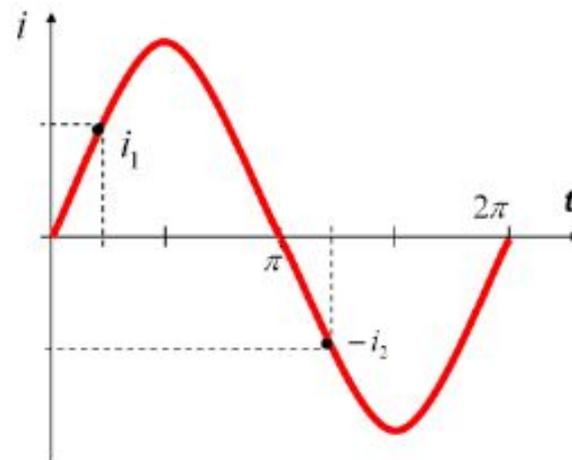


рис.4

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

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

$$e = E_m \sin \omega t$$

6. Действующие значения тока I , напряжения U и эдс E - вводятся для измерения синусоидальных величин тока, напряжения и ЭДС.

Действующие значения синусоидальных величин наносятся на шкалы

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

электроизмерительных приборов, измеряющих переменные значения

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m$$

Действующее значение переменного тока равно такому постоянному току, который за время, равное одному периоду, выделяет на резисторе одинаковое количество теплоты с переменным током

Не всегда начальный момент отсчета времени $t_1 = 0$ совпадает с прохождением через ноль синусоидальной величины, и в связи с этим на графике вектор I_m в начальный момент времени образует с горизонтальной осью некоторый угол α .

При этом в момент начала отсчета времени синусоидальная величина имеет значение:

Угол α (рис.5) называется *начальным фазовым углом* или *начальной фазой*:

$$i_1 = I_m \sin(\omega t_1 + \alpha) = I_m \sin \alpha$$

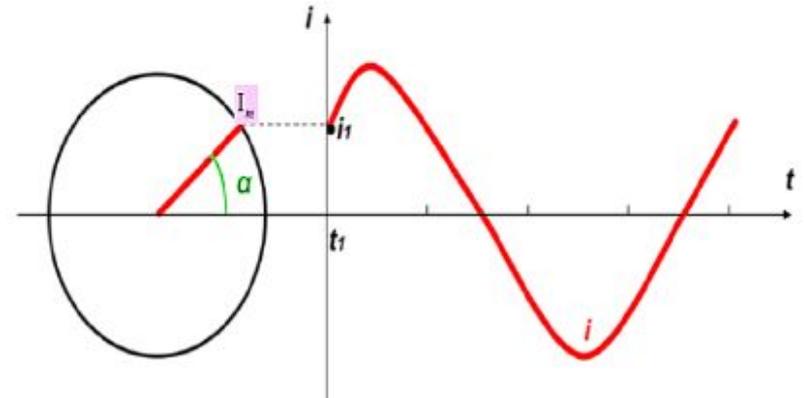


рис.5

Сдвиг фаз синусоидальных величин.

При вращении ротора с двумя укрепленными на нем витками e_1 и e_2 , в них будет индуцироваться ЭДС одинаковой частоты и с одинаковыми амплитудами (рис.6)

В следствие сдвига витков относительно друг друга в пространстве ЭДС достигают амплитудных значений не одновременно:

где α_1 и α_2 начальные фазы, определяют величину смещения синусоид e_1 и e_2 относительно начала координат графика.

$$\begin{aligned} e_1 &= E_m \sin(\omega t + \alpha_1) \\ e_2 &= E_m \sin(\omega t + \alpha_2) \end{aligned}$$

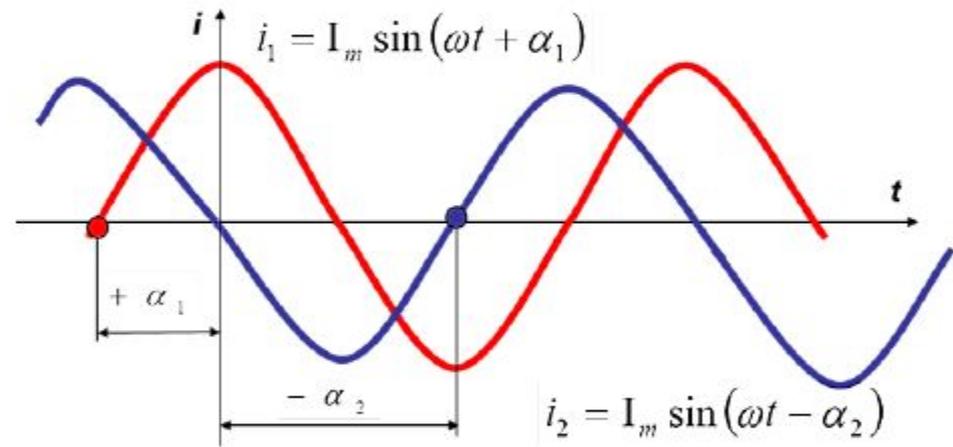


рис.6

Разность начальных фаз двух синусоидальных величин называется *сдвигом фаз* (рис.7):

$$\varphi = \alpha_1 - \alpha_2$$

Началом периода называется момент времени, в котором синусоидальная величина проходит через нулевое значение, после которого начинается её положительное значение.

Начальная фаза α отсчитывается по оси t от начала периода синусоиды до начала координат.

При $\alpha > 0$ – начало синусоиды сдвигается влево от начала координат

При $\alpha < 0$ – начало синусоиды сдвигается вправо от начала координат.

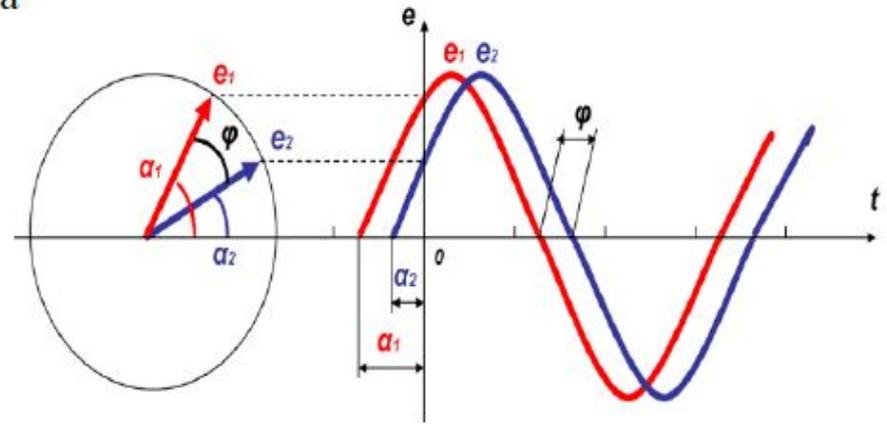


рис.7

Синусоида, у которой начало периода возникает слева на графике раньше, чем у другой – считается опережающей по фазе; а та, у которой позже – отстающей по фазе.

Методические указания к решению задачи 3

Расчет неразветвленных электрических цепей переменного тока

Теоретические сведения

Участки цепи, где происходит в основном преобразование электромагнитной энергии в тепловую, обладают сопротивлением, которое называется *активным сопротивлением* и обозначается – R_a

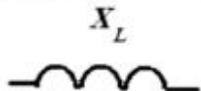
a - величина, характеризующая сопротивление цепи переменному току:

На таком участке включены резисторы, лампы накаливания, электронагревательные устройства, а также ферромагнитные сердечники различных электротехнических устройств

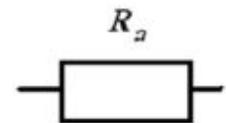
Участки цепи, где выражены в основном магнитные поля, обладают индуктивностью, которое называется *реактивным индуктивным сопротивлением* и обозначается – χ_L

$$\chi_L = \omega \cdot L \quad \text{единица измерения (Ом)}$$

На таком участке цепи включены индуктивные катушки различных электротехнических устройств (например обмотки полюсов электрических машин, обмотки трансформаторов).



Обозначение на схеме



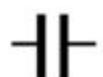
Обозначение на схеме

$$R_a = \frac{U}{I}$$

единица измерения (Ом)

Участки цепи, где выражены в основном электрические поля, обладают емкостью, которое называется *реактивным емкостным сопротивлением* и обозначается – χ_c

$$\chi_c = \frac{1}{X_c \omega \cdot C} \quad \text{единица измерения (Ом)}$$

 Обозначение на схеме

На таком участке цепи включены конденсаторы, электрические кабели.

Однофазные электрические цепи, включающие вышеперечисленные параметры, называются цепями с сосредоточенными параметрами и позволяют изучить свойства отдельных участков цепи, обладающих *смешанными соединениями*:

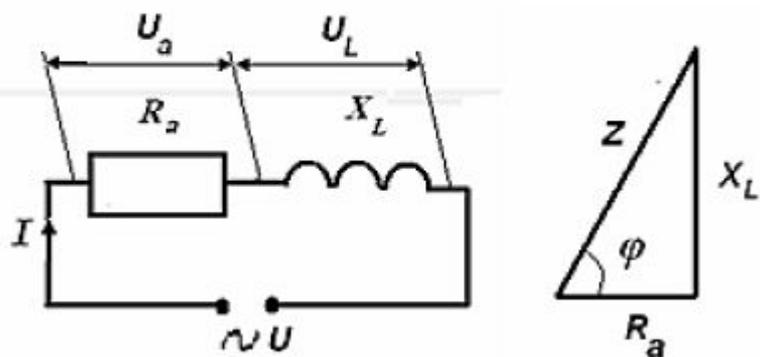
Закон Ома для цепей переменного тока

$$I = \frac{U}{Z}$$

Для цепей переменного тока для *смешанных соединений* в закон Ома вводится понятие *полного сопротивления цепи* Z , в котором учитываются все виды сопротивлений.

Z определяется из треугольника сопротивлений:

для активно - индуктивной цепи



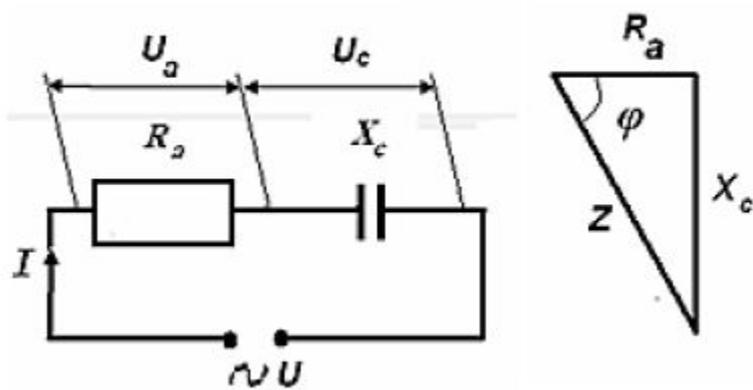
$$Z = \sqrt{R_a^2 + \chi_L^2}$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{R_a^2 + \chi_L^2}}$$

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{R_a}{Z}$$

$$\sin \varphi = \frac{U_L}{U} = \frac{\chi_L}{Z}$$

для активно - емкостной цепи



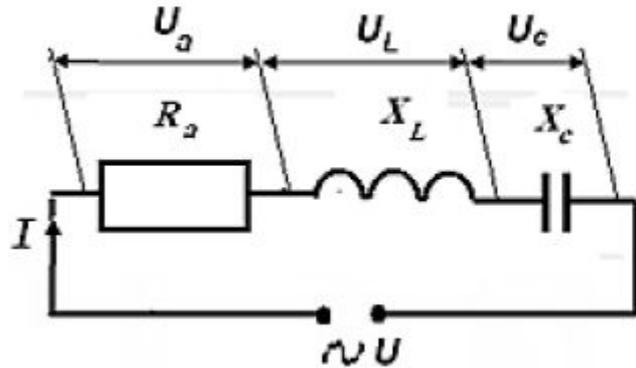
$$Z = \sqrt{R_a^2 + \chi_c^2}$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{R_a^2 + \chi_c^2}}$$

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{R_a}{Z}$$

$$\sin \varphi = \frac{U_c}{U} = \frac{\chi_c}{Z}$$

для активно - индуктивно - емкостной цепи

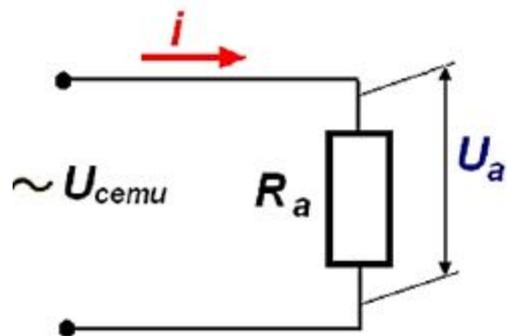


$$Z = \sqrt{R_a^2 + (\chi_L - \chi_C)^2} \quad \text{для} \quad \chi_L > \chi_C$$

$$Z = \sqrt{R_a^2 + (\chi_C - \chi_L)^2} \quad \text{для} \quad \chi_C > \chi_L$$

$$I = \frac{U}{Z}$$

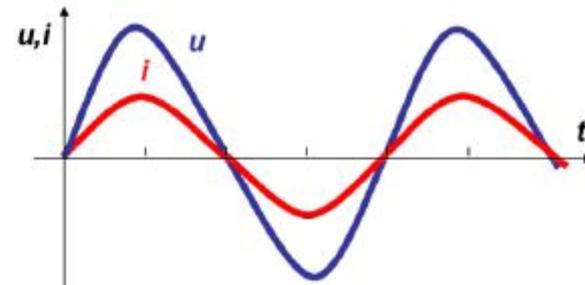
Цепи с активным сопротивлением



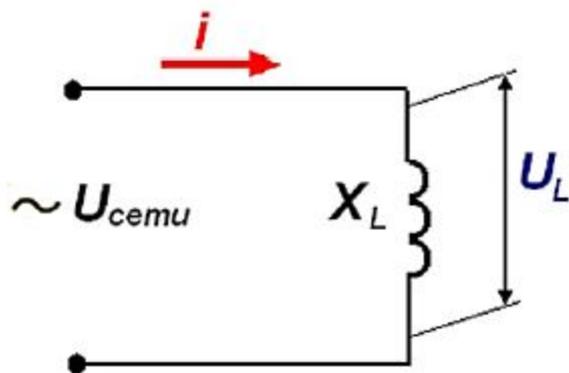
В проводнике с активным сопротивлением колебания тока по фазе совпадают с колебаниями напряжения, т.е. $\angle \varphi = 0$

На

векторной диаграмме показывается совпадение I и U в виде параллельных векторов.



Цепи с индуктивным сопротивлением

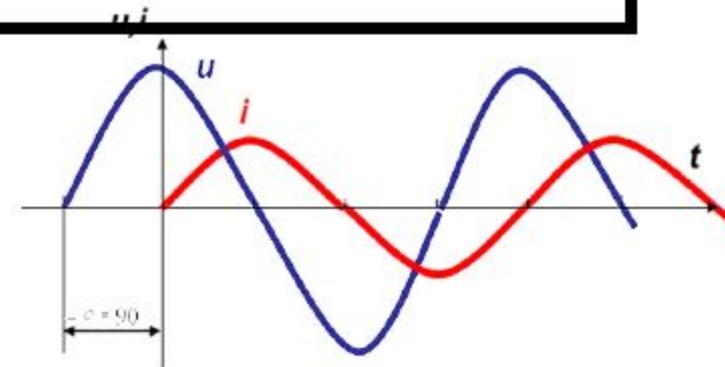
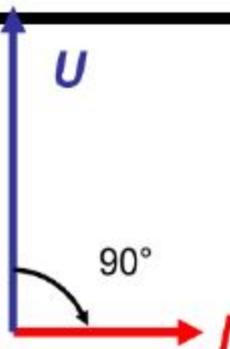


Ток в цепи с индуктивностью отстает от напряжения этой цепи 1/4 периода, или $\angle \varphi = 90^\circ$

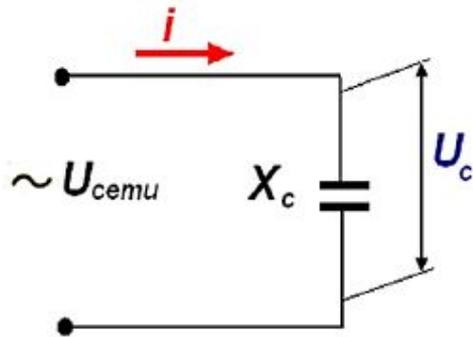
На

векторной

диаграмме отставание тока от напряжения показывается по часовой стрелке:



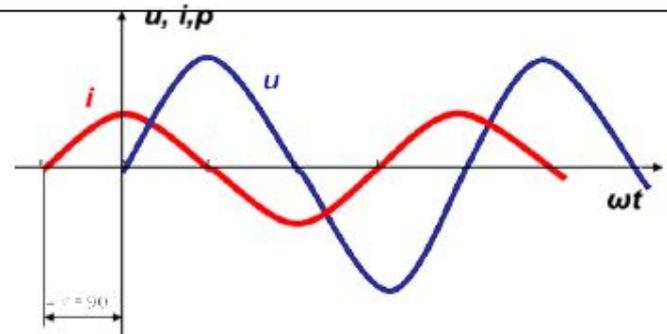
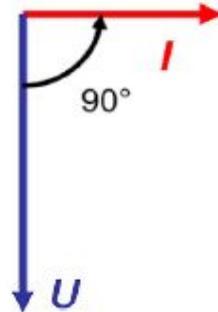
Цепи переменного тока с емкостным сопротивлением



На векторно
й

диаграмме опережение I относительно U показывается против часовой стрелки.

Ток в цепи с емкостью в своих изменениях опережает по фазе напряжение конденсатора на $1/4$ периода, или $\angle \varphi = 90^\circ$



ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Исходные данные

Практическая работа №2

цепь с активным сопротивлением

Бригады	1	2	3	4	5	6
$U_{\text{дейст.}}$, В	20	40	60	80	100	120
$I_{\text{дейст.}}$, А	4	6	8	10	12	14
φ , град п.	-10	-5	0	5	10	0
R_{a1} , Ом	100	100	100	100	100	100
f , Гц	50	60	50	60	50	60
цепь с индуктивным сопротивлением						
L , Гн	2	1	2	2	2	1
цепь с ёмкостным сопротивлением						
C , мФ	20	10	20	10	20	10
<u>Практическая работа №3</u>						
цепь с дополнительным сопротивлением						
R_{a2} , Ом	150	150	100	100	150	150

ЦЕЛЬ -ОПРЕДЕЛИТЬ:

1. Амплитуду тока
2. Действующее значение тока
3. Начальную фазу тока
4. Угловую частоту
5. Частоту
6. Период
7. Мгновенное значение тока в начальный момент времени
8. Сдвиг по фазе между заданными токами
9. Построить график токов и круговую диаграмму

Цели с:

- активным сопротивлением;
- индуктивным сопротивлением;
- емкостным сопротивлением

Расчетная схема

Амплитудные значения тока I_m $i = I_m \cdot \sin(\omega t + \alpha)$

$$I_{m1} = 15 \text{ A} \quad I_{m2} = 25 \text{ A}$$

2. Действующие значения тока $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot I_m$

$$I_1 = \frac{15}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot 15 = 10,6 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{25}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot 25 = 17,7 \text{ A}$$

Угол α (начальная фаза) $\alpha_1 = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$ $\alpha_2 = -\frac{\pi}{6} = -30^\circ$

1. Угловая частота ω (рад/с) $\omega = 314 \text{ рад/с}$

5. Частота f (Гц)

6. Период T (с) $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2 \cdot 3,14} = 50 \text{ Гц}$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ с}$$

7. Мгновенное значение тока в начальный момент времени

$$i_1 = 15 \sin \left(314 \cdot 0 + \frac{\pi}{2} \right) = 15 \cdot \sin \frac{\pi}{2} = 15 \cdot 1 = 15 \text{ A}$$

$$i_2 = 25 \sin \left(314 \cdot 0 - \frac{\pi}{6} \right) = 25 \cdot \sin \left(-\frac{\pi}{6} \right) = 25 \cdot \sin \frac{11\pi}{6} = 25 \cdot (-0,5) = -12,5 \text{ A}$$

8. Сдвиг по фазе между заданными токами

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \left(-\frac{\pi}{6}\right) = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6} = \frac{2\pi}{3} = 120^\circ$$

Построение графика токов

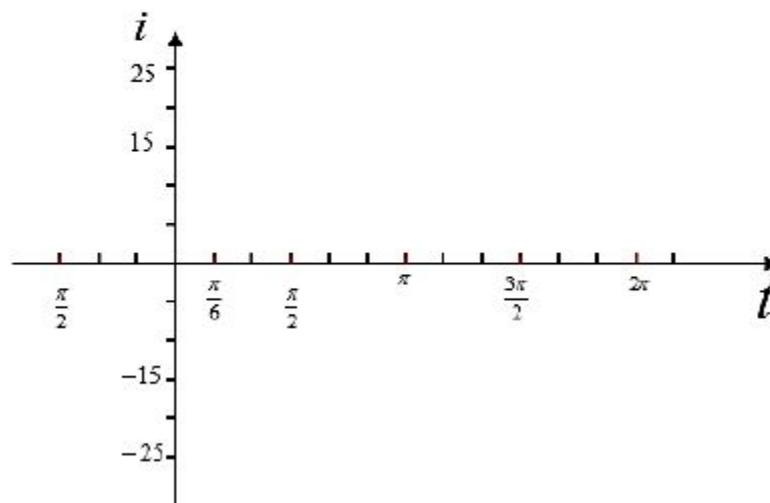
1. Для построения графиков токов подготовим координатную сетку

а) Отложить на оси t фазные углы,
измеряемые в радианах



в) Отложить по оси i
амплитудные значения токов

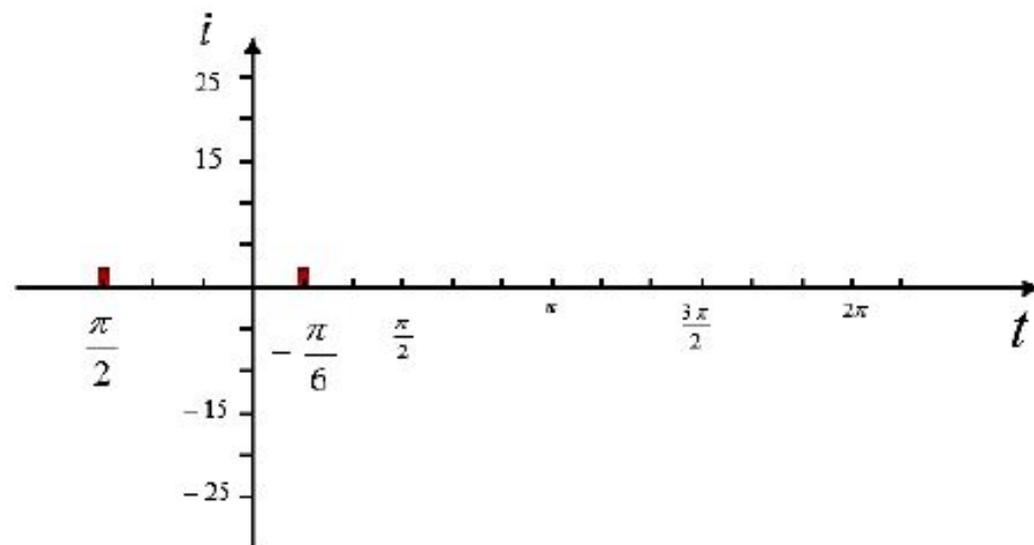
2. На начальном этапе построения графиков откладываются начальные фазы, которые будут являться началом периода синусоид



Начальная фаза α отсчитывается по оси t от начала синусоиды до начала координат:

При $\alpha > 0$ - начало синусоиды сдвигается влево от начала координат

При $\alpha < 0$ - начало синусоиды сдвигается вправо от начала координат.

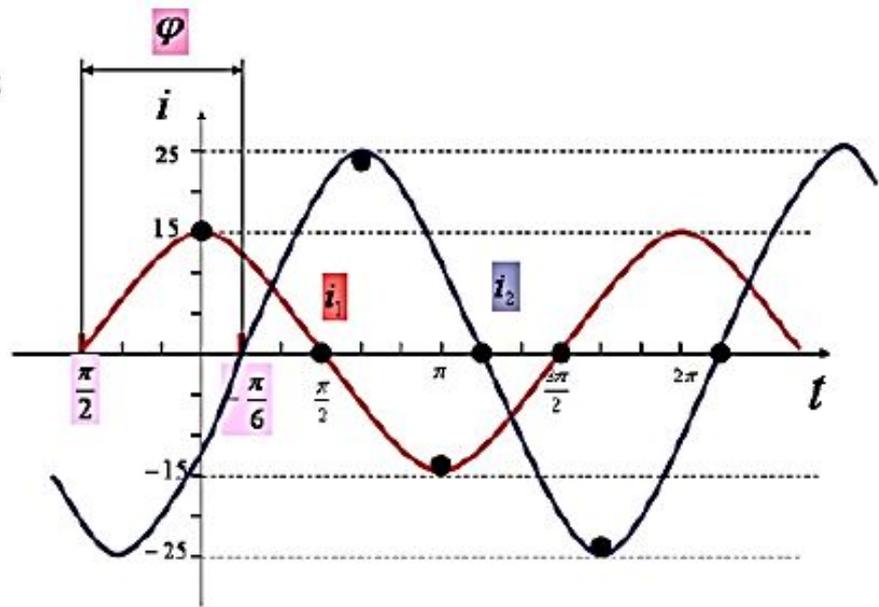


$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2} = 90^\circ > 0$$

$$\alpha_2 = -\frac{\pi}{6} = -30^\circ < 0$$

5. Определяем угол сдвига фаз между токами i_1 и i_2

По расчетам и на графике $\varphi = 120^\circ$

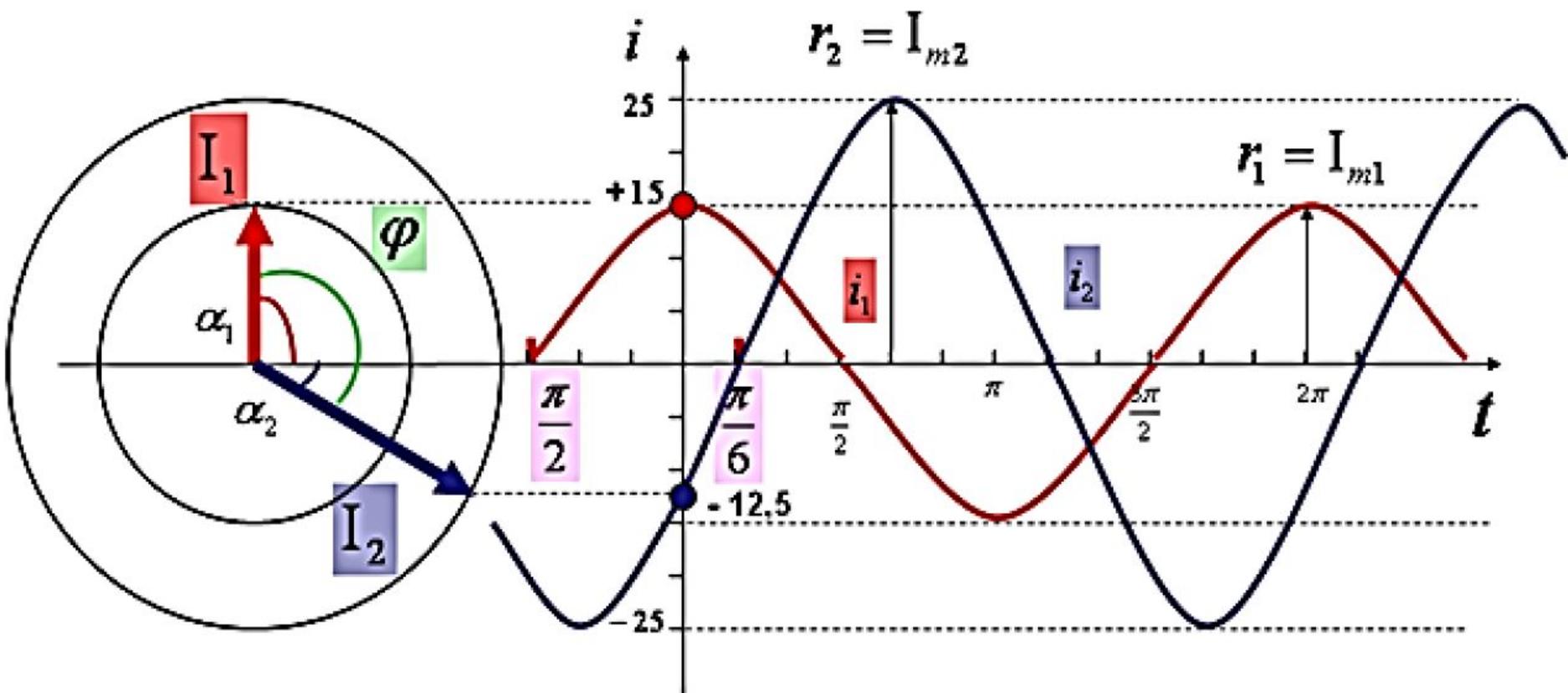


6. Построим круговую диаграмму в начальный момент времени $t = 0$.

По расчетам значения токов в этот момент времени $i_1 = 15 A$ $i_2 = -12,5 A$.

Строим по этим значения вспомогательные окружности. Переносим значения токов в соответствии с их начальными фазами $\alpha_1 = \frac{\pi}{2}$ $\alpha_2 = -\frac{\pi}{6}$ на эти окружности. Строим вектора токов.

Угол сдвига фаз на векторной диаграмме также должен быть равен $\varphi = 120^\circ$

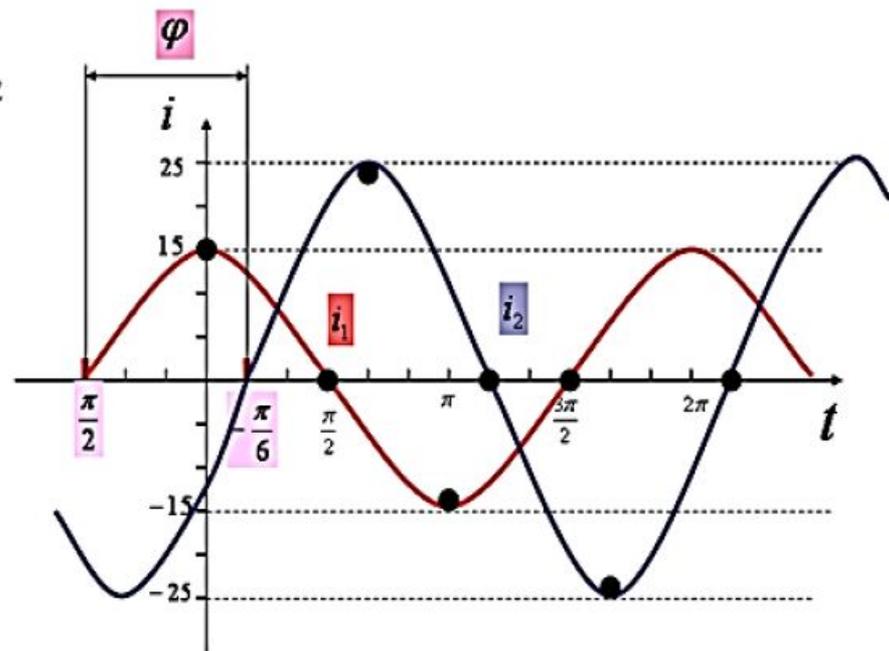


5. Определяем угол сдвига фаз между токами i_1 и i_2

По расчетам и на графике $\varphi = 120^\circ$

6. Построим круговую диаграмму в начальный момент времени $t = 0$.

По расчетам значения токов в этот момент времени $i_1 = 15 \text{ A}$ $i_2 = -12,5 \text{ A}$.



Строим по этим значения вспомогательные окружности. Переносим значения токов в соответствии с их начальными фазами $\alpha_1 = \frac{\pi}{2}$ $\alpha_2 = -\frac{\pi}{6}$ на эти окружности. Строим вектора токов.

Угол сдвига фаз на векторной диаграмме также должен быть равен $\varphi = 120^\circ$



«ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»



Литература

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
Сибирский колледж транспорта и строительства

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
по учебной дисциплине
ОП.02. Электротехника и электроника
по специальности
08.02.10 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство
базовая подготовка среднего профессионального образования

Иркутск 2018

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

РАСЧЕТ НЕРАЗВЕТВЛЁННЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

приложение 3

Исходные данные

Практическая работа №2

цепь с активным сопротивлением

Бригады	1	2	3	4	5	6
$U_{\text{дейст.}}$, В	20	40	60	80	100	120
$I_{\text{дейст.}}$, А	4	6	8	10	12	14
φ , град п.	-10	-5	0	5	10	0
R_{a1} , Ом	100	100	100	100	100	100
f , Гц	50	60	50	60	50	60

цепь с индуктивным сопротивлением

L , Гн	2	1	2	2	2	1
----------	---	---	---	---	---	---

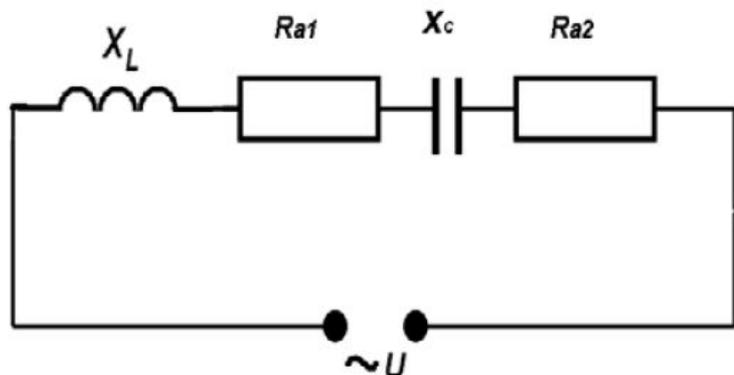
цепь с ёмкостным сопротивлением

C , мФ	20	10	20	10	20	10
----------	----	----	----	----	----	----

Практическая работа №3

цепь с дополнительным сопротивлением

R_{a2} , Ом	150	150	100	100	150	150
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----



Определить:

1. Z - общее сопротивление цепи
2. I - общий ток цепи
3. $\cos \varphi$ - коэффициент мощности
4. Падения напряжения на каждом сопротивлении
5. Построить в масштабе векторную диаграмму
6. Активную P , реактивную Q , полную S мощности цепи

Пример для : Дано:

$$X_L = 9 \text{ Ом} \quad R_{a1} = 5 \text{ Ом} \quad X_C = 5 \text{ Ом} \quad R_{a2} = 3 \text{ Ом}$$

1. ОПРЕДЕЛЯЕМ общее сопротивление цепи Z

$$Z = \sqrt{(R_{a1} + R_{a2})^2 + (X_C - X_L)^2} = \sqrt{(5 + 3)^2 + (15 - 9)^2} = 10 \text{ Ом}$$

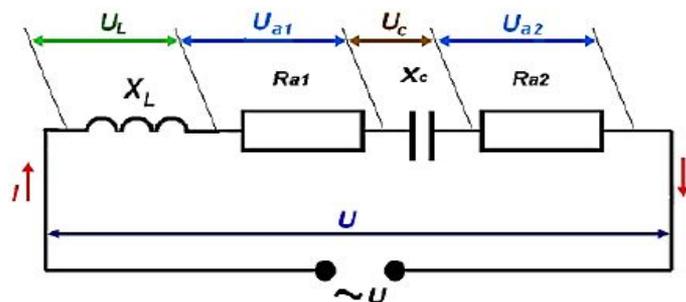
4. ОПРЕДЕЛЯЕМ падения напряжения на сопротивлениях

$$U_{a1} = I \cdot R_{a1} = 20 \cdot 5 = 100 \text{ В}$$

$$U_{a2} = I \cdot R_{a2} = 20 \cdot 3 = 60 \text{ В}$$

$$U_L = I \cdot X_L = 20 \cdot 9 = 180 \text{ В}$$

$$U_C = I \cdot X_C = 20 \cdot 15 = 300 \text{ В}$$



для тока и напряжений

$$M_I = 5 \text{ A/см} \Rightarrow I = 4 \text{ см}$$

$$M_U = 50 \text{ В/см} \Rightarrow U_{a1} = 2 \text{ см}$$

$$U_{a2} = 1,2 \text{ см}$$

$$U_L = 3,6 \text{ см}$$

$$U_C = 6 \text{ см}$$

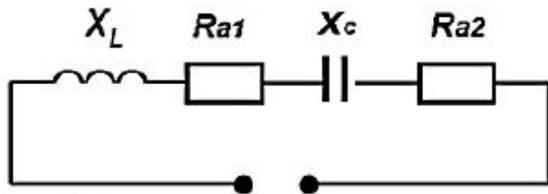
$$U = 4 \text{ см}$$

$$U_{a1} = 100 \text{ В} \quad U_{a2} = 60 \text{ В}$$

$$U_L = 180 \text{ В} \quad U_C = 300 \text{ В}$$

$$U = 200 \text{ В} \quad I = 20 \text{ А}$$

1. Откладываем горизонтально вектор $I = 4 \text{ см}$

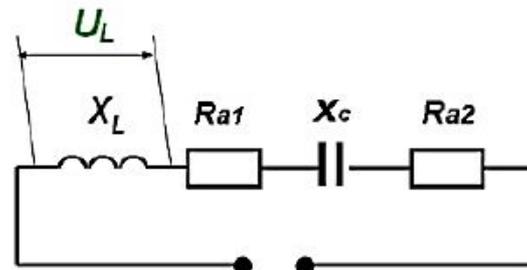
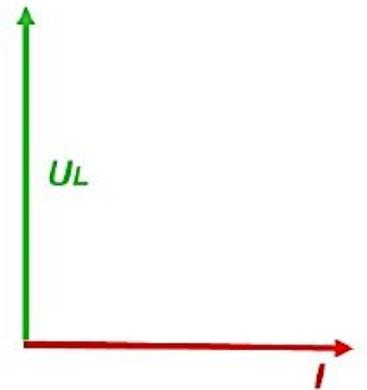


2. В электрической схеме первым по счету стоит реактивное индуктивное сопротивление X_L

- Падение напряжения на нем U_L

- На векторной диаграмме вектор U_L

откладывается относительно вектора тока вверх (против часовой стрелки)



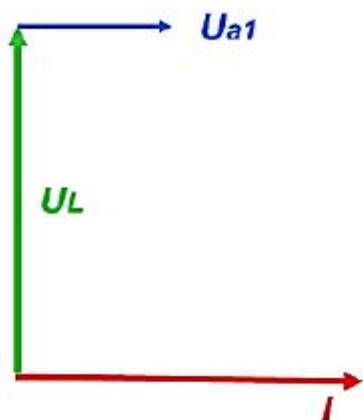
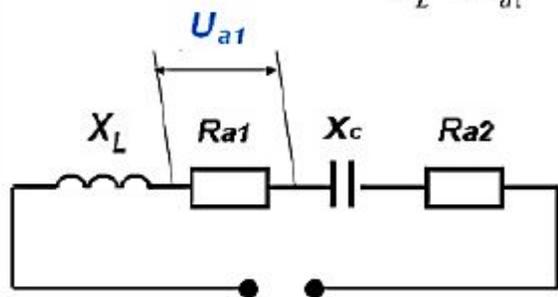
3. В электрической схеме вторым по счету стоит активное сопротивление R_{a1}

- Падение напряжения на нем U_{a1}

- На векторной диаграмме вектор U_{a1} откладывается относительно вектора тока параллельно

- При этом производится векторное сложение

$$\vec{U}_L + \vec{U}_{a1}$$



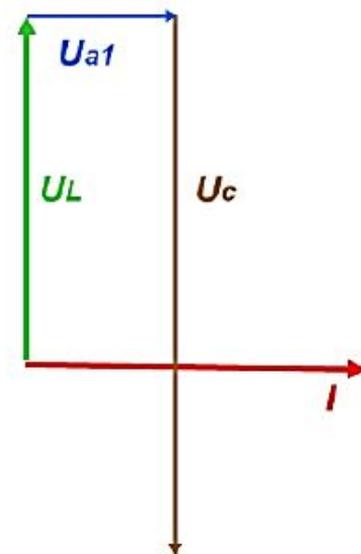
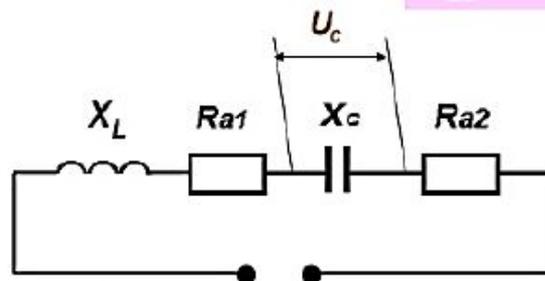
4. В электрической схеме третьим по счету стоит реактивное емкостное сопротивление X_c

- Падение напряжения на нем U_c

- На векторной диаграмме вектор U_c откладывается относительно вектора тока вниз (по часовой стрелке)

- При этом производится векторное сложение

$$\vec{U}_{a1} + \vec{U}_c$$



5. В электрической схеме четвертым по счету стоит активное сопротивление R_{a2}

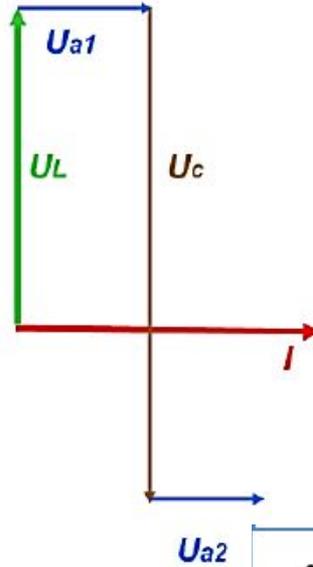
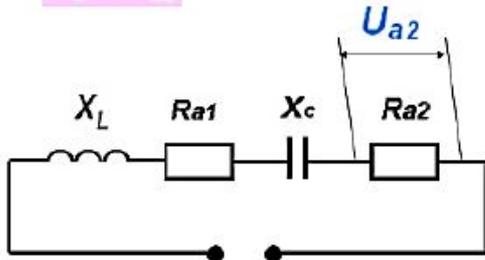
- Падение напряжения на нем U_{a2}

- На векторной диаграмме вектор U_{a2}

откладывается относительно вектора тока параллельно

- При этом производится векторное сложение

$$\vec{U}_C + \vec{U}_{a2}$$

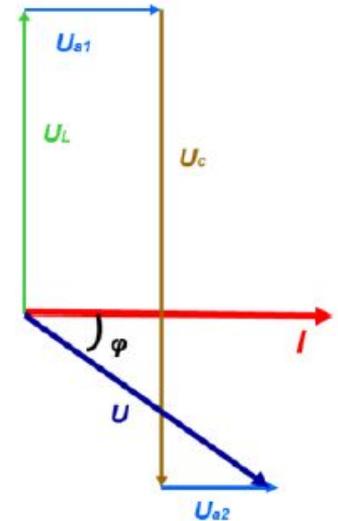
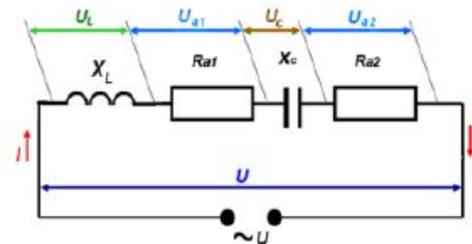


6. После геометрического сложения всех четырех векторов напряжений определяем полное напряжение схемы:

$$\vec{U} = \vec{U}_L + \vec{U}_{a1} + \vec{U}_C + \vec{U}_{a2}$$

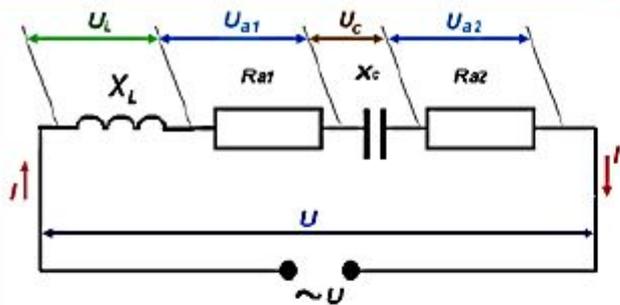
- Для этого соединяем начало самого первого сопротивления U_L

с концом самого последнего вектора U_{a2}



Из векторной диаграммы определяем, что:

$$U = 4 \text{ см или } U = 200 \text{ В } \varphi = 36^\circ$$



Вектор U является гипотенузой прямоугольного треугольника, катеты которого:

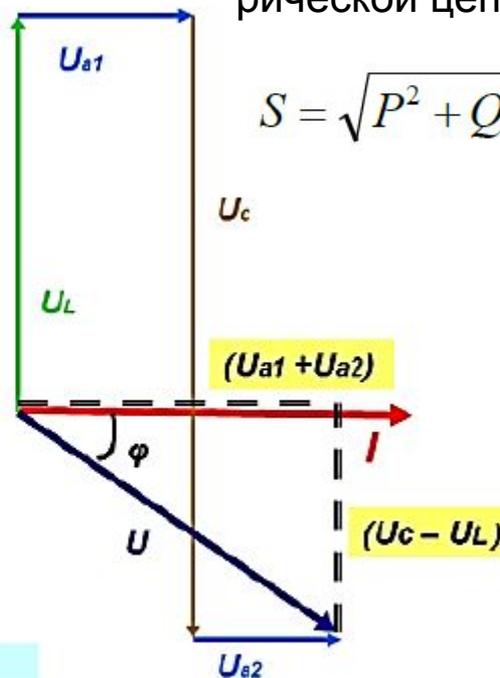
$$(U_{a1} + U_{a2}) \quad (U_c - U_L)$$

по теореме Пифагора :

$$U^2 = (U_{a1} + U_{a2})^2 + (U_c - U_L)^2$$

ОПРЕДЕЛЯЕМ полную мощность электрической цепи:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3200^2 + 2400^2} = 4000 \text{ ВА}$$



ОПРЕДЕЛЯЕМ активную мощность электрической цепи:

или

$$P = I^2 \cdot (R_{a1} + R_{a2}) = 20^2 \cdot (5 + 3) = 3200 \text{ Вт}$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 200 \cdot 20 \cdot 0,8 = 3200 \text{ Вт}$$

ОПРЕДЕЛЯЕМ реактивную мощность электрической цепи:

или

$$Q = I^2 \cdot (X_c - X_L) = 20^2 \cdot (15 - 9) = 2400 \text{ ВАр}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 200 \cdot 20 \cdot 0,6 = 2400 \text{ ВАр}$$