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

(очной формы обучения)

ОП.02. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

для специальности
23.02.01 Организация перевозок и управление на транспорте (по видам)
базовая подготовка
среднего профессионального образования

Иркутск, 2022

Электронный документ выгружен из ЕИС ФГБОУ ВО ИрГУПС и соответствует оригиналу
Подписант ФГБОУ ВО ИрГУПС Трофимов Ю.А.
00a73c5b7b623a969ccad43a81ab346d50 с 08.12.2022 14:32 по 02.03.2024 14:32 GMT+03:00
Подпись соответствует файлу документа

РАССМОТРЕНО:
Цикловой методической
комиссией Технической механики и
электротехнических дисциплин
«03» октября 2022 г.
Председатель _____ Н.Б. Эмерсали

Разработчик: Эмерсали Н.Б., преподаватель высшей категории Сибирский колледж транспорта и строительства ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Пояснительная записка

Методические указания по выполнению практических работ составлены в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины, разработанной на основе Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования 023.02.01 Организация перевозок и управление на транспорте (по видам).

Контрольная работа состоит из четырех задач. Каждая задача относится к определенной теме. Задача №1 Расчет цепей постоянного тока относится к теме 1.2 Электрические цепи постоянного тока.

Задача№2 Расчет параметров переменного тока и задача №3 Расчет неразветвленных электрических цепей переменного тока относятся к теме 1.4. Переменный электрический ток. Электрические цепи однофазного переменного тока.

Практическое занятие №4 Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока соединение «звезда»

Практическое занятие №5 Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока соединение « треугольник» Задача № 4, 5 Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока к теме 1.5. Электрические цепи трехфазного переменного тока

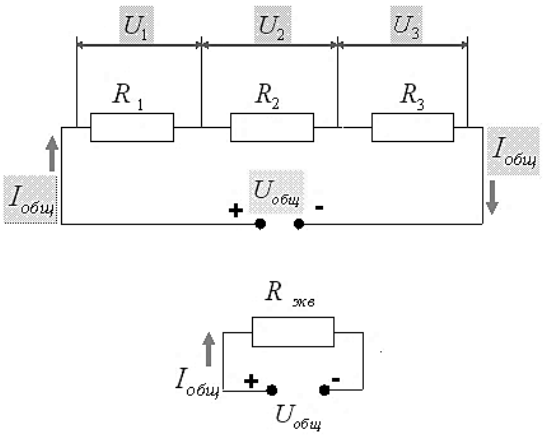
Методические указания к решению задачи 1

РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Решение этой задачи требует знания закона Ома для всей цепи и ее участков, первого закона Кирхгофа и методики определения эквивалентного сопротивления цепи смешанного соединения резисторов.

Теоретические сведения:
Взаимосвязь между основными параметрами цепи устанавливаются по *закону Ома:*
$I = \frac{U}{R}$
Последовательным соединением приемников электроэнергии (рис.1) называется соединение, при котором конец первого приемника соединен с началом второго, конец второго с началом третьего и т. д.

При размыкании цепи у одного из последовательно соединенных потребителей ток исчезает во всей цепи.



Законы последовательного соединения приемников:

рис.1

$I_{общ} = I_1 = I_2 = I_3$ *сила тока на всех участках цепи одинакова*

$U_{общ} = U_1 + U_2 + U_3$ *напряжение на зажимах источника напряжения равна сумме напряжений на всех её участках*

$R_{экв} = R_1 + R_2 + R_3$ *эквивалентное (общее) сопротивление цепи равно сумме сопротивлений, составляющих цепь*

Параллельным соединением приемников (рис.2) электрической энергии называется соединение, при котором начала всех ветвей электрической цепи присоединяются к первому узлу, концы этих же ветвей присоединяются ко второму узлу.
Узел – точка, в котором сходится более двух проводников.
Ветвь – каждый из проводников, расположенный между двумя узлами.
Разветвление – все вместе параллельно соединенные проводники.

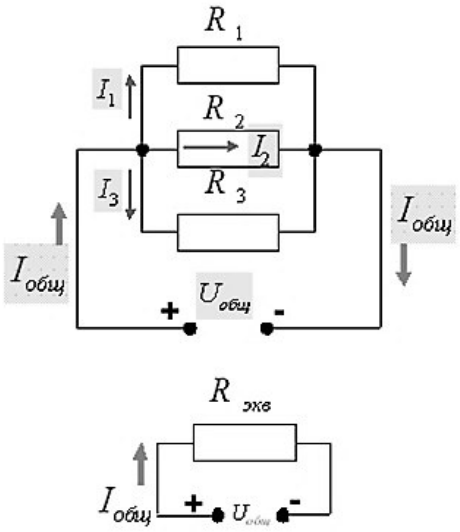


рис.2

Законы параллельного соединения приемников.

$U_{общ} = U_1 = U_2 = U_3$ *напряжение на зажимах источника напряжения и на отдельных участках одинаковы*

$I_{общ} = I_1 + I_2 + I_3$ *сила тока в неразветвленной части цепи равен сумме токов в разветвлении*

$G_{экв} = G_1 + G_2 + G_3$ *эквивалентная (общая) проводимость разветвления цепи равна сумме проводимостей отдельных ветвей, составляющих цепь*

$$\frac{1}{R_{общ}} \equiv \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \qquad R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad R_{123} \equiv \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

Так как напряжение между узлами постоянно, то токи в ветвях не зависят друг от друга. Поэтому *при отключении одной из ветвей все остальные ветви будут продолжать работать.*

- Чем больше ветвей в параллельном соединении, тем меньше общее сопротивление всей цепи.
- При параллельном соединении резисторов их общее сопротивление будет меньше наименьшего из сопротивлений.

Схемы для расчета и данные смотреть в Приложении 1.

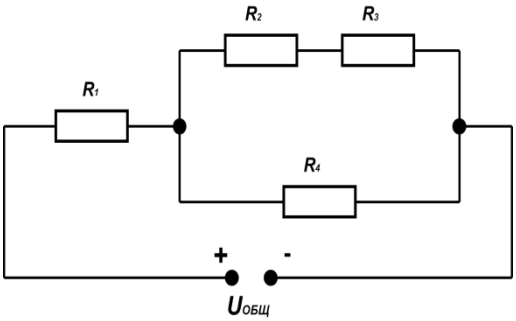
Пример 1:

Методические указания к решению задачи 1
Практическая работа №1

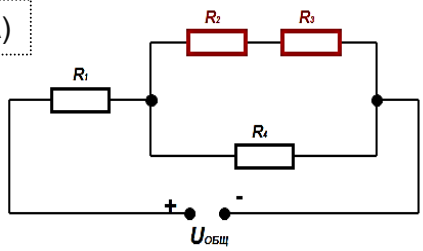
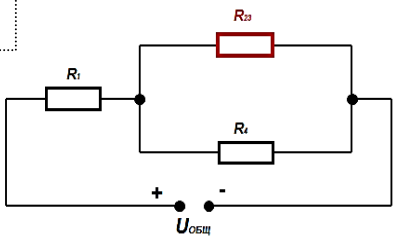
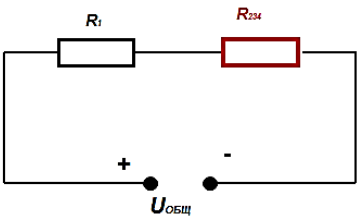
Расчет электрических цепей постоянного тока

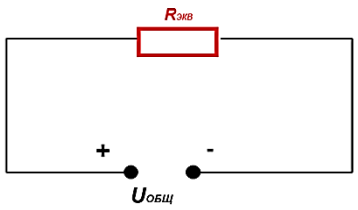
Дано: R_1, R_2, R_3, R_4, $U_{общ}$

Определить: все токи и напряжения электрической цепи

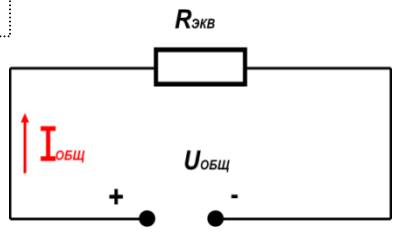
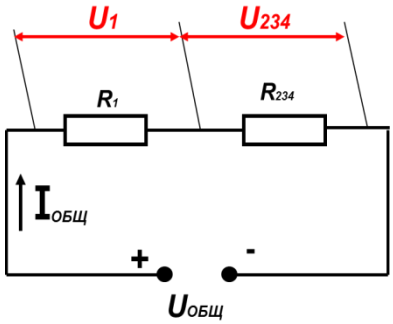
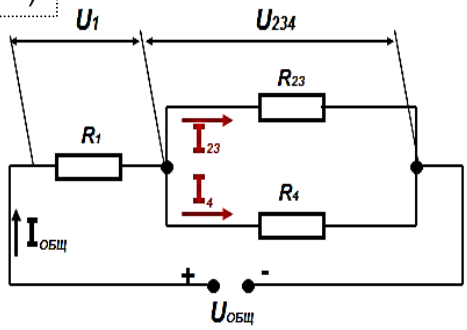


Преобразуем схему, разбив ее на части. В этих частях должны присутствовать простейшие,
чисто последовательные или чисто параллельные соединения.

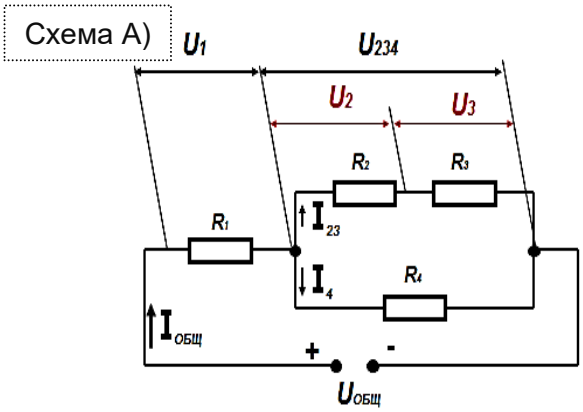
В схеме имеется *чисто последовательное соединение* резисторов R_2 и R_3.	Схема А) 
➢ *По законам последовательного соединения* можно найти эквивалентное им сопротивление $R_{23} = R_2 + R_3$ ➢ В схеме (Б) имеется *чисто параллельное соединение* резисторов R_{23} и R_4.	Схема Б) 
➢ *По законам параллельного соединения* можно найти эквивалентное им сопротивление: $R_{234} = \frac{R_{23} \cdot R_4}{R_{23}+R_4}$ ➢ В схеме (В) имеется чисто последовательное соединение	Схема В) 

резисторов R_1 *и* R_{234}.	
По законам последовательного соединения можно найти *эквивалентное сопротивление всей схемы* $R_{экв} = R_1 + R_{234}$	Схема С) 

Рассчитаем все токи и все напряжения, которые можно определить в данной цепи. Определение и расчет цепи начинаем с самого простейшего варианта (С).

Дано: $R_{экв}$, $U_{общ}$ Определяем: $I_{общ}$ по закону Ома: $I_{общ} = \frac{U_{общ}}{R_{экв}}$	Схема С) 
Дано: R_1, R_{234}, $I_{общ}$, $U_{общ}$ Определяем падение напряжения на каждом резисторе. *По законам последовательного соединения* $U_{общ} = U_1 + U_{234}$ По закону Ома: $U_1 = I_{общ} \cdot R_1$ $U_{234} = I_{общ} \cdot R_{234}$	Схема В) 
Дано: R_1, R_{23}, R_4, $I_{общ}$, $U_{общ}$, U_1, U_{234} *Определяем* токи разветвлений I_{23} и I_4 По закону параллельного соединения: $I_{общ} = I_{23} + I_4$ *по закону Ома:* $I_{23} = \frac{U_{234}}{R_{23}}$ $I_4 = \frac{U_{234}}{R_4}$	Схема Б) 

Дано: R_1, R_2, R_3, R_4, $U_{общ}$, $I_{общ}$, U_1, U_{234}, I_{23}, I_4

<u>Определяем</u> падение напряжения на резисторах R_2 и R_3 *по закону Ома*: $U_2 = I_{23} \cdot R_2$ $U_3 = I_{23} \cdot R_3$	

Практическая работа №2

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Теоретические сведения:

Параметры переменного электрического тока:

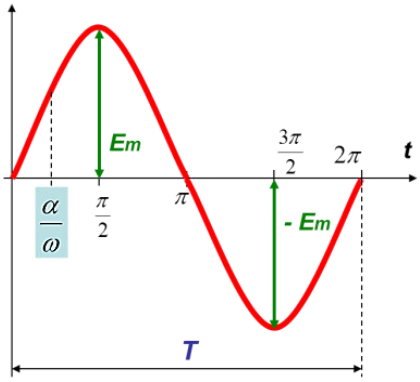


рис.3

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 *Гц*

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

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

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

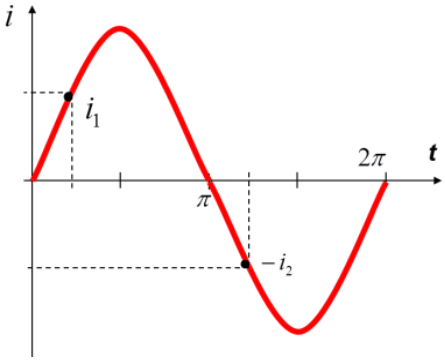


рис.4

4. *Амплитудные значения тока Im , напряжения Um , эдс Em (рис.3)*– максимальные значения мгновенных величин тока, напряжения и ЭДС.
5. *Мгновенные значения тока i, напряжения u, эдс e* (рис.4) - значения этих величин в любой момент времени. Изменяются по синусоидальному закону:

$$i = I_m \sin \omega t$$
$$u = U_m \sin \omega t$$
$$e = E_m \sin \omega t$$

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 электроизмерительных приборов, измеряющих переменные значения

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

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

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

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:*

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

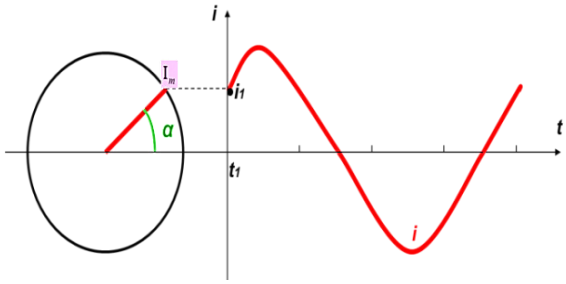


рис.5

Сдвиг фаз синусоидальных величин.

При вращении ротора с двумя укрепленными на нем витками e_1 и e_2, в них будет индуктироваться 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.

$$e_1 = E_m \sin(\omega t + \alpha_1)$$
$$e_2 = E_m \sin(\omega t + \alpha_2)$$

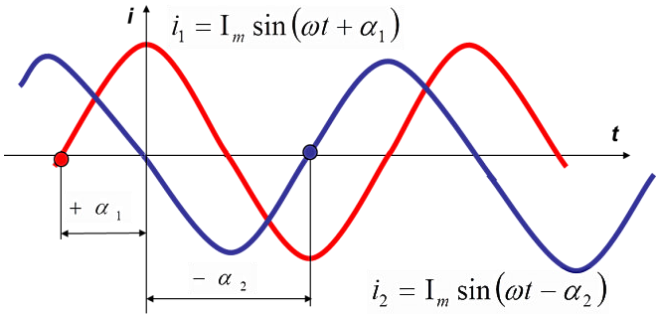


рис.6

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.

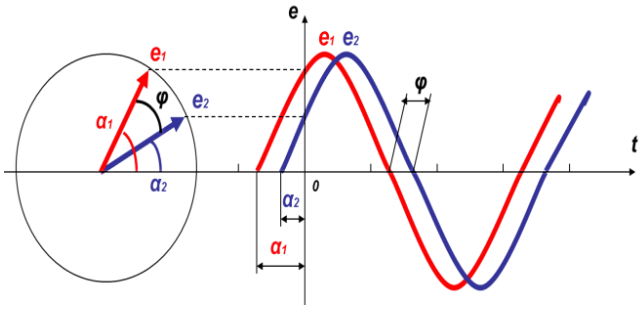


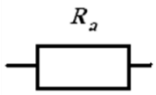
рис.7

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: Однофазные электрические цепи переменного тока.

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

$R_а$ - величина, характеризующая сопротивление цепи переменному току:
На таком участке включены резисторы, лампы накаливания, электронагревательные устройства, а также ферромагнитные сердечники различных электротехнических устройств



Обозначение на схеме

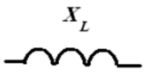
$$R_a = \frac{U}{I}$$

единица измерения (*Ом*)

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

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

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



Обозначение на схеме

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

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

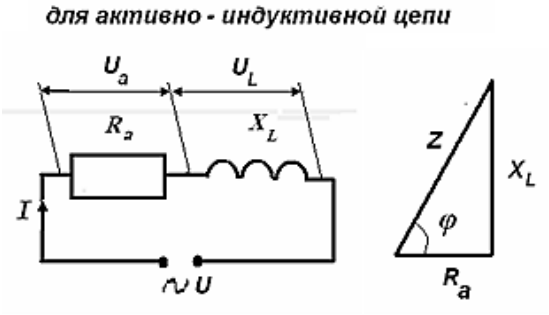
X_c

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:

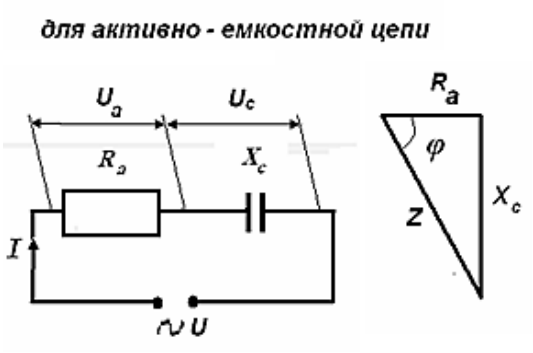


$$Z = \sqrt{R_a^2 + \chi_L^2}$$

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

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

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

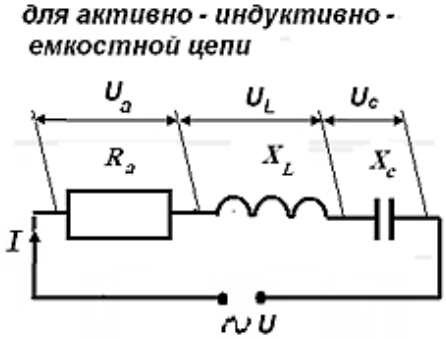


$$Z = \sqrt{R_a^2 + \chi_c^2}$$

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

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

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

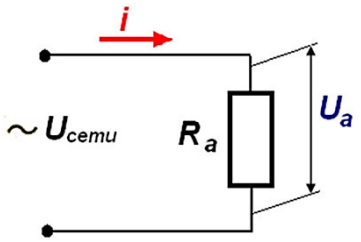


$$Z = \sqrt{R_a^2 + (\chi_L - \chi_c)^2} \quad \text{для} \quad \chi_L > \chi_c$$

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

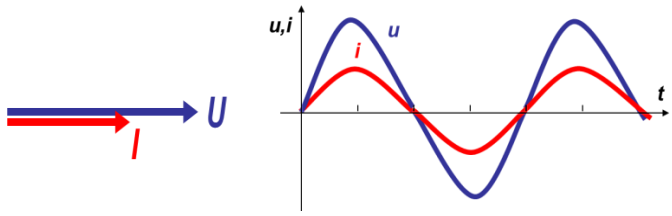
$$I = \frac{U}{Z}$$

Цепи с активным сопротивлением

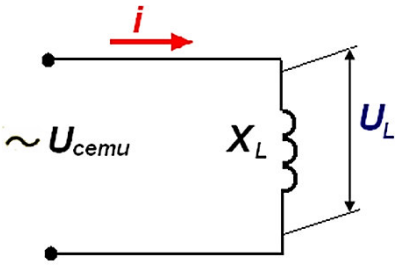


В проводнике с активным сопротивлением колебания тока по фазе совпадают с колебаниями напряжения, т.е. $\angle\varphi = 0$

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

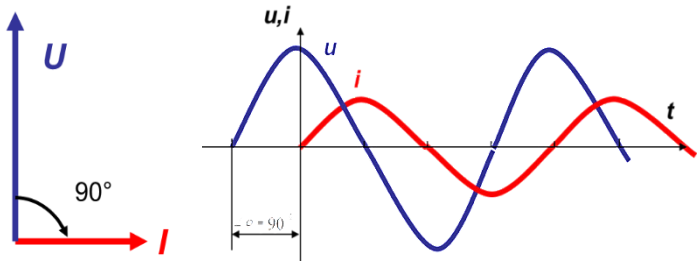


Цепи с индуктивным сопротивлением

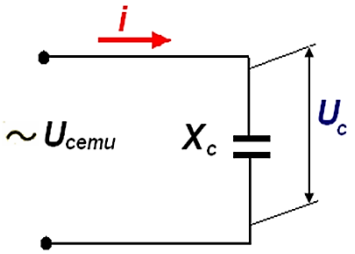


Ток в цепи с индуктивностью отстает от напряжения этой цепи 1/4 периода, или $\angle\varphi = 90^0$

На векторной диаграмме отставание тока от напряжения показывается по часовой стрелке:



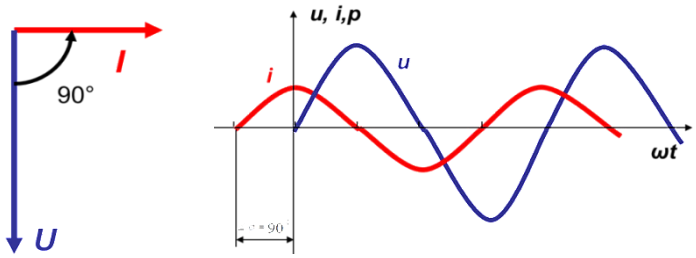
Цепи переменного тока с емкостным сопротивлением



:

Ток в цепи с емкостью в своих изменениях опережает по фазе напряжение конденсатора на 1/4 периода, или $\angle\varphi = 90^0$

На векторной диаграмме опережение *I* относительно *U* показывается *против часовой стрелки*.



Схемы для расчета и данные смотреть Приложении 3.

Пример 2:

Практическая работа №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Дано:

$$i_1 = 15\sin\left(314t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$i_2 = 25\sin\left(314t - \frac{\pi}{6}\right)$$

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

Амплитудные значения тока I_m $\quad i = \mathrm{I}_m \cdot \sin(\omega t + \alpha)$

$$\mathrm{I}_{m1} = 15\ A \qquad \mathrm{I}_{m2} = 25\ A$$

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

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

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

3. *Угол α (начальная фаза)* $\quad \alpha_1 = \dfrac{\pi}{2} = 90^0 \qquad \alpha_2 = -\dfrac{\pi}{6} = -30^0$

1. Угловая частота ω (рад/с) $\quad \omega = 314 \quad рад/с$

5. Частота f (Гц)

6. Период T (с)

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2 \cdot 3{,}14} = 50\ Гц$$

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

7. Мгновенное значение тока в начальный момент времени

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

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

8. Сдвиг по фазе между заданными токами

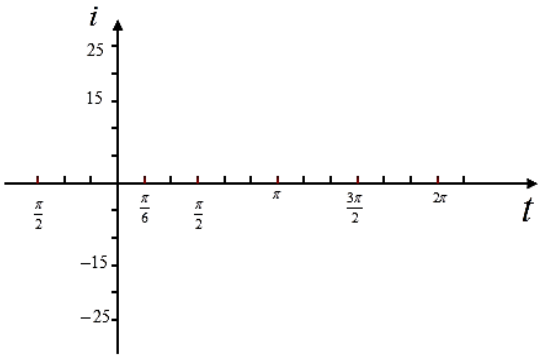
$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \left(-\frac{\pi}{6}\right) = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6} = \frac{2\pi}{3} = 120^0$$

Построение графика токов

1. Для построения графиков токов подготовим координатную сетку

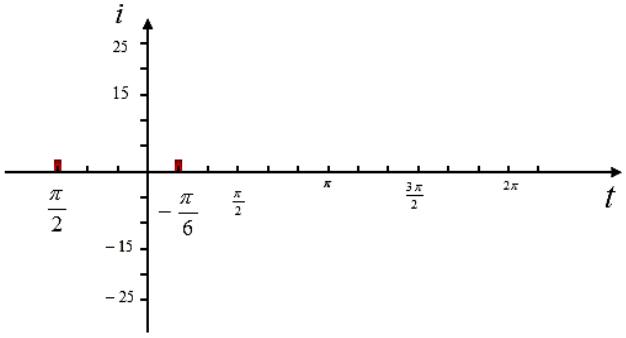
а) Отложить на оси t фазные углы, измеряемые в радианах

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 ***α >0*** - начало синусоиды сдвигается влево от начала координат
При ***α <0*** - начало синусоиды сдвигается вправо от начала координат.

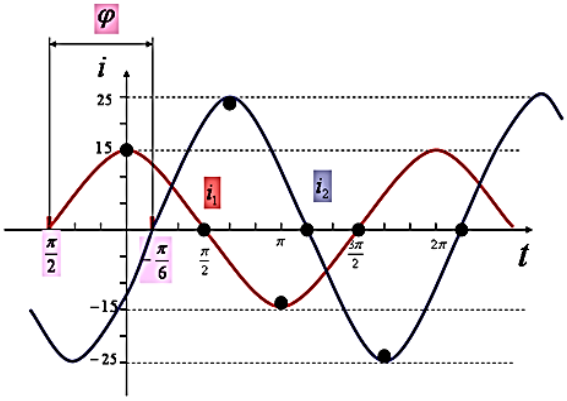


$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2} = 90^0 > 0$$

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

5. Определяем угол сдвига фаз между токами i_1 и i_2

По расчетам и на графике $\varphi = 120^0$

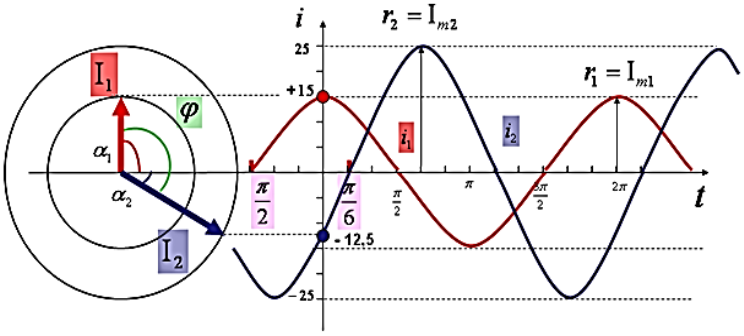


6. Построим круговую диаграмму в начальный момент времени $t = 0$.

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

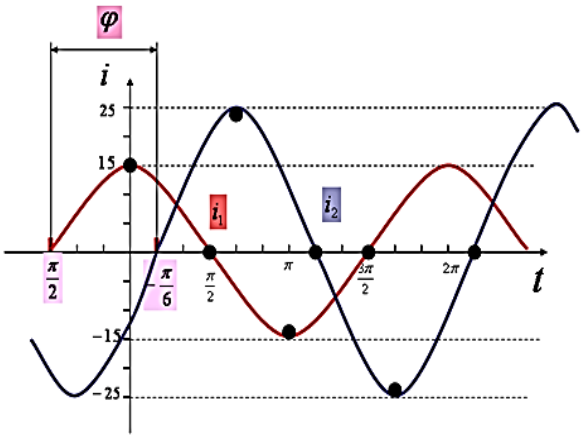
Строим по этим значения вспомогательные окружности. Переносим значения токов в соответствии с их начальными фазами $\alpha_1 = \frac{\pi}{2} \quad \alpha_2 = -\frac{\pi}{6}$ на эти окружности. Строим вектора токов.

Угол сдвига фаз на векторной диаграмме также должен быть равен $\varphi = 120^0$



5. Определяем угол сдвига фаз между токами i_1 и i_2

По расчетам и на графике $\varphi = 120^0$

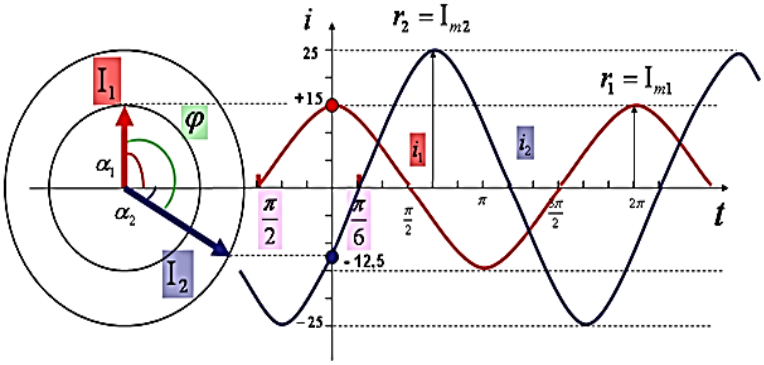


6. Построим круговую диаграмму в начальный момент времени $t = 0$.

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.

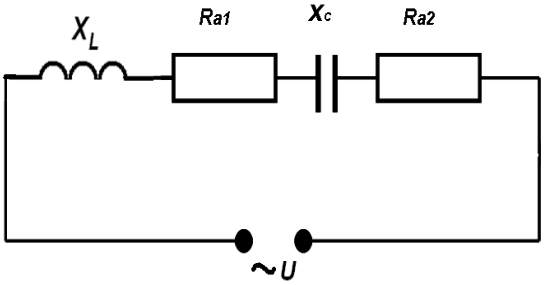
Угол сдвига фаз на векторной диаграмме также должен быть равен $\varphi = 120^0$



Данные для расчета смотреть в Приложении 3.

Пример 3:

Расчетно - графическая работа №3
Расчет неразветвленных цепей переменного тока



Дано:
$X_L = 9$ *Ом*
$R_{a1} = 5$ *Ом*
$X_C = 15$ *Ом*
$R_{a2} = 3$ *Ом*
$U = 200$ *В*

Определить:

1. $\acute{Z}$ - 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

1. ОПРЕДЕЛЯЕМ общее сопротивление цепи Z

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

2. ОПРЕДЕЛЯЕМ общий ток цепи I

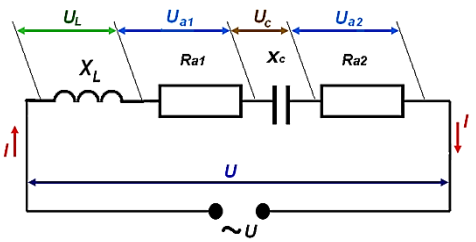
$$\mathrm{I}=\frac{U}{Z}=\frac{200}{10}=20\,A$$

3. ОПРЕДЕЛЯЕМ коэффициент мощности

$$\cos\varphi=\frac{R_{a1}+R_{a2}}{Z}=\frac{5+3}{10}=0{,}8$$ По таблице Брадиса определяем угол $\varphi=36°$

4. ОПРЕДЕЛЯЕМ падения напряжения на сопротивлениях

$$U_{a1}=\mathrm{I}\cdot R_{a1}=20\cdot 5=100\ B$$
$$U_{a2}=\mathrm{I}\cdot R_{a2}=20\cdot 3=60\ B$$
$$U_L=\mathrm{I}\cdot X_L=20\cdot 9=180\ B$$
$$U_C=\mathrm{I}\cdot X_C=20\cdot 15=300\ B$$



5. ПОСТРОИМ векторную диаграмму тока и напряжений и докажем правильность произведенных расчетов

Построим векторную диаграмму с помощью векторного сложения найденных значений падений напряжений:

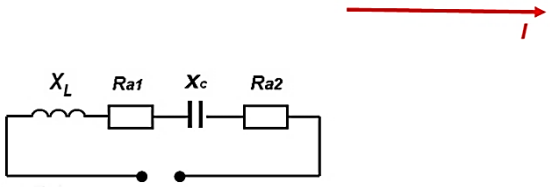
$$\vec{U}=\vec{U}_L+\vec{U}_{a1}+\vec{U}_C+\vec{U}_{a2}$$

Выбираем масштаб для тока и напряжений

$$M_{\mathrm{I}}=5\ {}^{A}\!/_{см}\ \Rightarrow\ \mathrm{I}=4\ см$$
$$M_U=50\ {}^{B}\!/_{см}\ \Rightarrow\ U_{a1}=2\,см$$
$$U_{a2}=1{,}2\,см$$
$$U_L=3{,}6\ см$$
$$U_c=6\ см$$
$$U=4\ см$$

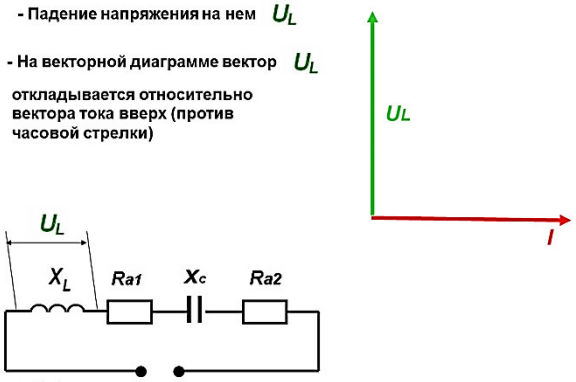
$$U_{a1}=100\ B\quad U_{a2}=60\ B$$
$$U_L=180\ B\quad U_C=300\ B$$
$$U=200\ B\quad \mathrm{I}=20\ A$$

1. Откладываем горизонтально вектор $I = 4\ см$



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

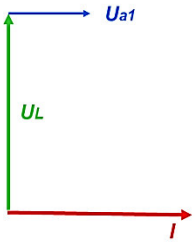
- Падение напряжения на нем U_L
- На векторной диаграмме вектор U_L откладывается относительно вектора тока вверх (против часовой стрелки)

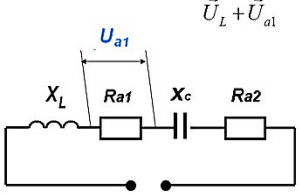


3. В электрической схеме вторым по счету стоит активное сопротивление $Ra1$

- Падение напряжения на нем U_{a1}
- На векторной диаграмме вектор U_{a1} откладывается относительно вектора тока параллельно
- При этом производится векторное сложение

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

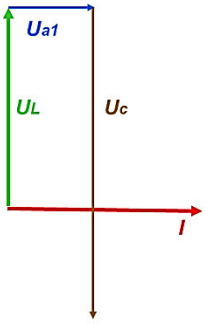


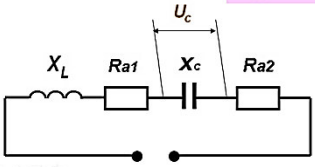


4. В электрической схеме третьим по счету стоит реактивное емкостное сопротивление X_c

- 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

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

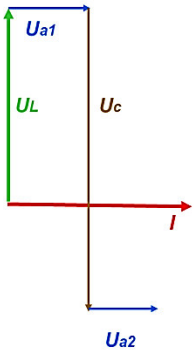


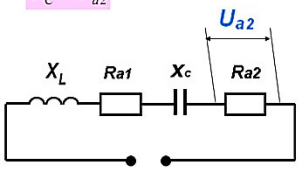


5. В электрической схеме четвертым по счету стоит активное сопротивление $Ra2$

- Падение напряжения на нем U_{a2}
- На векторной диаграмме вектор U_{a2} откладывается относительно вектора тока параллельно
- При этом производится векторное сложение

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

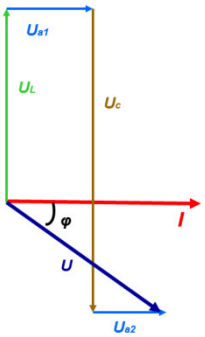


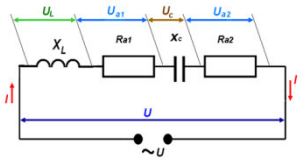


6. После геометрического сложения всех четырех векторов напряжений определяем полное напряжение схемы:

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

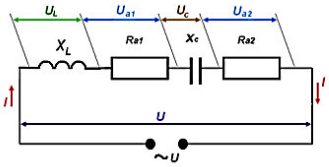
- Для этого соединяем начало самого первого сопротивления U_L с концом самого последнего вектора U_{a2}





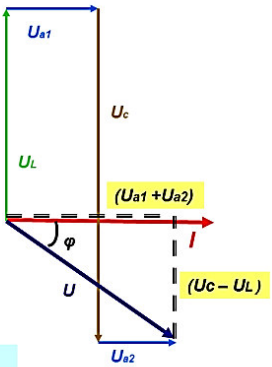
Из векторной диаграммы определяем, что:

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



Вектор U является гипотенузой прямоугольного треугольника, катеты которого:

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



по теореме Пифагора:

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

ОПРЕДЕЛЯЕМ активную мощность электрической цепи:

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

или

ОПРЕДЕЛЯЕМ реактивную мощность электрической цепи:

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

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

или

ОПРЕДЕЛЯЕМ полную мощность электрической цепи:

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

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

или

$$S = U \cdot I = 200 \cdot 20 = 4000\ ВА$$

Данные для расчета смотреть в Приложении 3.

Методические указания к решению задачи 4
Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока

Теоретические сведения:

В трехфазной системе переменного тока действуют три эдс одинаковой частоты, взаимно смещенные по фазе на одну треть ($^1/_3$)периода.

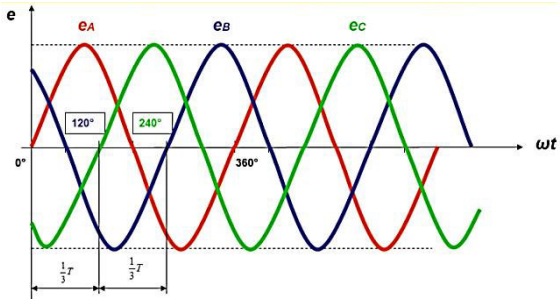


рис.8

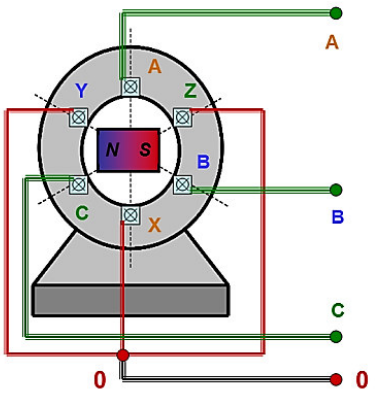
$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$e_C = E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

Обмотки генератора можно соединить двумя способами: «звездой» и «треугольником».

Соединение обмоток генератора «звездой».



Четырехпроводная

рис.9

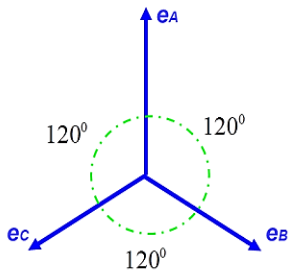
При соединении обмоток звездой концы обмоток *X, Y, Z* соединяются в одну точку *N*, называемую *нулевой точкой или нейтралью генератора.*

В ч*етырехпроводной системе* к нейтрали присоединяется нейтральный, или нулевой провод. К началам обмоток генератора присоединяются три линейных провода.

Напряжения между началами и концами фаз, или, что то же, напряжения между каждым из линейных проводов и нулевым, называются *фазными напряжениям* и обозначаются $U_{A,\ B,}\ U_c$ или в общем виде $U_ф$

Напряжения между началами обмоток, или, что то же, между линейными проводами, называются *линейными напряжениями* и обозначаются U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} или в общем виде $U_л$.

Обычно все фазы обмотки генератора выполняются одинаковыми, так что действующие значения эдс в фазах равны, т. е. $E_A=E_B=E_C$, но сдвинуты относительно друг друга на $\angle\varphi$ = 120°. На векторной диаграмме это показывается следующим образом.



Векторная диаграмма трехфазных ЭДС

Такую же диаграмму имеют фазные напряжения генератора U_A, U_B, U_C.

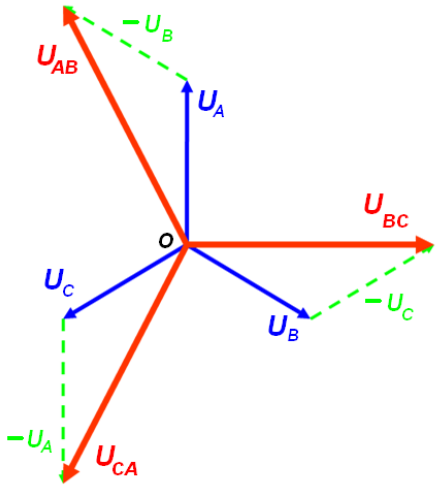
Соотношение между линейными и фазными напряжениями при соединении обмоток генератора «звездой».

Вектор линейного напряжения равен разности векторов соответствующих фазных напряжений.

$$\vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B = \vec{U}_A + \left(-\vec{U}_B\right)$$
$$\vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C = \vec{U}_B + \left(-\vec{U}_C\right)$$
$$\vec{U}_{CA} = \vec{U}_C - \vec{U}_A = \vec{U}_C + \left(-\vec{U}_A\right)$$

Из векторной диаграммы видно, что вектор линейного напряжения при соединении обмоток генератора «звездой» больше вектора фазного напряжения а $\sqrt{3}$ *:*

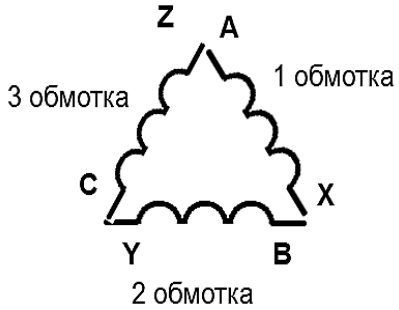
$$U_л = \sqrt{3}\,U_ф$$



Векторная диаграмма напряжений

Соединение обмоток генератора «треугольником».

При соединении обмоток трехфазного генератора треугольником конец первой обмотки *X* соединяется с началом второй обмотки *B*, конец второй обмотки *Y* соединяется с началом третьей обмотки *C* и конец третьей обмотки *Z* с началом первой *A*. Три линейных провода, идущих к приемникам энергии, присоединяются к началам фаз *A, B* и *C*.



При таком соединении обмоток *фазные напряжения равны линейным:*

$U_{AB} = U_A$
$U_{BC} = U_B$
$U_{CA} = U_C$

$$U_л = U_ф$$

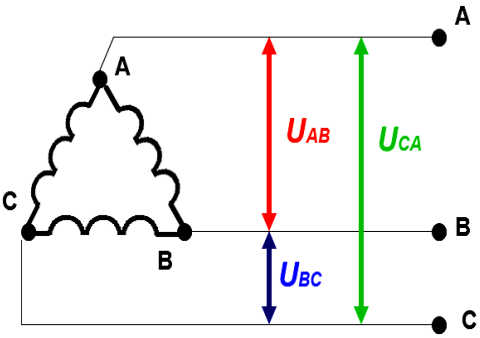


Схема соединения обмоток трехфазного генератора треугольником

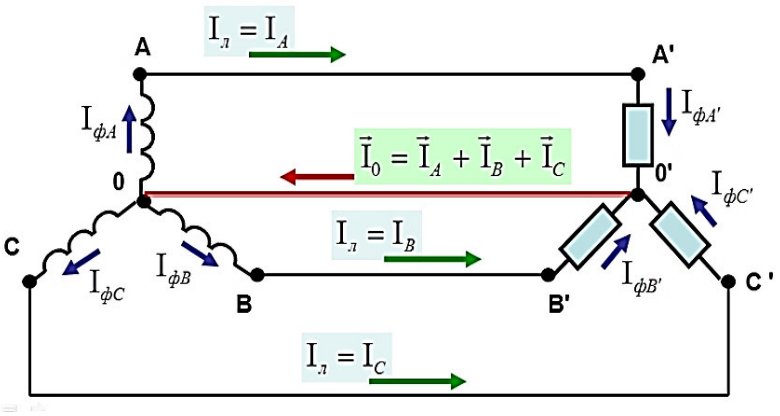
Соединение генератора и приемника энергии «звездой».
при таком соединении система может быть

1. Четырехпроводной – используется при осветительной нагрузке
2. Трехпроводной – используется при силовой нагрузке (т.е. при подключении электродвигателей)

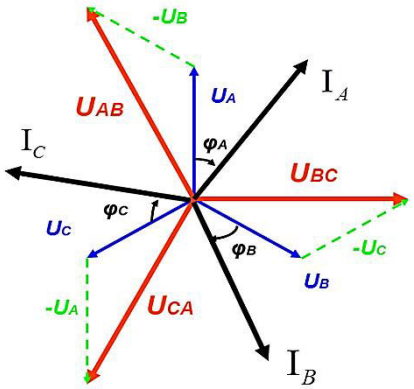
Четырехпроводная система трехфазного тока.

Если фазные обмотки генератора или потребителя соединить так, чтобы концы обмоток были соединены в одну общую точку, а начала обмоток присоединены к линейным проводам, то такое соединение называется соединением звездой и обозначается условным знаком Y. На рисунке обмотки генератора и потребителя соединены звездой. Точки, в которых соединены концы фазных обмоток генератора или потребителя, называются соответственно нулевыми точками генератора (0) и потребителя (0').

Обе точки 0 и 0' соединены проводом, который называется *нулевым*, или *нейтральным проводом*. Остальные три провода трехфазной системы, идущие от генератора к потребителю, называются *линейными проводами.* Таким образом, генератор соединен с потребителем четырьмя проводами. Поэтому эта система называется *четырехпроводной системой трехфазного тока.*



Трехфазная четырехпроводная система переменного тока



Векторная диаграмма линейных и фазных напряжений, линейных токов для соединения "звездой"

Ток, протекающий по фазной обмотке генератора или пот
фазным током и обозначается в общем виде $I_ф$. Ток, протекающий по линеиному проводу, называется *линейным током* и обозначается в общем виде $I_л$. По нулевому проводу протекает ток, равный <u>*геометрической сумме трех токов*</u>: $\vec{I}_0 = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$.

<u>При соединении звездой линейный ток равен фазному току</u> $I_л = I_ф$

Напряжения, измеренные между началами фаз генератора (или потребителя) и нулевой точкой (или нулевым проводом), называются фазными напряжениями и обозначаются U_A, U_B, U_c или в общем виде $U_ф$.

Напряжения, измеренные между началами двух фаз: *A* и *B, B* и *C, C* и *A* — генератора или потребителя, называются линейными напряжениями и обозначаются U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} или в общем виде $U_л$. При этом $U_л = \sqrt{3}U_ф$.

Определение фазных токов приемников, производится так же, как и в однофазных цепях переменного тока:

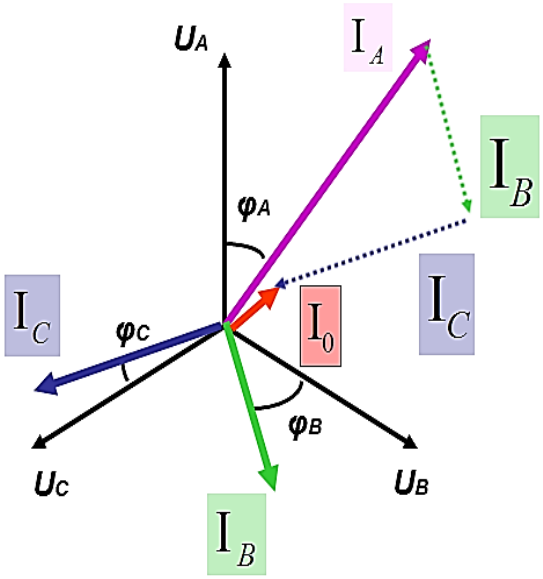
$$I_A = \frac{U_A}{Z_A} \qquad I_B = \frac{U_B}{Z_B} \qquad I_C = \frac{U_C}{Z_C}$$

Углы сдвига токов относительно фазных напряжений определяются из формул:

$$\cos_{\varphi A} = \frac{r_A}{z_A} \qquad \cos_{\varphi B} = \frac{r_B}{z_B} \qquad \cos_{\varphi C} = \frac{r_C}{z_C}$$

Действующее значение тока в нейтральном проводе можно определить только с помощью векторной диаграммы при геометрическом сложении векторов линейных (фазных) токов:

$$\vec{I}_0 = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$$



Соединение генератора и приемника энергии «треугольником».

Кроме соединения звездой, генераторы, трансформаторы, двигатели и другие потребители трехфазного тока могут включаться «треугольником».

Соединение треугольником» выполняется таким образом, чтобы конец фазы *A* был соединен с. началом фазы *B*, конец фазы *B* соединен с началом фазы *C* и конец фазы *C* соединен с началом фазы *A*.

К местам соединения фаз присоединяют линейные провода.

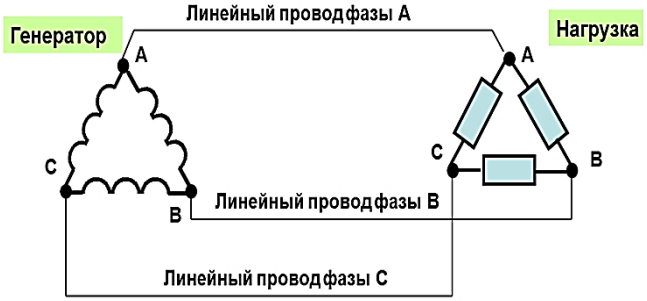


Схема включения генератора и нагрузки "треугольником"

Если обмотки генератора соединены треугольником, то линейное напряжение создает каждая фазная обмотка.

У потребителя, соединенного треугольником, линейное напряжение подключается к зажимам фазного сопротивления. Следовательно, при соединении треугольником фазное напряжение равно линейному напряжению: $U_л = U_ф$. И по схеме идут линейные и фазные токи.

Зависимость между фазными и линейными токами при соединении треугольником:

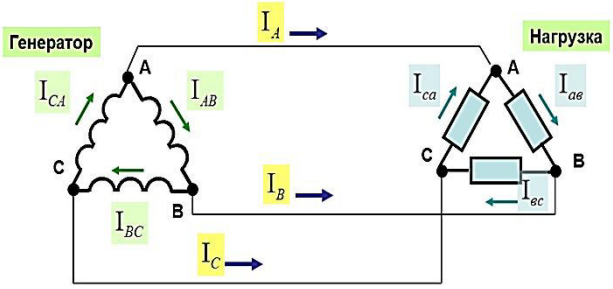
$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}$$
$$\vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}$$
$$\vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}$$

Линейные токи равны геометрической разности фазных токов.

При соединении «треугольником» фазное напряжение равно линейному напряжению: $U_л = U_ф$

I_A I_B I_C **Линейные токи**

I_{AB} I_{BC} I_{CA} **Фазные токи**



При симметричной нагрузке фазные токи одинаковы по величине и сдвинуты один относительно другого на 120°. Производя вычитание векторов фазных токов согласно полученным уравнениям, получаем линейные токи.

Из векторной диаграммы видно, что при соединении «треугольником» линейный ток больше фазного тока в $\sqrt{3}$ раз: $I_л = \sqrt{3}\, I_ф$

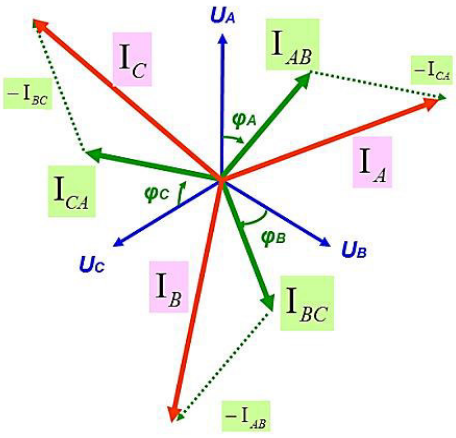
Мощности трехфазного переменного тока

При равномерной нагрузке мощность, потребляемая от трехфазной сети, независимо от способа включения нагрузки, выражается следующей формулой:

$P = \sqrt{3}\, I_л U_л \cos\varphi$ активная мощность трехфазного тока при соединении звездой и треугольником

$P = \sqrt{3}\, I_л U_л \sin\varphi$ реактивная мощность трехфазного тока при соединении звездой и треугольником

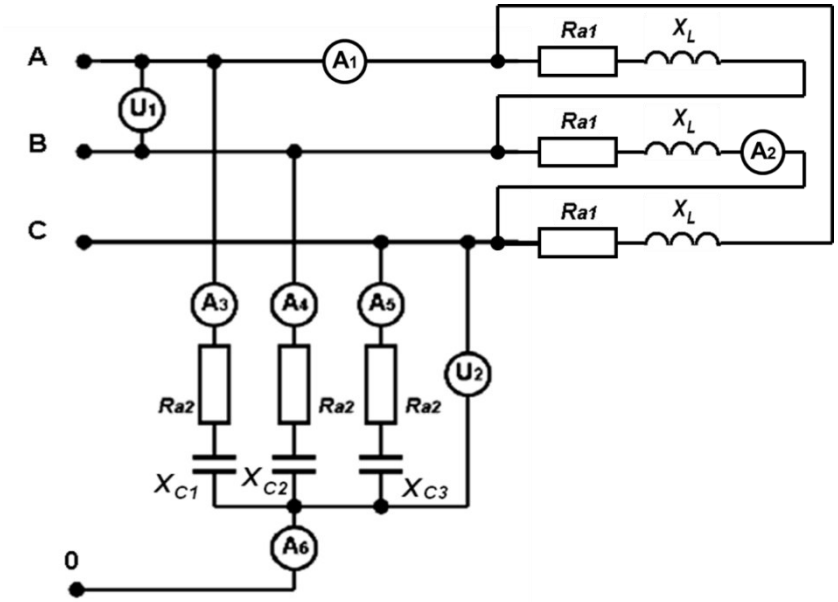
$S = \sqrt{3}\, I_л U_л$ полная мощность при соединении звездой и треугольником Для измерения мощности применяют специальные измерительные приборы, называемые ваттметрами.



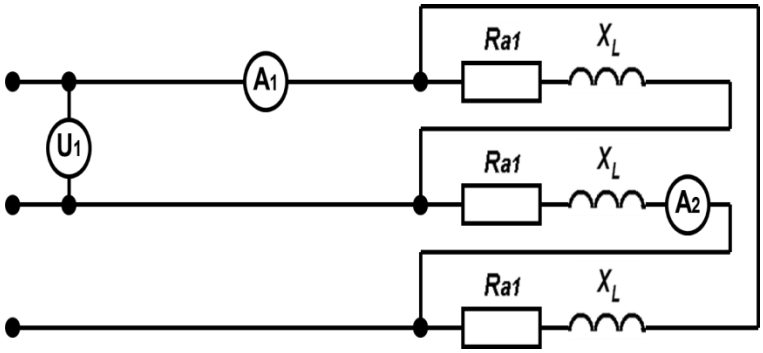
Векторная диаграмма линейных и фазных токов для соединения "треугольником"

Пример 4:

Расчетно - графическая работа №4, 5
Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока



1. Расчет трехфазных электрических цепей, соединенных «треугольником»:



Дано: В трехфазную систему включена:
а) симметричная активно-индуктивная нагрузка – $R_1 = R_A = R_B = R_C = 10\,Ом$

$X_L = X_A = X_B = X_C = 8\,Ом$

Определить : показания всех приборов, включенных в схему и построить векторные диаграммы нагрузок если U1=220 В

Решение:

1) Определяем схему соединения нагрузок: Симметричная нагрузка Ra1 – XL соединена в «треугольник»

– вольтметр U_1 - общий для всей цепи, включен между линейными проводами А и В:

$U_1 = U_л = 220\ В$

- амперметр A_1 измеряет линейный ток для нагрузки, соединенной в «треугольник»:

$$A_1 = \mathrm{I}_{л1}$$

- амперметр A_2 измеряет фазный ток для нагрузки, соединенной в «треугольник»:

$$A_2 = \mathrm{I}_{ф2}$$

При соединении генератора и нагрузки «треугольником»: $U_л = U_ф$

Расчет линейного и фазного напряжений цепи: $U_л = U_ф = 220\ В$

Расчет линейных и фазных токов цепи: $\mathrm{I}_л = \sqrt{3} \cdot \mathrm{I}_ф$

Ток каждой фазы определяется по закону Ома: $I_ф = \dfrac{U_ф}{Z_ф}$

<u>Ток фазы А</u> $\mathrm{I}_{фA} = \dfrac{U_ф}{Z_{фA}} = \dfrac{220}{12{,}8} = 17\ A$

$$Z_{фA} = \sqrt{R_{a1}^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 8^2} = \sqrt{164} = 12{,}8\ Ом$$

<u>Ток фазы В</u> $\mathrm{I}_{фB} = \dfrac{U_ф}{Z_{фB}} = \dfrac{220}{12{,}8} = 17\ A$

$$Z_{фB} = \sqrt{R_{a1}^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 8^2} = \sqrt{164} = 12{,}8\ Ом$$

<u>Ток фазы С</u> $\mathrm{I}_{фC} = \dfrac{U_ф}{Z_{фC}} = \dfrac{220}{12{,}8} = 17\ A$

$$Z_{фC} = \sqrt{R_{a1}^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 8^2} = \sqrt{164} = 12{,}8\ Ом$$

Определяем линейный ток для каждой фазы:

$$\mathrm{I}_{лA} = \sqrt{3} \cdot \mathrm{I}_{фA} = \sqrt{3} \cdot 17 = 29{,}4\ A$$

$$\mathrm{I}_{лB} = \sqrt{3} \cdot \mathrm{I}_{фB} = \sqrt{3} \cdot 17 = 29{,}4\ A$$

$$\mathrm{I}_{лC} = \sqrt{3} \cdot \mathrm{I}_{фC} = \sqrt{3} \cdot 17 = 29{,}4\ A$$

Начертим в масштабе векторную диаграмму

$$M_U = \frac{40\,B}{1\,см} \Rightarrow \quad U_ф = U_л = 5{,}5\,см$$

$$M_{\mathrm{I}} = \frac{5\,A}{1\,см} \quad \Rightarrow \quad I_л = 5{,}9\,см, \quad I_ф = 3{,}4\,см$$

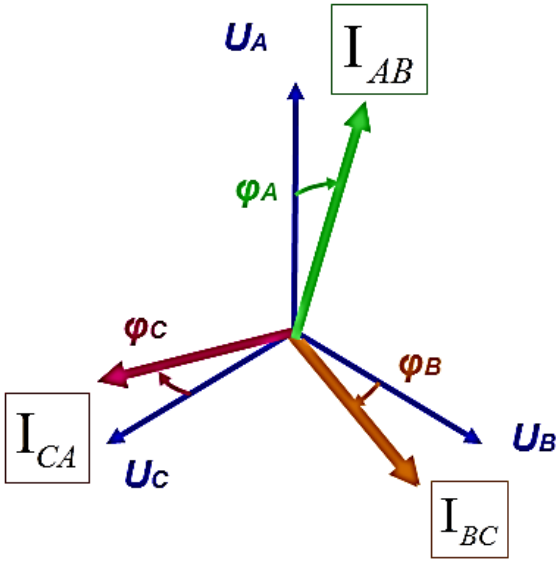
Построение начинаем с векторов напряжений, располагая их под углом 120 градусов друг относительно друга.

Откладываем фазные токи. Для этого определяем углы сдвигов фазных токов относительно фазных напряжений:

фаза А $$\cos\varphi_A = \frac{R_{a1}}{Z_A} = \frac{10}{12{,}8} = 0{,}78 \quad \Rightarrow \quad \varphi = 38^0$$

фаза В $$\cos\varphi_B = \frac{R_{a1}}{Z_B} = \frac{10}{12{,}8} = 0{,}78 \quad \Rightarrow \quad \varphi = 38^0$$

фаза С $$\cos\varphi_C = \frac{R_{a1}}{Z_C} = \frac{10}{12{,}8} = 0{,}78 \quad \Rightarrow \quad \varphi = 38^0$$



т.к. нагрузка в «треугольнике» активно – индуктивная, то откладываем фазные токи под углами, соответствующими каждой фазе в сторону отставания от фазных напряжений (по часовой стрелке)

$$I_{фA} = 3{,}4\,см,$$
$$I_{фB} = 3{,}4\,см,$$
$$I_{фC} = 3{,}4\,см$$

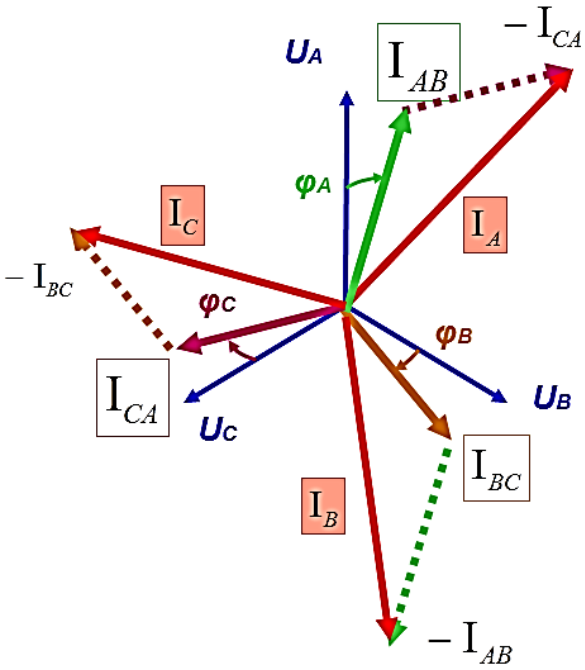
Определяем линейные токи:

Линейные токи равны геометрической разности фазных токов.

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA} = \vec{I}_{AB} + \left(-\vec{I}_{CA}\right)$$

$$\vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB} = \vec{I}_{BC} + \left(-\vec{I}_{AB}\right)$$

$$\vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC} = \vec{I}_{CA} + \left(-\vec{I}_{BC}\right)$$



Определяем линейные токи по векторной диаграмме с помощью линейки:

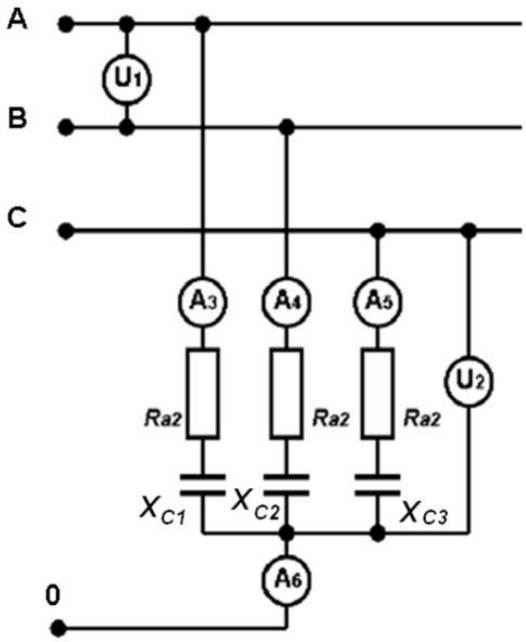
$$I_л = I_A = I_B = I_C = 5{,}9\,см \cdot 5\,A \approx 29{,}4\,A$$

2. Расчет трехфазных электрических цепей,

соединенных «звездой»:

Дано: В трехфазную систему включена:
а) несимметричная активно - емкостная нагрузка:

$$R_{a2} = 10\ Ом$$
$$X_{C1} = 2\ \ Ом$$
$$X_{C2} = 4\ \ Ом$$
$$X_{C3} = 6\ \ Ом$$



Определить : показания всех приборов, включенных в схему и построить векторные диаграммы нагрузок если U1=220 В

Решение:

1) Определяем схему соединения нагрузок:

Несимметричная нагрузка Ra2 - Xc соединена в «звезду» с нулевым проводом

2) Определяем электрические параметры, измеряемые включенными в цепь приборами. U_1
– вольтметр - общий для всей цепи, включен между линейными проводами А и В:

$$U_1 = U_л = 220\ B$$

- вольтметр U_2 включен между линейным проводом С и нулевым проводом 0, нагрузки соединенной «звездой»: $U_2 = U_{ф2}$

- Амперметры $A_3, A_4, A_5\}$, измеряют фазные токи фаз А,В,С нагрузки, соединенной «звездой»:

$$\left.\begin{aligned} A_3 &= I_{фA} \\ A_4 &= I_{фB} \\ A_5 &= I_{фC} \end{aligned}\right\}$$

– Амперметр A_6 измеряет нулевой ток нагрузки, соединенной «звездой»: $A_6 = \mathrm{I}_0$

Расчет цепи соединенной «звездой»:

При соединении генератора и нагрузки «звездой»: $U_л = \sqrt{3} U_ф$

Расчет линейного и фазного напряжений цепи:
- Общее линейное напряжение цепи $Uл = 220B$
- Фазное напряжение:

$$U_ф = \frac{Uл}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127B$$

$$\mathrm{I}_л = \mathrm{I}_ф$$

Расчет линейных и фазных токов цепи

При соединении генератора и нагрузки «звездой» линейный ток равен фазному току:

Ток каждой фазы определяется по закону Ома: $I_ф = \frac{U_ф}{Z_ф}$

Ток фазы А $I_{лА} = I_{фА} = \frac{U_ф}{Z_{фА}} = \frac{127}{10,2} = 12,5\ A$ $\quad Z_{фА} = \sqrt{R_{a2}^2 + Xc_1^2} = \sqrt{10^2 + 2^2} = \sqrt{104} = 10,2\ Ом$

Ток фазы В $I_{лВ} = I_{фВ} = \frac{U_ф}{Z_{фВ}} = \frac{127}{10,8} = 11,8\ A$ $\quad Z_{фВ} = \sqrt{R_{a2}^2 + Xc_2^2} = \sqrt{10^2 + 4^2} = \sqrt{116} = 10,8\ Ом$

Ток фазы С $I_{лС} = I_{фС} = \frac{U_ф}{Z_{фС}} = \frac{127}{11,7} = 10,85\ A$ $\quad Z_{фС} = \sqrt{R_{a2}^2 + Xc_3^2} = \sqrt{10^2 + 6^2} = \sqrt{136} = 11,7\ Ом$

Ток в нулевом проводе равен: $\vec{I}_0 = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$

Для определения тока I_0 в нулевом проводе начертим в масштабе векторную диаграмму:

$$M_U = \frac{40\,B}{1\,см} \Rightarrow \quad U_ф = 3,2\,см; \quad U_л = 5,5\,см$$

$$M_I = \frac{3\,A}{1\,см} \quad \Rightarrow \quad I_{фА} = 4,2\,см,$$

$$I_{фВ} = 4\,см, \qquad I_{фС} = 3,6\,см$$

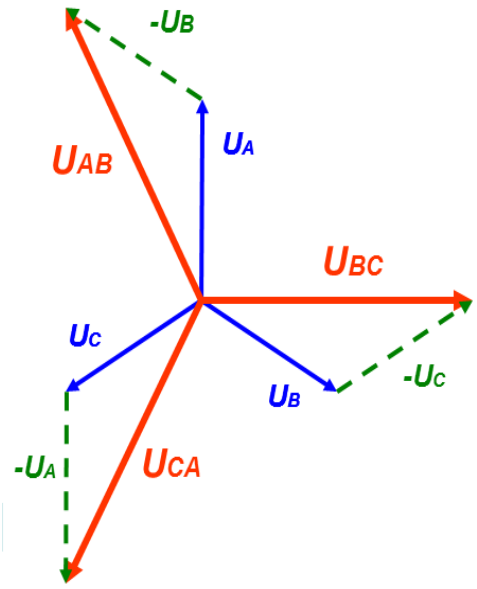
- Построение начинаем с векторов фазных напряжений $U_ф$, располагая их под углом 120^0 друг относительно друга; $U_ф = 3,2\,см = 127\ B$

Находим линейные напряжения $U_л$ как разность 2х соответствующих фазных напряжений:

$$\vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B = \vec{U}_A + \left(-\vec{U}_B\right)$$

$$\vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C = \vec{U}_B + \left(-\vec{U}_C\right)$$

$$\vec{U}_{CA} = \vec{U}_C - \vec{U}_A = \vec{U}_C + \left(-\vec{U}_A\right)$$



По векторной диаграмме получается:

$$U_л = 5,5\,см = 220\ B$$

Откладываем фазные токи.

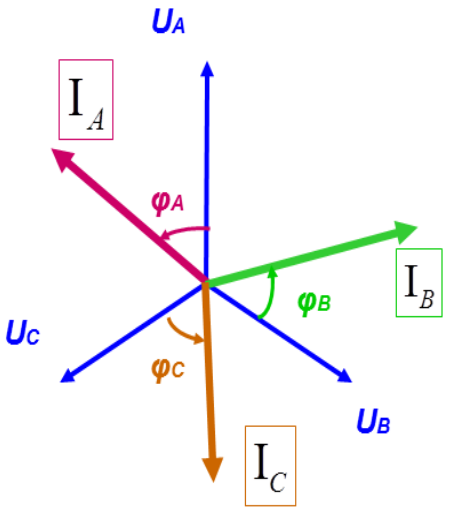
Для этого определяем углы сдвигов фазных токов относительно фазных напряжений:

фаза A $\cos\varphi_A = \frac{R_{a2}}{Z_A} = \frac{6}{10{,}2} = 0{,}59 \Rightarrow \quad \varphi = 53^0$ $\quad I_{фA} = 4{,}2\,см,$

фаза B $\cos\varphi_B = \frac{R_{a2}}{Z_B} = \frac{6}{10{,}8} = 0{,}55 \Rightarrow \quad \varphi = 56^0$ $\quad I_{фB} = 4\,см,$

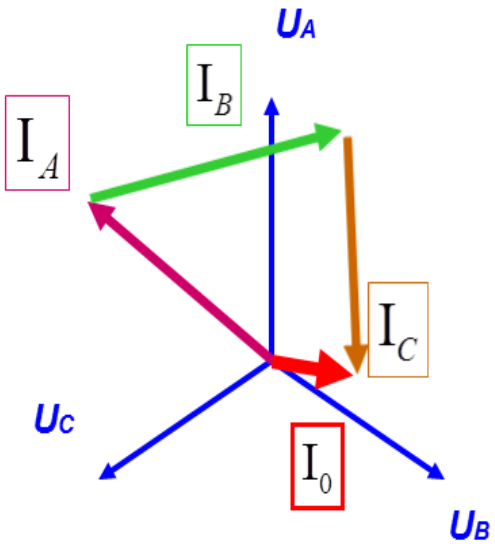
фаза C $\cos\varphi_C = \frac{R_{a2}}{Zc} = \frac{6}{11{,}7} = 0{,}51 \Rightarrow \quad \varphi = 59^0$ $\quad I_{фC} = 3{,}6см$

т.к. нагрузка в «звезде» активно – емкостная, то откладываем фазные токи под углами, соответствующими каждой фазе в сторону *<u>опережения фазных напряжений</u>* (против часовой стрелки)



Ток в нулевом проводе равен геометрической сумме трех фазных токов:

$$\vec{I}_0 = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$$

По диаграмме с помощью линейки определяем:

$\boxed{I_0 = 0{,}8\,см}$ $\quad \boxed{I_0 = 0{,}8см \cdot 3A = 2{,}4\ A}$