

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.03. Электротехника и электроника
по специальности

специальности 23.02.04 Техническая эксплуатация подъемно-транспортных,
строительных, дорожных машин и оборудования (по отраслям)
базовая подготовка среднего профессионального образования

Иркутск, 2023

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 общетехнических и электротехнических дисциплин
Протокол № 9
«25» мая 2023 г.
Председатель ЦМК: Игнатенко Ж.С.

Разработчик:
Д.Б. Попов преподаватель ФГБОУ ВО ИрГУПС СКТиС

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 специальность специальности 23.02.04 Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования (по отраслям)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Настоящие методические указания по дисциплине «ОП.03. Электротехника и электроника специальность специальности 23.02.04 Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования (по отраслям) составлены в соответствии с требованиями ФГОС третьего поколения.

Практические задания направлены на экспериментальное подтверждение теоретических положений и формирование учебных и профессиональных практических умений, они составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки специалистов среднего звена по специальности 23.02.04 Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования (по отраслям) по формированию:

умений:

- рассчитывать основные параметры простых электрических и магнитных цепей;
- собирать электрические схемы постоянного и переменного тока и проверять их работу;
- пользоваться современными электроизмерительными приборами и аппаратами для диагностики электрических цепей;

знаний:

- сущность физических процессов, протекающих в электрических и магнитных цепях;
- принципы, лежащие в основе функционирования электрических машин и электронной техники;
- методику построения электрических цепей, порядок расчета их параметров;
- способы включения электроизмерительных приборов и методы измерения электрических величин

Содержание дисциплины должно быть ориентировано на подготовку студентов к овладению профессиональными компетенциями (ПК):

ПК 2.3. Определять техническое состояние систем и механизмов подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования;

. В процессе освоения дисциплины у студентов должны формировать общие компетенции (ОК) (Приложение 1):

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

ОК 02. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности;

Выполненная работа должна быть представлена в виде отчета по заданной форме.

Результат выполнения практических заданий оценивается – зачет/незачет.

Критериями оценки служат использование основных методов и приемов, представленных в данном методическом пособии.

С учётом вышеизложенного в данных методических указаниях приведено 4 практических работы.

Каждая практическая работа содержит цель, методическое руководство к выполнению, перечень оснащения работы, содержание работы, контрольные вопросы.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Расчет цепей постоянного тока
2. Расчет параметров переменного тока
3. Расчет неразветвленных электрических цепей переменного тока.
4. Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока соединенных «треугольником и «звездой».
5. Выбор электродвигателя для работы электропривода

Методические указания к решению практических работ

Практическая работа №1 РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

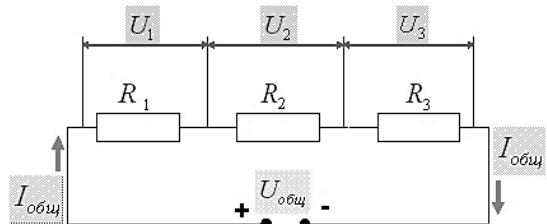
Решение этой задачи требует знания закона Ома для всей цепи и ее участков, первого закона Кирхгофа и методики определения эквивалентного сопротивления цепи смешанного соединения резисторов.

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:

$$I_{общ} = I_1 = I_2 = I_3 \quad \text{сила тока на всех участках}$$

$U_{общ} = U_1 + U_2 + U_3$ напряжение на зажимах источника равно сумме напряжений на всех участках

$R_{экв} = R_1 + R_2 + R_3$ эквивалентное (общее) сопротивление равно сумме сопротивлений, соединенных последовательно

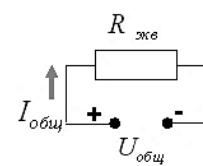


рис.1

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.

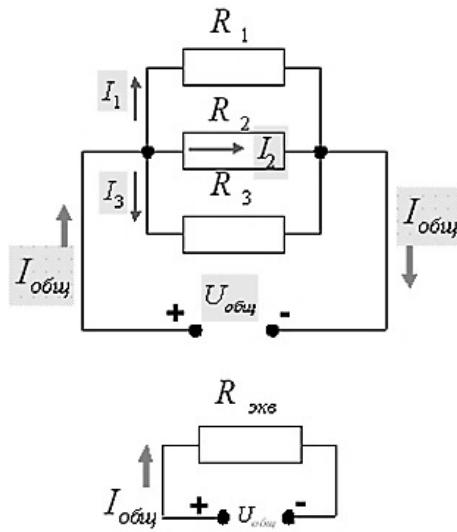


рис.

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

$G_{общ} = G_1 + G_2 + G_3$ эквивалентная (общая) проводимость разветвления цепи

равна сумме проводимостей отдельных ветвей, составляющих цепь

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

Так как $R_{общ}$ и R_{123} между узлами постоянны, 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.

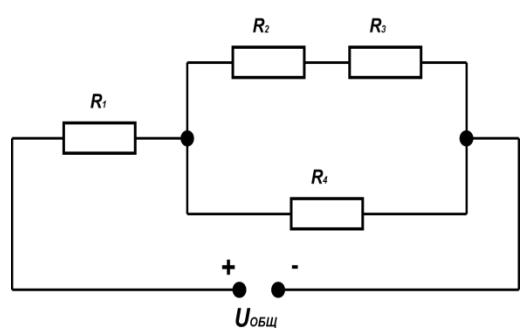
Пример1:

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.

<p>В схеме имеется чисто последовательное соединение резисторов R_2 и R_3.</p>	<p>Схема А)</p>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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. 	<p>Схема Б)</p>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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 резисторов R_1 и R_{234}. 	<p>Схема В)</p>
<p>По законам последовательного соединения можно найти эквивалентное сопротивление всей схемы $R_{экв} = R_1 + R_{234}$</p>	<p>Схема С)</p>

Рассчитаем все токи и все напряжения, которые можно определить в данной цепи.

Определение и расчет цепи начинаем с самого простейшего варианта (С).

<p>Дано: $R_{экв}$, $U_{общ}$</p> <p><u>Определяем:</u> $I_{общ}$ по закону Ома:</p> $I_{общ} = \frac{U_{общ}}{R_{экв}}$	<p>Схема С)</p>
---	------------------------

Дано: R_1 , R_{234} , $I_{общ}$, $U_{общ}$

Определяем падение напряжения на каждом резисторе.

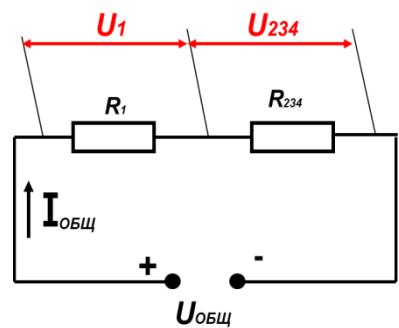
По законам последовательного соединения

$$U_{общ} = U_1 + U_{234}$$

По закону Ома:

$$U_1 = I_{общ} \cdot R_1 \quad U_{234} = I_{общ} \cdot R_{234}$$

Схема В)



Дано: R_1 , R_{23} , R_4 , $I_{общ}$, $U_{общ}$, U_1 , U_{234}

Схема Б)

Определяем токи разветвления I_{23} и I_4

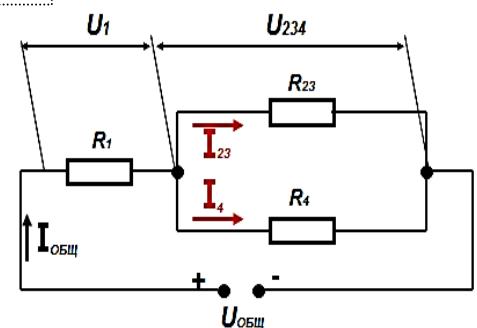
По закону параллельного соединения:

$$I_{общ} = I_{23} + I_4$$

$$I_{23} = \frac{U_{234}}{R_{23}}$$

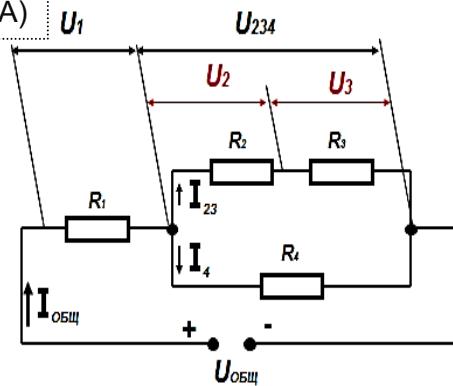
$$I_4 = \frac{U_{234}}{R_4}$$

по закону Ома:



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

Схема А)



Пример 2:

Практическая работа №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

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

Дано:

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

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

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

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

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

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

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

$$3. \text{ Угол } \alpha \text{ (начальная фаза)} \quad \alpha_1 = \frac{\pi}{2} = 90^\circ \quad \alpha_2 = -\frac{\pi}{6} = -30^\circ$$

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

$$5. \text{ Частота } f \text{ (Гц)}$$

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

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

1. 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

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

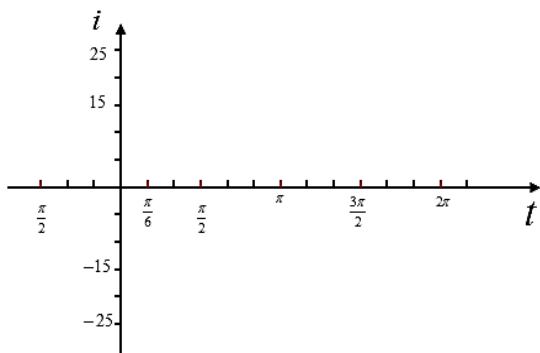
Построение графика токов

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

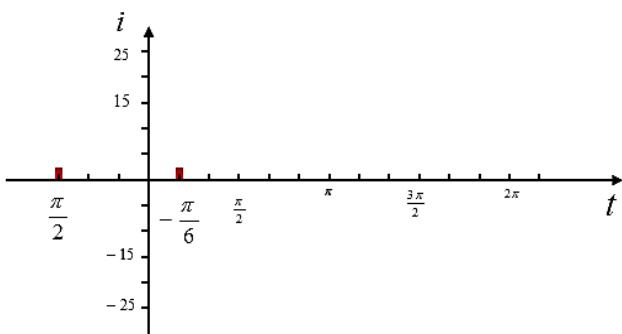


2. На начальном этапе построения графиков откладываются начальные фазы, которые будут являться началом периода синусоид

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.

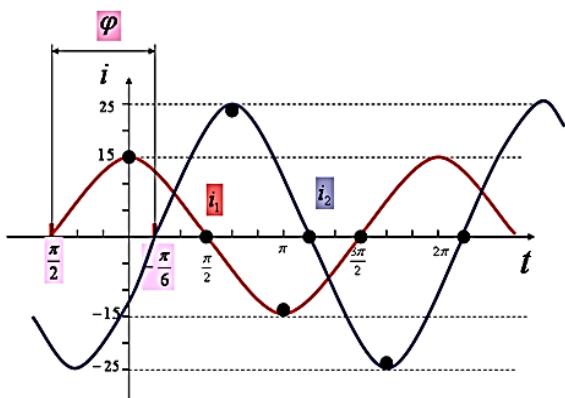


$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2} = 90^\circ > 0$$

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

5. Определяем угол сдвига фаз между токами i_1 и i_2

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

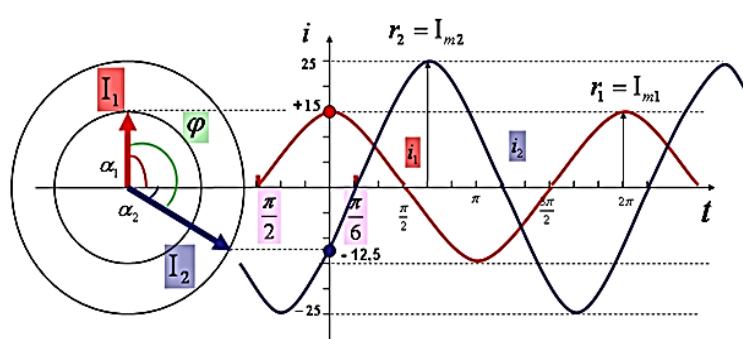


6. Построим круговую диаграмму в начальный момент времени $t = 0$.

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

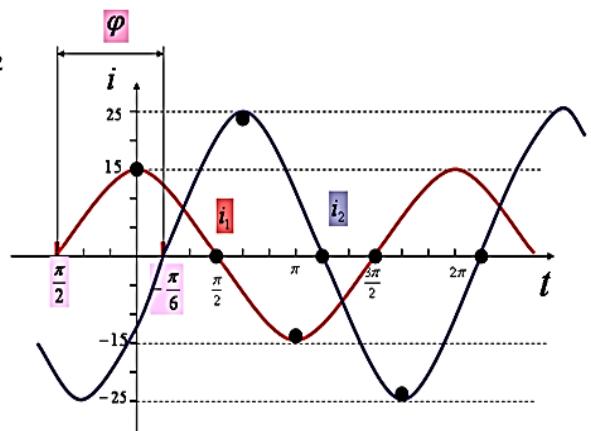
Строим по этим значениям вспомогательные окружности. Переносим значения токов в соответствии с их начальными фазами $\alpha_1 = \frac{\pi}{2}$ $\alpha_2 = -\frac{\pi}{6}$ на эти окружности. Строим вектора токов.

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 $\varphi = 120^\circ$

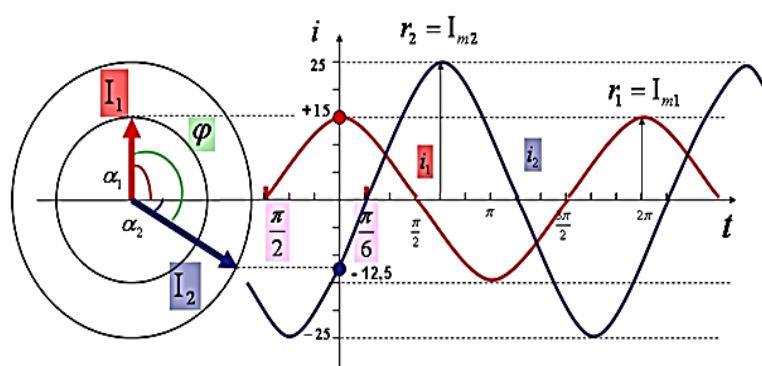


6. Построим круговую диаграмму в начальный момент времени $t = 0$.

По расчетам значения токов в этот момент времени $i_1 = 15 \text{ A}$ $i_2 = -12.5 \text{ A}$.

Строим по этим значениям 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.

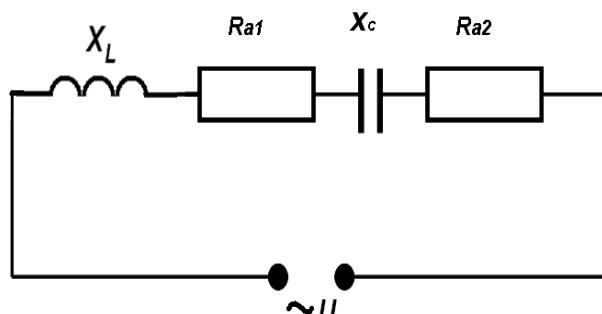
Угол сдвига фаз на векторной диаграмме также должен быть равен $\varphi = 120^\circ$



Данные для расчета смотреть в Приложении 3.

Практическая работа №3

Расчет неразветвленных цепей переменного тока



Дано:

$$X_L = 9 \text{ Ом}$$

$$R_{a1} = 5 \text{ Ом}$$

$$X_C = 15 \text{ Ом}$$

$$R_{a2} = 3 \text{ Ом}$$

$$U = 200 \text{ В}$$

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

1. ОПРЕДЕЛЯЕМ общее сопротивление цепи Z

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

2. ОПРЕДЕЛЯЕМ общий ток цепи I

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

3. ОПРЕДЕЛЯЕМ коэффициент мощности

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

4. ОПРЕДЕЛЯЕМ падения

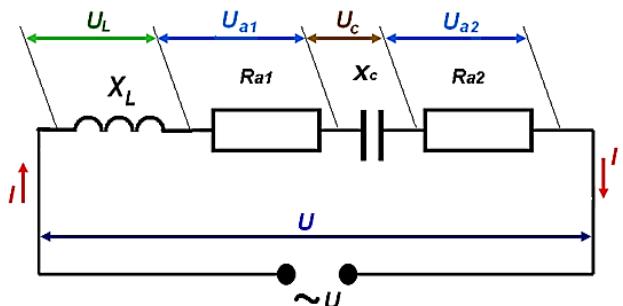
напряжения на сопротивлениях

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

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

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

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



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

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

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

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

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

$$U = 200 \text{ B} \quad I = 20 \text{ A}$$

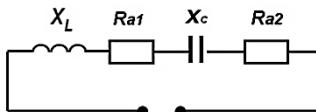
$$U_{a2} = 1,2 \text{ см}$$

$$U_L = 3,6 \text{ см}$$

$$U_C = 6 \text{ см}$$

$$U = 4 \text{ см}$$

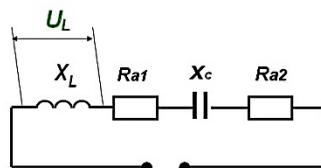
1. Откладываем горизонтально вектор $I = 4 \text{ см}$



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)

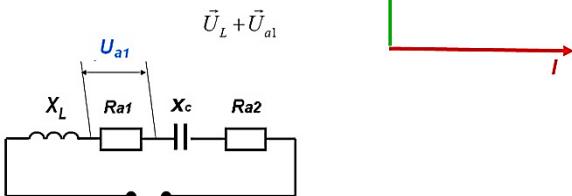


3. В электрической схеме вторым по счету стоит активное сопротивление R_{a1}

- Падение напряжения на нем U_{a1}

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

- При этом производится векторное сложение

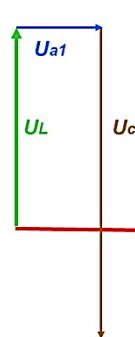
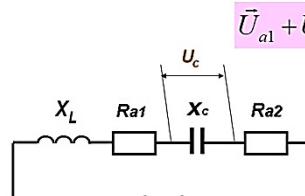


4. В электрической схеме третьим по счету стоит реактивное емкостное сопротивление X_c

- 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

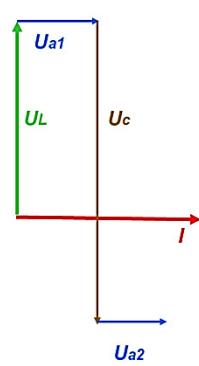
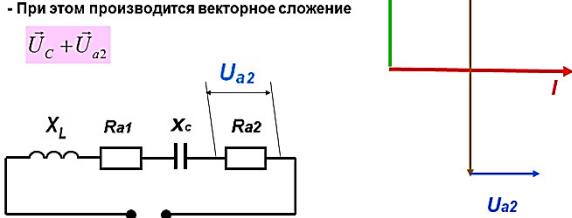


5. В электрической схеме четвертым по счету стоит активное сопротивление R_{a2}

- Падение напряжения на нем U_{a2}

- На векторной диаграмме вектор U_{a2} откладывается относительно вектора тока параллельно

- При этом производится векторное сложение

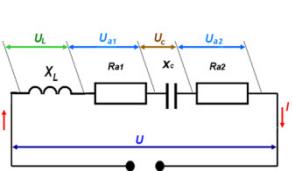


6. После геометрического сложения всех четырех векторов напряжений определяем полное напряжение схемы:

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

- Для этого соединяем начало самого первого сопротивления U_L

с концом самого последнего вектора U_{a2}



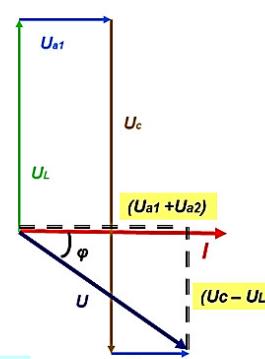
Из векторной диаграммы определяем, что:
 $U = 4 \text{ см}$ или $U = 200 \text{ В}$ $\varphi = 36^\circ$

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 активную мощность электрической цепи:

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

или

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

ОПРЕДЕЛЯЕМ реактивную мощность электрической цепи:

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

или

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

ОПРЕДЕЛЯЕМ полную мощность электрической цепи:

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

или

$$S = U \cdot I = 200 \cdot 20 = 4000 \text{ ВА}$$

Практическая работа № 4, 5

Методические указания к решению

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 ($\frac{1}{3}\pi$) периода.

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

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

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

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

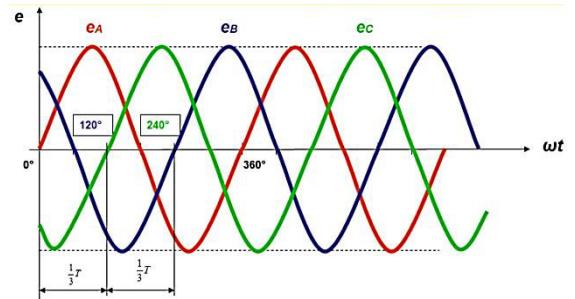
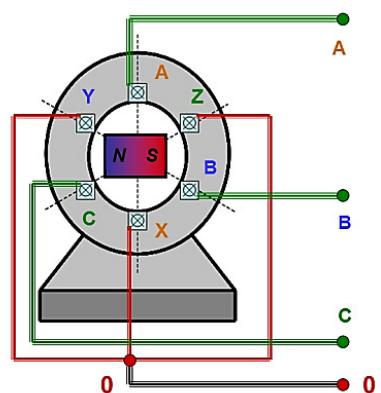


рис.8



Четырехпроводная трехфазная система

рис.9

Соединение обмоток генератора «звездой».

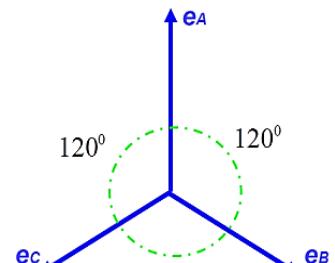
При соединении обмоток звездой концы обмоток X , Y , Z соединяются в одну точку N , называемую *нулевой точкой или нейтральной генератора*.

В четырехпроводной 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 напряжениями* и обозначаются U_A , U_B , U_C или в общем виде U_ϕ

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_L .

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 $\angle\varphi = 120^\circ$. На векторной диаграмме это показывается следующим образом.



Векторная диаграмма трехфазных ЭДС

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

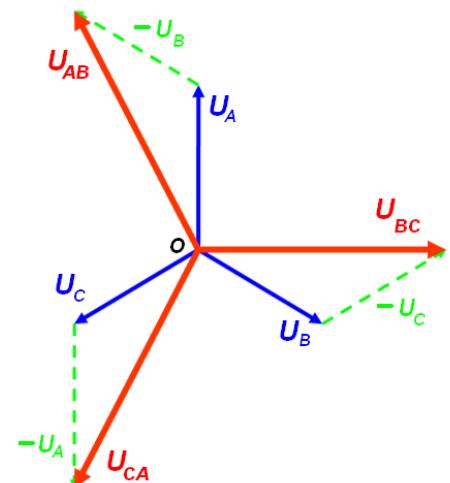
Соотношение между линейными и фазными напряжениями при соединении обмоток генератора «звездой».

Вектор линейного напряжения равен разности векторов соответствующих фазных напряжений.

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_A - \bar{U}_B = \bar{U}_A + (-\bar{U}_B)$$

$$\bar{U}_{BC} = \bar{U}_B - \bar{U}_C = \bar{U}_B + (-\bar{U}_C)$$

$$\bar{U}_{CA} = \bar{U}_C - \bar{U}_A = \bar{U}_C + (-\bar{U}_A)$$

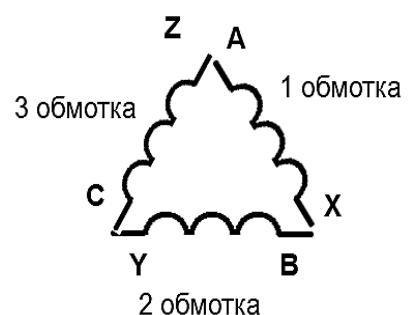


Векторная диаграмма напряжений

$$U_L = \sqrt{3} U_\phi$$

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:*

$$\begin{aligned} U_{AB} &= U_A \\ U_{BC} &= U_B \\ U_{CA} &= U_C \end{aligned}$$

$$U_\varphi = U_\text{L}$$

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)

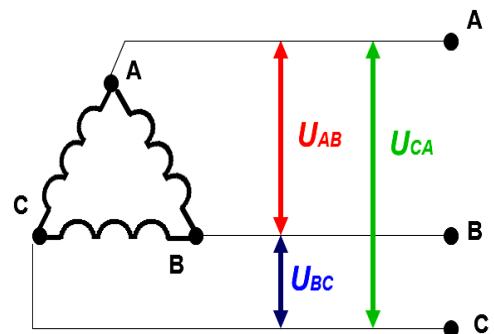
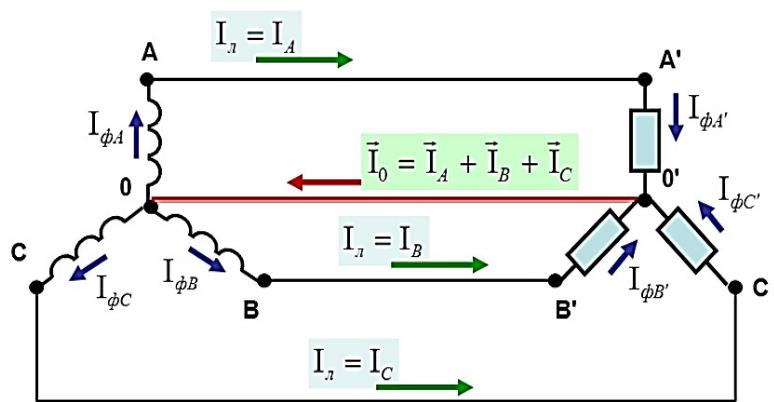


Схема соединения обмоток трехфазного генератора треугольником

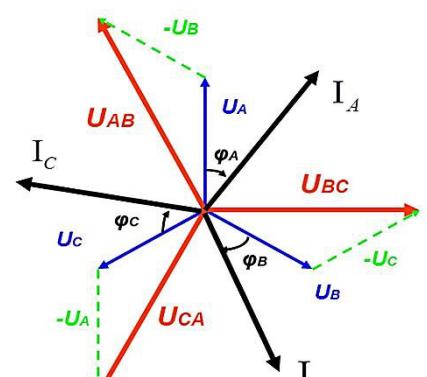
Четырехпроводная система трехфазного тока.

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 потребителя, называется *фазным током* и обозначается в общем виде I_ϕ . Ток, протекающий по линейному проводу, называется *линейным током* и обозначается в общем виде I_L . По нулевому проводу протекает ток, равный *геометрической сумме трех токов*: $\vec{I}_0 = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$.

При соединении звездой линейный ток равен фазному току $I_L = I_\phi$

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_ϕ .

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_L . При этом $U_L = \sqrt{3} U_\phi$.

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

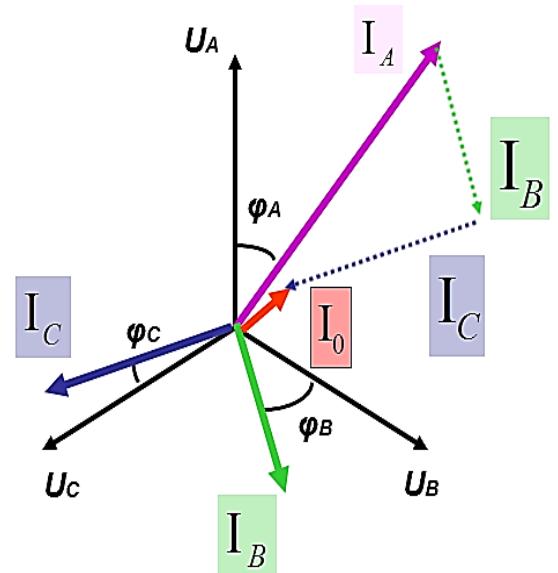
$$I_A = \frac{U_A}{Z_A} \quad I_B = \frac{U_B}{Z_B} \quad I_C = \frac{U_C}{Z_C}$$

Углы сдвига токов относительно фазных напряжений определяются из формул:

$$\cos \varphi_A = \frac{r_A}{z_A} \quad \cos \varphi_B = \frac{r_B}{z_B} \quad \cos \varphi_C = \frac{r_C}{z_C}$$

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.

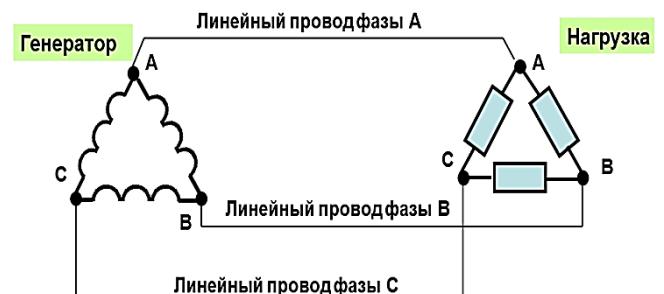


Схема включения генератора и нагрузки «треугольником»

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

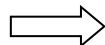
У потребителя, соединенного треугольником, линейное напряжение подключается к зажимам фазного сопротивления. Следовательно, при соединении треугольником фазное напряжение равно линейному напряжению: $U_\varphi = U_\text{L}$. И по схеме идут линейные и фазные токи.

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 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: $I_\text{L} = \sqrt{3} I_\varphi$

Мощности трехфазного переменного тока

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

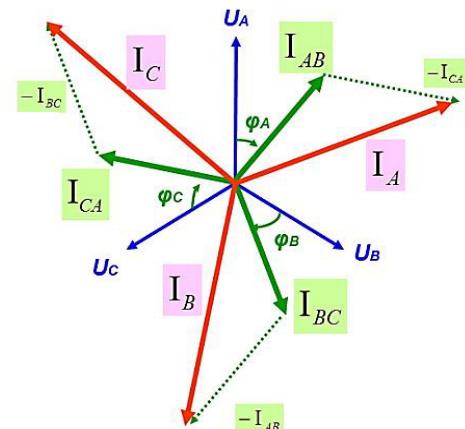
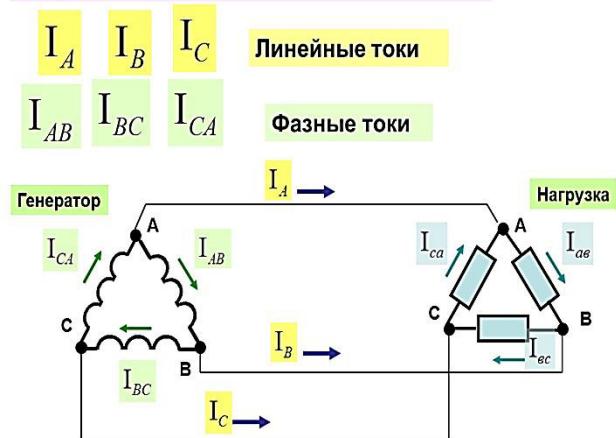
$P = \sqrt{3} I_\text{L} U_\text{L} \cos \varphi$ активная мощность трехфазного тока при соединении звездой и треугольником

$P = \sqrt{3} I_\text{L} U_\text{L} \sin \varphi$ реактивная мощность трехфазного тока при соединении звездой и треугольником

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

При соединении «треугольником»
фазное напряжение равно линейному
напряжению:

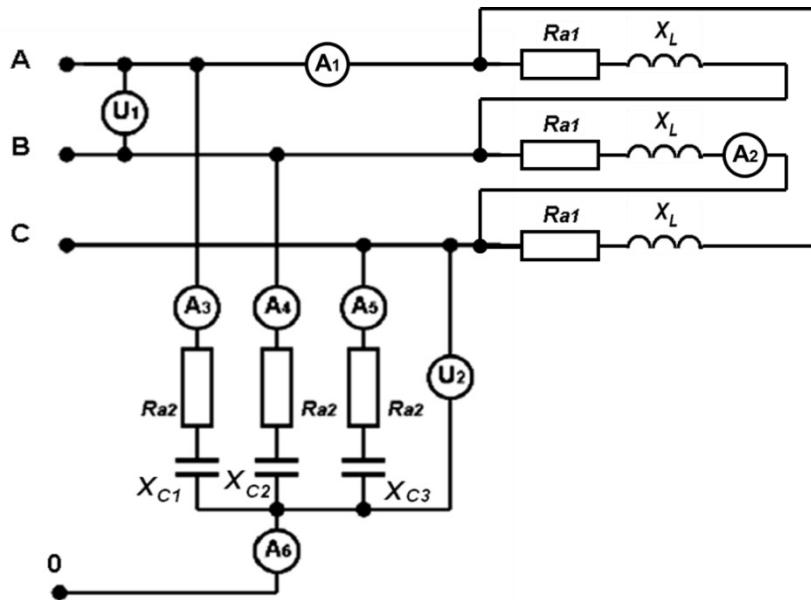
$$U_\varphi = U_\text{L}$$



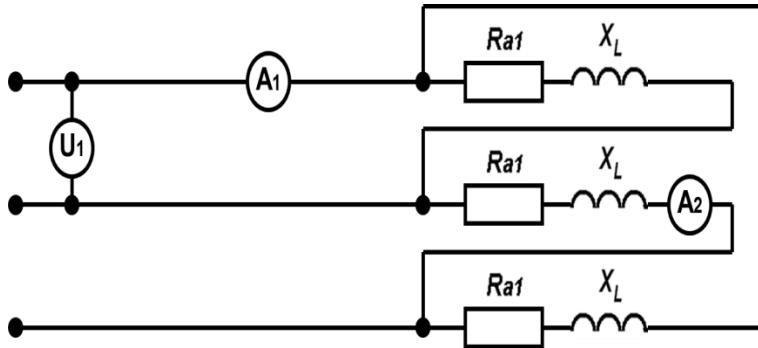
Векторная диаграмма
линейных и фазных токов
для соединения "треугольником"

Пример:

Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока



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



Дано: В трехфазную систему включена:

$$R_l = R_A = R_B = R_C = 10 \text{ Ом}$$

а) симметричная активно-индуктивная нагрузка –

$$X_L = X_A = X_B = X_C = 8 \text{ Ом}$$

Определить : показания всех приборов, включенных в схему и построить векторные диаграммы нагрузок если $U_1=220$ В

Решение:

1) Определяем схему соединения нагрузок: Симметричная нагрузка $R_{a1} - X_L$ соединена в «треугольник»

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

$$U_1 = U_\lambda = 220 \text{ B}$$

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

$$A_1 = I_{\lambda 1}$$

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

$$A_2 = I_{\phi 2}$$

При соединении генератора и нагрузки «треугольником»: $U_\lambda = U_\phi$

Расчет линейного и фазного напряжений цепи: $U_\lambda = U_\phi = 220 \text{ B}$

Расчет линейных и фазных токов цепи: $I_\lambda = \sqrt{3} \cdot I_\phi$

Ток каждой фазы определяется по закону Ома: $I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi}$

$$\underline{\text{Ток фазы } A} \quad I_{\phi A} = \frac{U_\phi}{Z_{\phi A}} = \frac{220}{12,8} = 17 \text{ A}$$

$$Z_{\phi A} = \sqrt{R_{a1}^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 8^2} = \sqrt{164} = 12,8 \text{ Om}$$

$$\underline{\text{Ток фазы } B} \quad I_{\phi B} = \frac{U_\phi}{Z_{\phi B}} = \frac{220}{12,8} = 17 \text{ A}$$

$$Z_{\phi B} = \sqrt{R_{a1}^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 8^2} = \sqrt{164} = 12,8 \text{ Om}$$

$$\underline{\text{Ток фазы } C} \quad I_{\phi C} = \frac{U_\phi}{Z_{\phi C}} = \frac{220}{12,8} = 17 \text{ A}$$

$$Z_{\phi C} = \sqrt{R_{a1}^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 8^2} = \sqrt{164} = 12,8 \text{ Om}$$

Определяем линейный ток для каждой фазы:

$$I_{\lambda A} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi A} = \sqrt{3} \cdot 17 = 29,4 \text{ A}$$

$$I_{\lambda B} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi B} = \sqrt{3} \cdot 17 = 29,4 \text{ A}$$

$$I_{\lambda C} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi C} = \sqrt{3} \cdot 17 = 29,4 \text{ A}$$

Начертим в масштабе векторную диаграмму

$$M_U = \frac{40 B}{1 \text{ см}} \Rightarrow U_\phi = U_\lambda = 5,5 \text{ см}$$

$$M_I = \frac{5 A}{1 \text{ см}} \Rightarrow I_\lambda = 5,9 \text{ см}, \quad I_\phi = 3,4 \text{ см}$$

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:

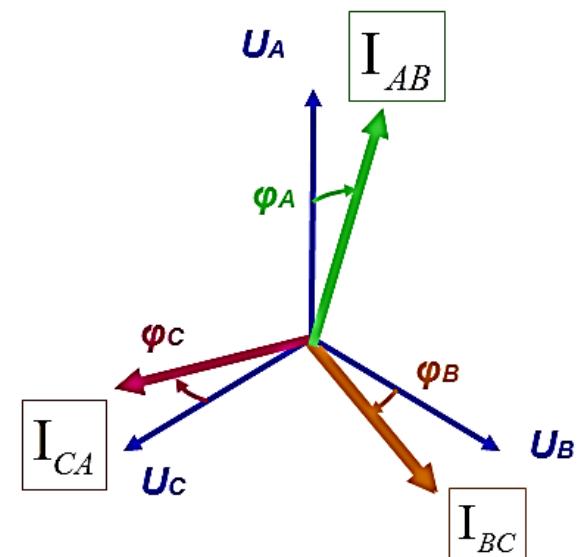
фаза A $\cos \varphi_A = \frac{R_{a1}}{Z_A} = \frac{10}{12,8} = 0,78 \Rightarrow \varphi = 38^\circ$

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

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

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)

$$\begin{aligned} I_{\phi A} &= 3,4 \text{ см}, \\ I_{\phi B} &= 3,4 \text{ см}, \\ I_{\phi C} &= 3,4 \text{ см} \end{aligned}$$



Определяем линейные токи:

Линейные токи равны геометрической разности фазных токов.

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

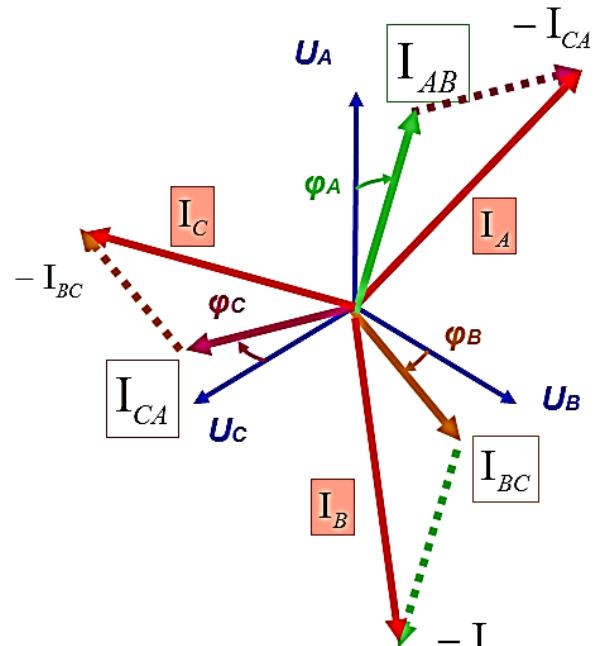
$$\vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB} = \vec{I}_{BC} + (-\vec{I}_{AB})$$

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

Определяем линейные токи по векторной диаграмме с помощью линейки:

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

2. Расчет трехфазных электрических цепей, соединенных «звездой»:



Дано: В трехфазную систему включена:

а) несимметричная активно - емкостная

нагрузка:

$$R_{a2} = 10 \text{ } \Omega$$

$$X_{C1} = 2 \text{ } \Omega$$

$$X_{C2} = 4 \text{ } \Omega$$

$$X_{C3} = 6 \text{ } \Omega$$

Определить : показания всех приборов, включенных в схему и построить векторные диаграммы нагрузок если $U_1=220 \text{ V}$

Решение:

1) Определяем схему соединения нагрузок:

Несимметричная нагрузка R_{a2} - X_C соединена в «звезду» с нулевым проводом

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

$$U_1 = U_\phi = 220 \text{ V}$$

- вольтметр U_2 включен между линейным проводом С и нулевым проводом 0, нагрузки соединенной «звездой»: $U_2 = U_{\phi 2}$

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

$$\left. \begin{array}{l} A_3 = I_{\phi A} \\ A_4 = I_{\phi B} \\ A_5 = I_{\phi C} \end{array} \right\}$$

– Амперметр A_6 измеряет нулевой ток нагрузки, соединенной «звездой»: $A_6 = I_0$

Расчет цепи соединенной «звездой»:

$$U_\phi = \sqrt{3} U_\phi$$

При соединении генератора и нагрузки «звездой»:

Расчет линейного и фазного напряжений цепи:

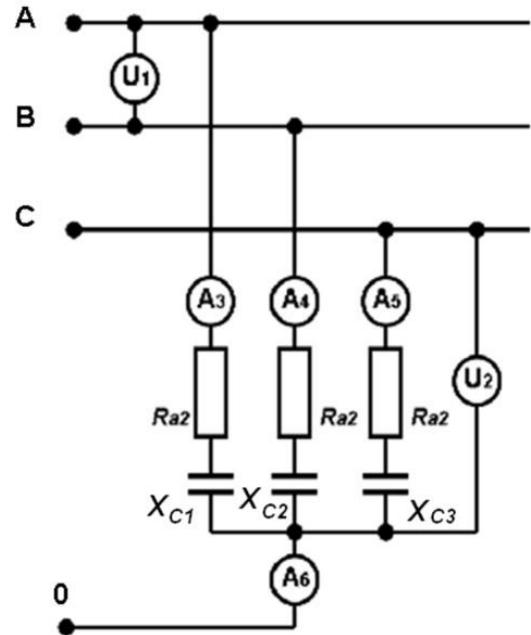
- Общее линейное напряжение цепи $U_L = 220 \text{ V}$

- Фазное напряжение:

$$U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V} \quad I_\phi = I_L$$

Расчет линейных и фазных токов цепи

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



Ток каждой фазы определяется по закону Ома: $I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi}$

$$\text{Ток фазы } A \quad I_{\phi A} = I_{\phi A} = \frac{U_\phi}{Z_{\phi A}} = \frac{127}{10,2} = 12,5 \text{ A} \quad Z_{\phi A} = \sqrt{R_{a2}^2 + Xc_1^2} = \sqrt{10^2 + 2^2} = \sqrt{104} = 10,2 \text{ Ом}$$

$$\text{Ток фазы } B \quad I_{\phi B} = I_{\phi B} = \frac{U_\phi}{Z_{\phi B}} = \frac{127}{10,8} = 11,8 \text{ A} \quad Z_{\phi B} = \sqrt{R_{a2}^2 + Xc_2^2} = \sqrt{10^2 + 4^2} = \sqrt{116} = 10,8 \text{ Ом}$$

Ток фазы C

$$I_{\phi C} = I_{\phi C} = \frac{U_\phi}{Z_{\phi C}} = \frac{127}{11,7} = 10,85 \text{ A} \quad Z_{\phi C} = \sqrt{R_{a2}^2 + Xc_3^2} = \sqrt{10^2 + 6^2} = \sqrt{136} = 11,7 \text{ Ом}$$

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:

$$M_U = \frac{40 \text{ B}}{1 \text{ см}} \Rightarrow U_\phi = 3,2 \text{ см}; \quad U_n = 5,5 \text{ см}$$

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

$$I_{\phi B} = 4 \text{ см}, \quad I_{\phi C} = 3,6 \text{ см}$$

- Построение начинаем с векторов фазных напряжений U_ϕ , располагая их под углом 120° друг относительно друга: $U_\phi = 3,2 \text{ см} = 127 \text{ В}$

Находим линейные напряжения U как разность 2x соответствующих фазных напряжений:

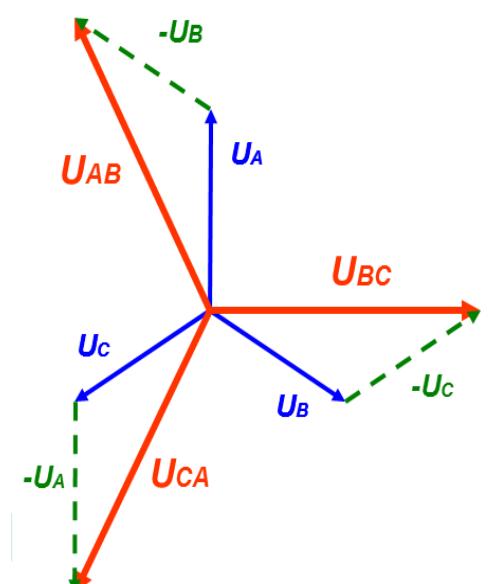
$$\vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B = \vec{U}_A + (-\vec{U}_B)$$

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

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

По векторной диаграмме получается:

$$U_n = 5,5 \text{ см} = 220 \text{ В}$$



Откладываем фазные токи.

Для этого определяем углы сдвигов фазных токов относительно фазных напряжений:

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

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

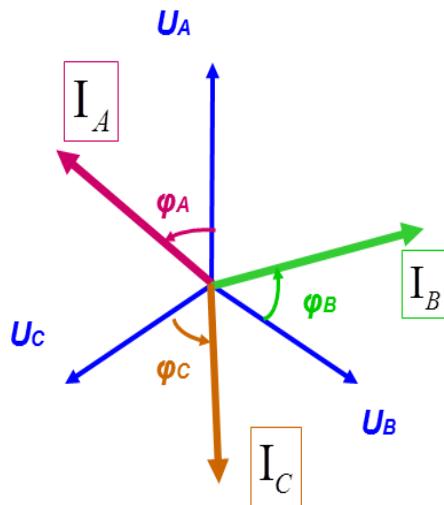
$$\text{фаза } C \quad \cos \varphi_C = \frac{R_{a2}}{Z_C} = \frac{6}{11,7} = 0,51 \Rightarrow \varphi = 59^0$$

$$I_{\phi A} = 4,2 \text{ см},$$

$$I_{\phi B} = 4 \text{ см},$$

$$I_{\phi C} = 3,6 \text{ см}$$

т.к. нагрузка в «звезды» активно – емкостная, то откладываем фазные токи под углами, соответствующими каждой фазе в сторону отрежения фазных напряжений (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:

$$I_0 = 0,8 \text{ см}$$

$$I_0 = 0,8 \text{ см} \cdot 3A = 2,4 \text{ А}$$

