

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 ОПЦ.02. Электротехника и электроника
по специальности
08.02.10 Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство
базовая подготовка среднего профессионального образования

Иркутск 2023

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 21.02.03 «Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ».

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

Разработчик:

Н.Б. Эмерсали преподаватель ФГБОУ ВО ИрГУПС СКТиС

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Настоящие методические указания по дисциплине «ОПЦ.02. Электротехника и электроника специальность 21.02.03 «Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» составлены в соответствии с требованиями ФГОС.

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 21.02.03 «Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ», по формированию:

умений:

подбирать устройства электронной техники, электрические приборы и оборудование с определенными параметрами и характеристиками;

правильно эксплуатировать электрооборудование и механизмы передачи движения технологических машин и аппаратов;

рассчитывать параметры электрических, магнитных цепей;

снимать показания и пользоваться электроизмерительными приборами и приспособлениями; собирать электрические схемы; читать принципиальные, электрические и монтажные схемы;

знаний:

классификации электронных приборов, их устройство и область применения;

методов расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей;

основных законов электротехники; основных правил эксплуатации электрооборудования и методы измерения электрических величин;

основ теории электрических машин, принципов работы типовых электрических устройств; основы физических процессов в проводниках, полупроводниках и диэлектриках; параметры электрических схем и единицы их измерения; принципы выбора электрических и

электронных устройств и приборов; принципы действия, устройство, основные

характеристики электротехнических и электронных устройств и приборов; свойства

проводников, полупроводников, электроизоляционных, магнитных материалов; способы

получения, передачи и использования электрической энергии; устройство, принцип

действия и основные характеристики электротехнических приборов; характеристики и

параметры электрических и магнитных полей

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

ПК 2.1 Обеспечивать проведение технологического процесса трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов.

ПК 2.2 Осуществлять контроль работоспособности и оценивать состояние эксплуатируемого оборудования объектов трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов.

ПК 2.3 Обеспечивать выполнение работ по техническому обслуживанию и техническому диагностированию объектов трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов.

ПК 2.5 Обеспечивать проведение мероприятий по повышению надежности и эффективности эксплуатации объектов трубопроводного транспорта, хранения,

распределения газа, нефти, нефтепродуктов.

В процессе освоения дисциплины у студентов должны формировать общие компетенции (ОК) (Приложение 2):

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

ОК 02 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности

ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях.

ОК 04 Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде.

ОК 05 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста.

ОК 06 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей, в том числе с учетом гармонизации межнациональных и межрелигиозных отношений, применять стандарты антикоррупционного поведения.

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 9 практических занятий.

Каждое практическое занятие содержит цель, методическое руководство к выполнению, перечень оснащения работы, содержание работы, контрольные вопросы.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Расчет цепей постоянного тока
2. Расчет магнитных цепей
3. Параметры переменного тока
4. Расчет неразветвленных электрических цепей переменного тока.
5. Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока соединенных «треугольником».
6. Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока соединенных «звездой»
7. Измерение электрических параметров цепи с подбором измерительных приборов, обеспечивающих наименьшую погрешность.
8. Компенсация реактивной мощности в промышленном производстве
9. Выбор электродвигателя для работы электропривода.

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.

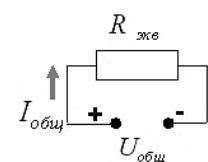
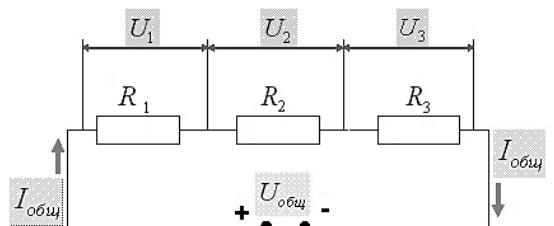


рис.1

Законы последовательного соединения приемников:

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

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

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

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.

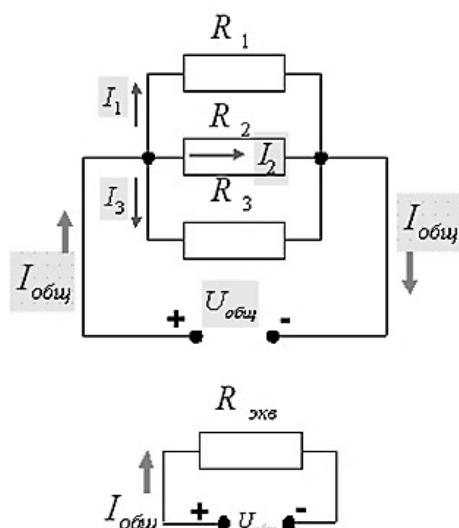


рис.

Законы параллельного соединения приемников.

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

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

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

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

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:

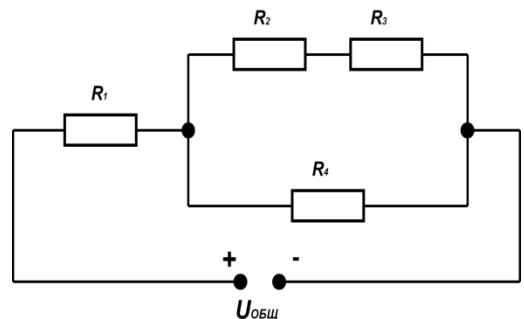
Методические указания к решению задачи 1

Расчетно - графическая 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



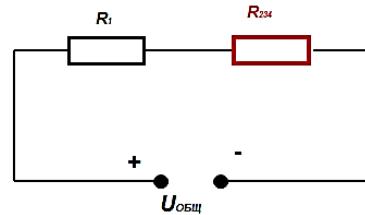
Преобразуем схему, разбив ее на части. В этих частях должны присутствовать простейшие, чисто последовательные или чисто параллельные соединения.

<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>

➤ По законам параллельного соединения можно найти эквивалентное им сопротивление:
 $R_{234} = \frac{R_{23} \cdot R_4}{R_{23} + R_4}$

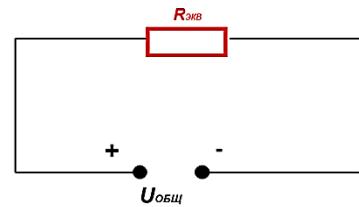
➤ В схеме (В) имеется чисто последовательное соединение резисторов R_1 и R_{234} .

Схема В)



По законам последовательного соединения можно найти эквивалентное сопротивление всей схемы
 $R_{\text{экв}} = R_1 + R_{234}$

Схема С)



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

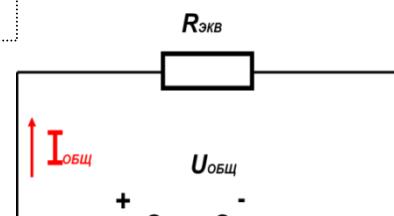
Определение и расчет цепи начинаем с самого простейшего варианта (С).

Дано: $R_{\text{экв}}$, $U_{\text{общ}}$

$$I_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{общ}}}{R_{\text{экв}}}$$

Определяем: $I_{\text{общ}}$ по закону Ома:

Схема С)



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

Определяем падение напряжения на каждом резисторе.

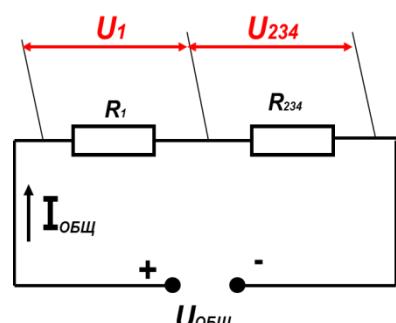
По законам последовательного соединения

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_{234}$$

По закону Ома:

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

Схема В)



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

Определяем токи разветвлений I_{23} и I_4

По закону параллельного соединения:

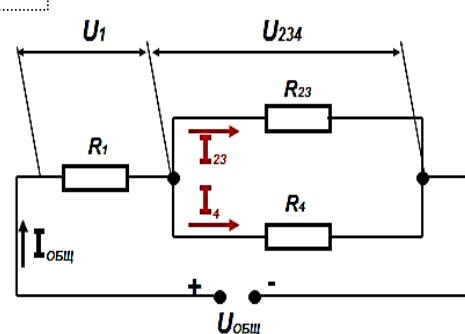
$$I_{\text{общ}} = I_{23} + I_4$$

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

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

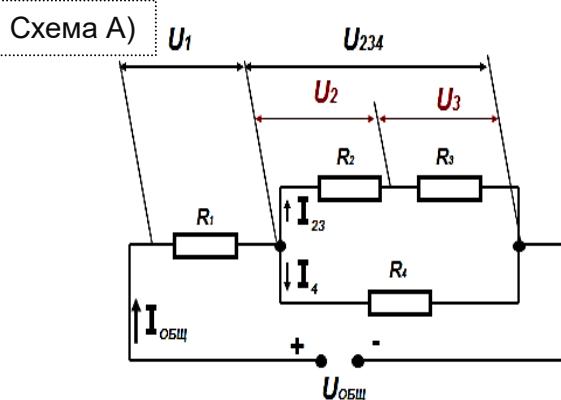
по закону Ома:

Схема Б)



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

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



Расчет магнитных цепей

В основе расчета магнитных цепей лежат два закона. Закон (принцип) непрерывности магнитного потока — поток вектора магнитной индукции через замкнутую поверхность равен нулю. Закон полного тока — циркуляция вектора напряженности вдоль произвольного контура равна алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром . При анализе магнитных цепей и, в первую очередь, при их синтезе используются следующие допущения: – магнитная напряженность, соответственно магнитная индукция, во всех точках поперечного сечения магнитопровода одинакова ; – потоки рассеяния отсутствуют (магнитный поток через любое сечение неразветвленной части магнитопровода одинаков); – сечение воздушного зазора равно сечению прилегающих участков магнитопровода. Сформулированные законы и допущения позволяют применять при расчетах магнитных цепей законы Кирхгофа и Ома. Законы Кирхгофа и Ома для магнитных цепей — наименование закона, аналитическое выражение закона, формулировка закона.

Первый закон Кирхгофа — алгебраическая сумма магнитных потоков в узле магнитопровода равна нулю $\sum \Phi = 0$.

Второй закон Кирхгофа — алгебраическая сумма падений магнитного напряжения вдоль замкнутого контура равна алгебраической сумме МДС, действующих в контуре

$$\sum F = \sum U = \sum Hl .$$

Закон Ома — падение магнитного напряжения на участке магнитопровода длиной l равно произведению магнитного потока Φ и магнитного сопротивления R_M участка

$$U_M = \Phi R_M, \text{ где } R_M = 0.1 \mu S .$$

В качестве примера анализа разветвленной магнитной цепи при заданных геометрии

магнитной цепи на рис. 3 и характеристике $B(H)$ ферромагнитного сердечника определим НС $F = Iw$, необходимую для создания в воздушном зазоре индукции B_δ . Алгоритм решения задачи следующий:

1. Задаем положительные направления магнитных потоков в стержнях магнитопровода (см. рис. 3).
2. Определяем напряженность в воздушном зазоре

$$H_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0}$$

и по зависимости $B(H)$ для $B_\delta = B_3$ находим значение H_3 .

3. По второму закону Кирхгофа для правого контура можно записать $H_3 l_3 + H_\delta \delta - H_2 l_2 = 0$, откуда находим H_2 и по зависимости $B(H)$ находим B_2 .
4. В соответствии с первым законом Кирхгофа $\Phi_1 = B_2 S_2 + B_3 S_3$.

Тогда

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{S_1},$$

и по зависимости $B(H)$ определяем H_1 .

5. В соответствии со вторым законом Кирхгофа для искомой НС имеет место уравнение F

$$F = Iw = H_1 l_1 + H_2 l_2.$$

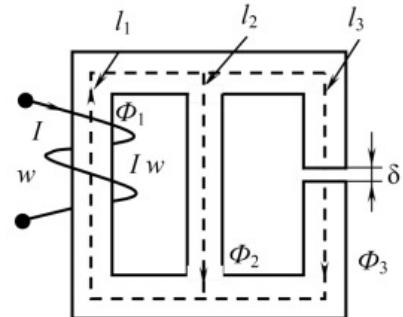


Рис. 3 — Разветвленная магнитная цепь

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Теоретические сведения:

Параметры переменного электрического тока:

1. *Период* T (рис.3) – время, в течение 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 ($Гц$):

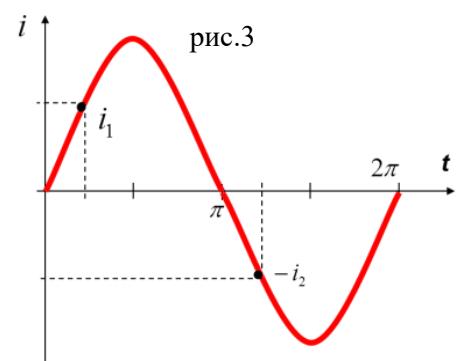
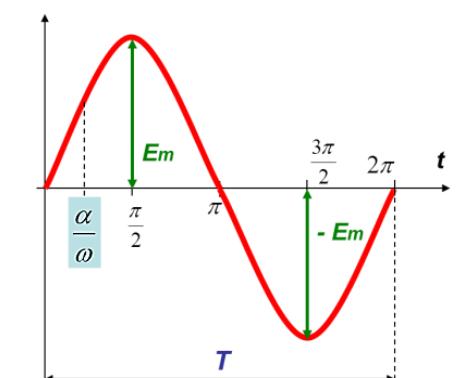
$$f = \frac{1}{T}$$

стандартная частота в России $f_{cm} = 50 Гц$

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

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

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 rad/s$$



На практике для России

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

$$\begin{aligned} i &= I_m \sin \omega t \\ u &= U_m \sin \omega t \\ e &= E_m \sin \omega t \end{aligned}$$

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*:

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

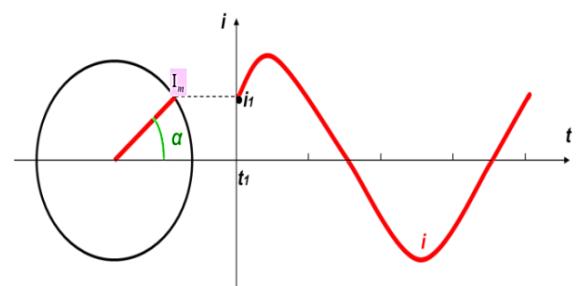


рис.5

Сдвиг фаз синусоидальных величин.

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

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

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

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

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

Разность начальных фаз двух синусоидальных величин называется *сдвигом фаз* (рис. 6)
 $\varphi = \alpha_1 - \alpha_2$

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.

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*.

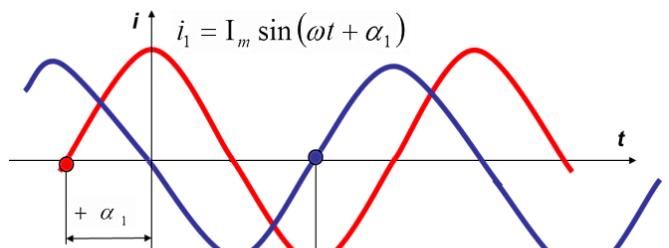


рис. 6

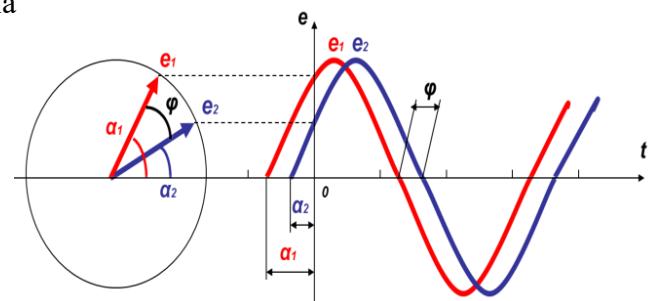


рис. 7

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_a

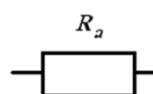
R_a – величина, характеризующая сопротивление цепи переменному току:

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

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

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

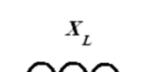
На таком участке цепи включены индуктивные катушки различных электротехнических устройств (например обмотки полюсов электрических машин, обмотки трансформаторов).



Обозначение на схеме

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

единица измерения (Ωm)



Обозначение на схеме

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

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



Обозначение на схеме

На таком участке цепи включены конденсаторы, электрические кабели.

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

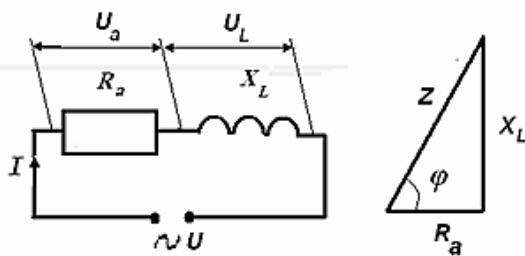
Закон Ома для цепей переменного тока

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

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

Z определяется из треугольника сопротивлений:

для активно - индуктивной цепи



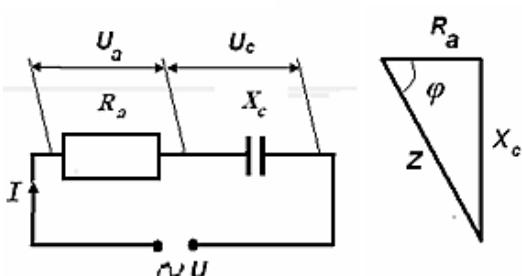
$$Z = \sqrt{R_a^2 + \chi_L^2}$$

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

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

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

для активно - емкостной цепи



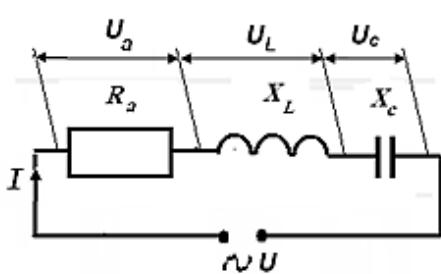
$$Z = \sqrt{R_a^2 + \chi_c^2}$$

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

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

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

для активно - индуктивно - емкостной цепи

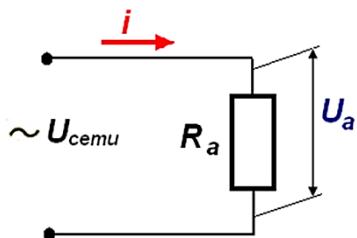


$$Z = \sqrt{R_a^2 + (\chi_L - \chi_c)^2} \quad \text{для } \chi_L > \chi_c$$

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

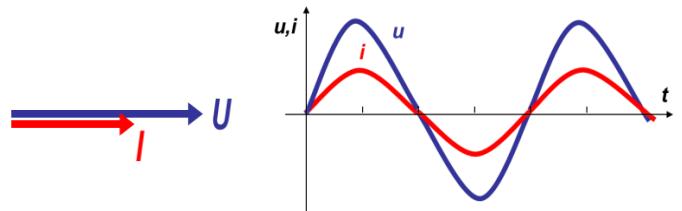
$$I = \frac{U}{Z}$$

Цепи с активным сопротивлением

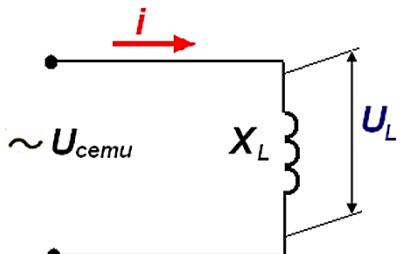


В проводнике с активным сопротивлением колебания тока по фазе совпадают с колебаниями напряжения, м.е. $\angle \varphi = 0$

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

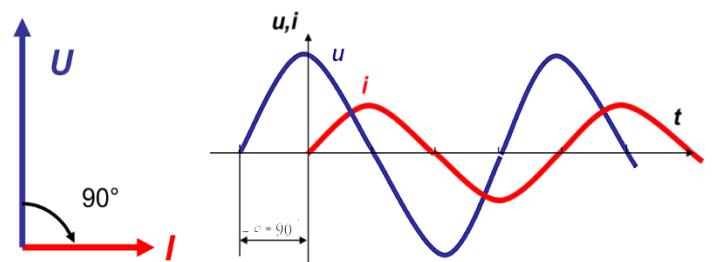


Цепи с индуктивным сопротивлением

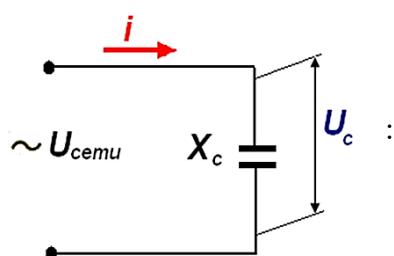


Ток в цепи с индуктивностью отстает от напряжения этой цепи 1/4 периода, или $\angle \varphi = 90^\circ$

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



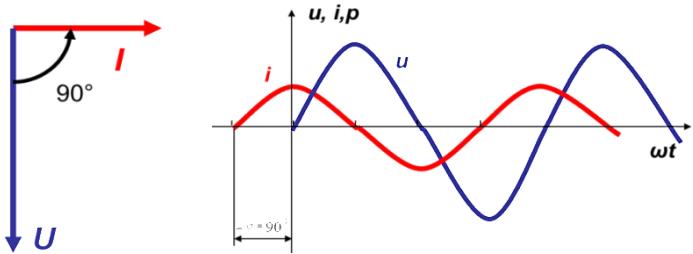
Цепи переменного тока с емкостным сопротивлением



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

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

Схемы для расчета и данные
смотреть Приложении 3.



Пример 2:

Расчетно - графическая 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 $i = I_m \cdot \sin(\omega t + \alpha)$

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

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

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

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

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

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

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

$$6. \text{ Период } T \text{ (с)}$$

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

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

$$7. \text{ Мгновенное значение тока в начальный момент времени}$$

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

$$8. \text{ Сдвиг } 2 \text{ б фазы } \left(314 \cdot 0 - \frac{\pi}{6} \right) = 25 \sin \left(\frac{\pi}{6} \right) = 25 \cdot \sin \frac{11\pi}{6} = 25 \cdot (-0,5) = -12,5 \text{ A}$$

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

Построение графика токов

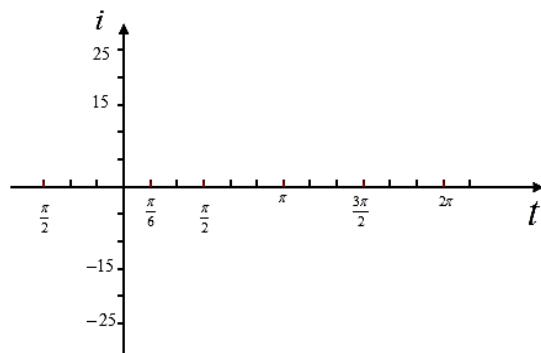
1. Для построения графиков токов подготовим координатную сетку

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



б) Отложить по оси i

амплитудные значения токов

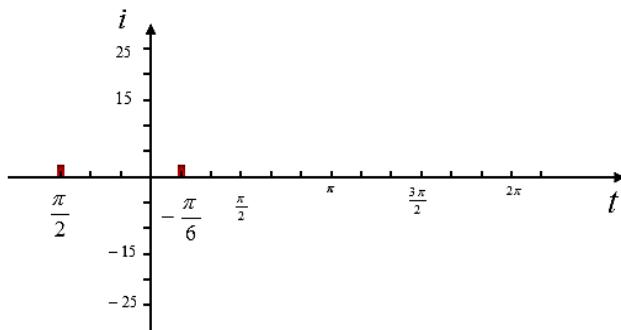


2. На начальном этапе построения графиков откладываются начальные фазы, которые будут являться началом периода синусоид

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.

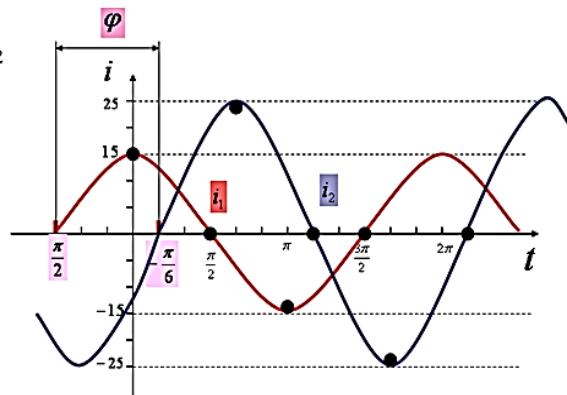


$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2} = 90^\circ > 0$$

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

5. Определяем угол сдвига фаз между токами i_1 и i_2

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

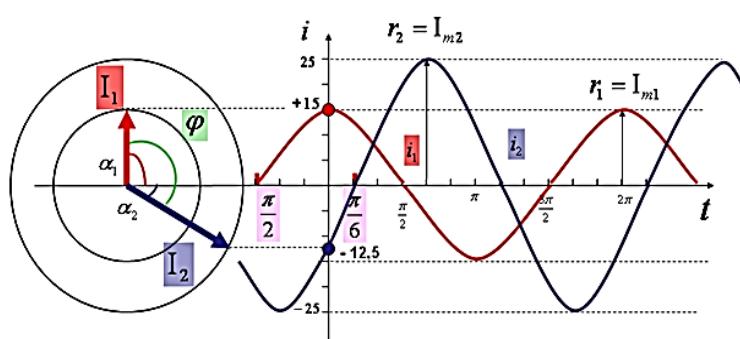


6. Построим круговую диаграмму в начальный момент времени $t = 0$.

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

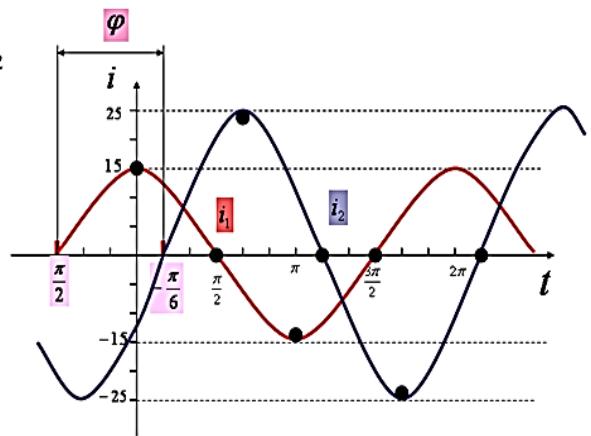
Строим по этим значениям вспомогательные окружности. Переносим значения токов в соответствии с их начальными фазами $\alpha_1 = \frac{\pi}{2}$ $\alpha_2 = -\frac{\pi}{6}$ на эти окружности. Строим вектора токов.

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 $\varphi = 120^\circ$

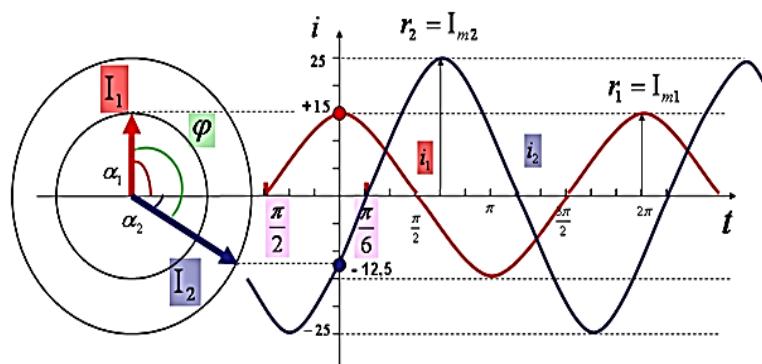


6. Построим круговую диаграмму в начальный момент времени $t = 0$.

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 $\varphi = 120^\circ$

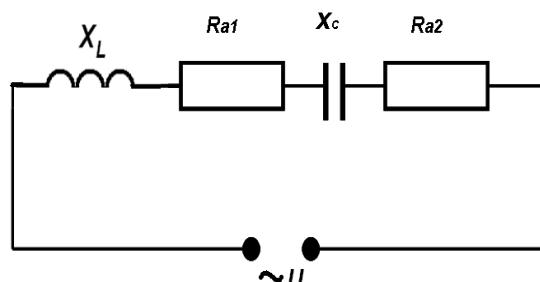


Данные для расчета смотреть в Приложении

Пример 3:

Расчетно - графическая работа №3

Расчет неразветвленных цепей переменного тока



Дано:

$$X_L = 9 \Omega$$

$$R_{a1} = 5 \Omega$$

$$X_C = 15 \Omega$$

$$R_{a2} = 3 \Omega$$

$$U = 200 \text{ В}$$

Определить:

1. \tilde{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

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

2. ОПРЕДЕЛЯЕМ общий ток цепи I

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

3. ОПРЕДЕЛЯЕМ коэффициент мощности

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

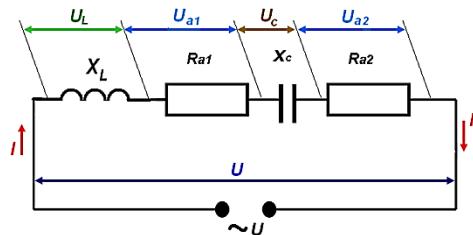
4. ОПРЕДЕЛЯЕМ падения напряжения на сопротивлениях

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

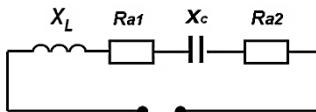
$$U_{a2} = 1,2 \text{ см}$$

$$U_L = 3,6 \text{ см}$$

$$U_C = 6 \text{ см}$$

$$U = 4 \text{ см}$$

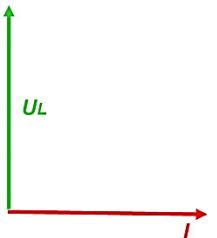
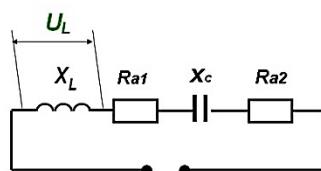
1. Откладываем горизонтально вектор $I = 4 \text{ см}$



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)

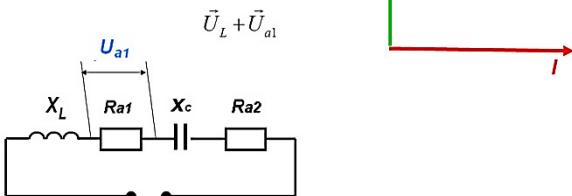


3. В электрической схеме вторым по счету стоит активное сопротивление R_{a1}

- Падение напряжения на нем U_{a1}

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

- При этом производится векторное сложение

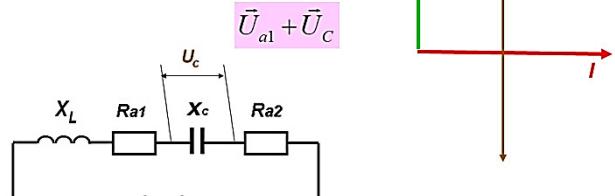


4. В электрической схеме третьим по счету стоит реактивное емкостное сопротивление X_c

- 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



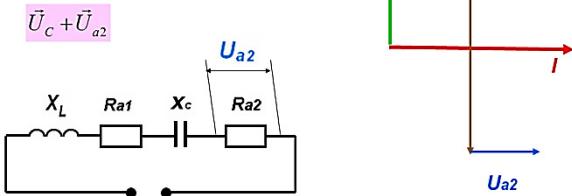
5. В электрической схеме четвертым по счету стоит активное сопротивление R_{a2}

- Падение напряжения на нем U_{a2}

- На векторной диаграмме вектор U_{a2}

откладывается относительно вектора тока параллельно

- При этом производится векторное сложение

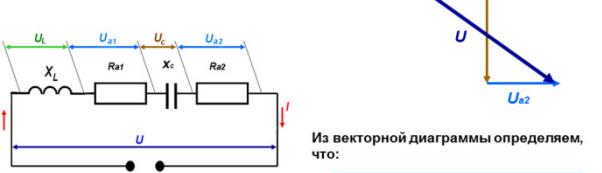


6. После геометрического сложения всех четырех векторов напряжений определяем полное напряжение схемы:

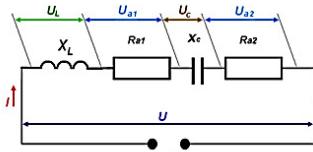
$$\vec{U} = \vec{U}_L + \vec{U}_{a1} + \vec{U}_C + \vec{U}_{a2}$$

- 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 $U = 200 \text{ В}$ $\varphi = 36^\circ$

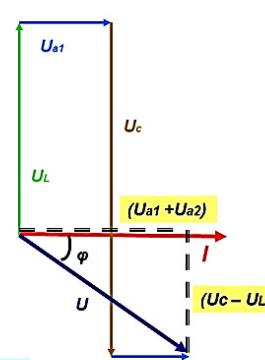


Вектор U является гипотенузой прямоугольного треугольника, катеты которого:

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

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

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

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 ($\frac{1}{3}$) периода.

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

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

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

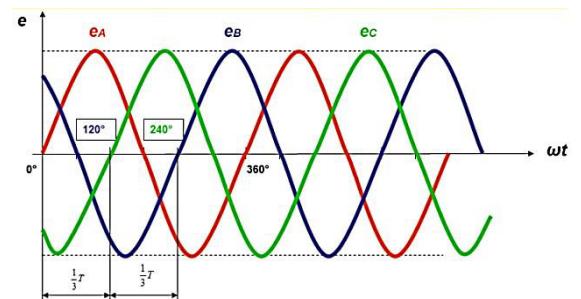


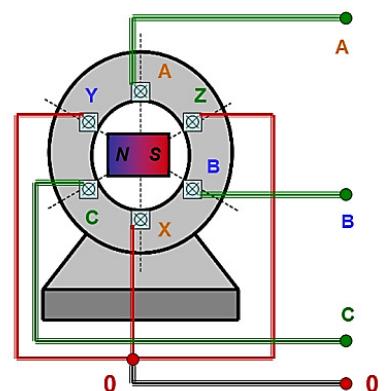
рис.8

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

Соединение обмоток генератора «звездой».

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

В четырехпроводной системе к нейтрали присоединяется нейтральный, или нулевой провод. К



Четырехпроводная

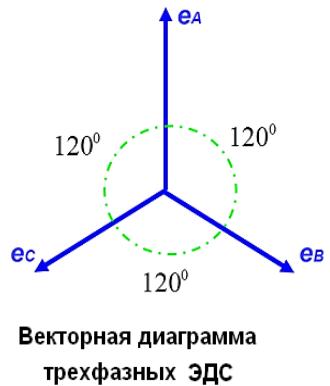
рис.9

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.



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

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

.....
.....
.....
.....
.....

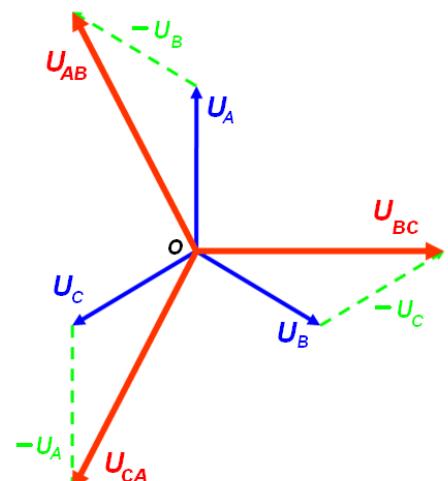
Вектор линейного напряжения равен разности векторов соответствующих фазных напряжений.

.....
.....
.....
.....
.....

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

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

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

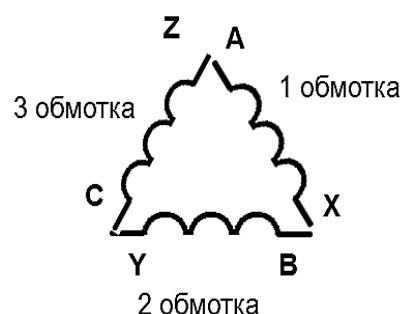


Векторная диаграмма напряжений

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

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 *являются линейными*.

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

$$U_\varphi = U_\phi$$

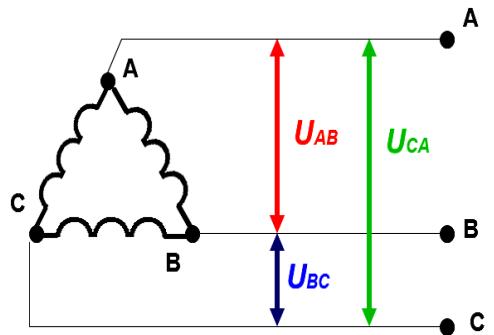


Схема соединения обмоток

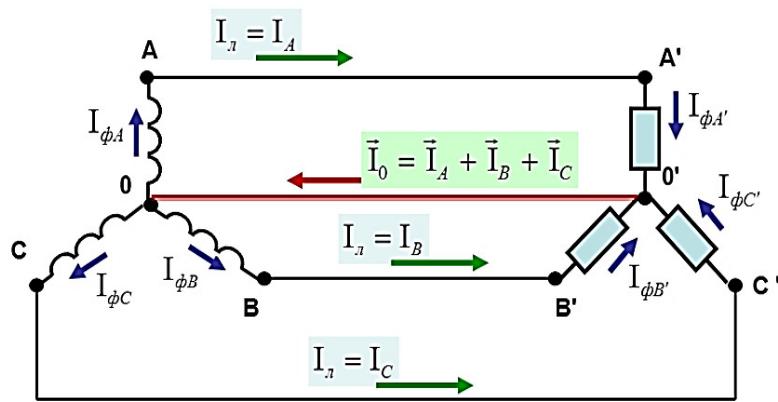
Соединение генератора и приемника энергии «звездой». при таком соединении система может быть

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

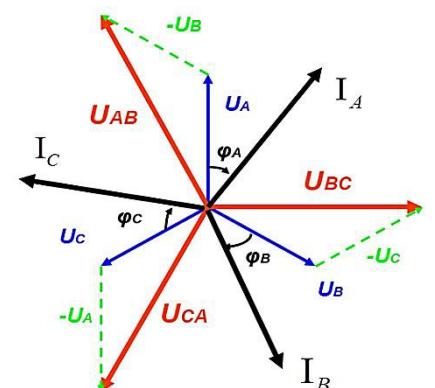
Четырехпроводная система трехфазного тока.

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 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_n . 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 $I_n = I_\phi$

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_n . При этом $U_n = \sqrt{3} U_\phi$.

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

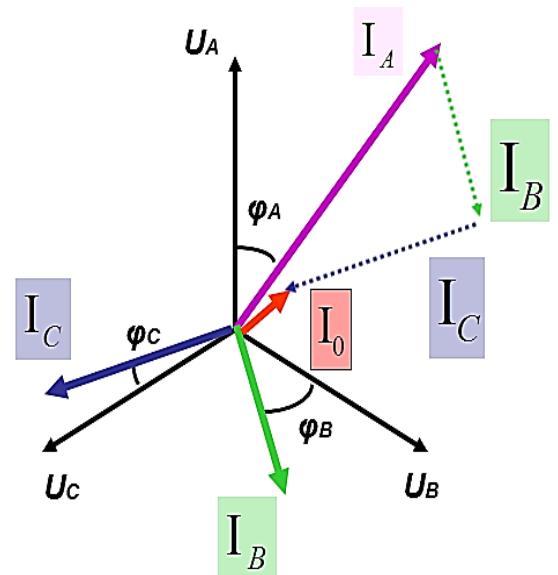
$$I_A = \frac{U_A}{Z_A} \quad I_B = \frac{U_B}{Z_B} \quad I_C = \frac{U_C}{Z_C}$$

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.

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

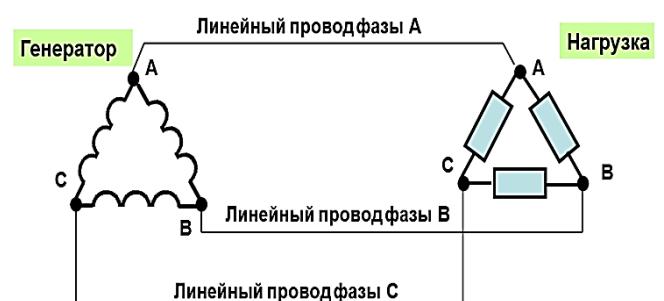


Схема включения генератора и нагрузки «треугольником»

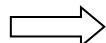
У потребителя, соединенного треугольником, линейное напряжение подключается к зажимам фазного сопротивления. Следовательно, при соединении треугольником фазное напряжение равно линейному напряжению: $U_\lambda = U_\phi$. И по схеме идут линейные и фазные токи.

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: $I_\lambda = \sqrt{3} I_\phi$

Мощности трехфазного переменного тока

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

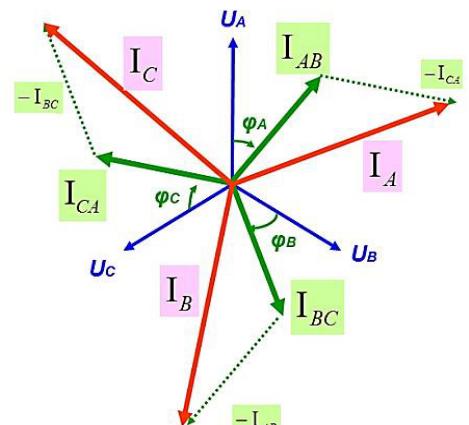
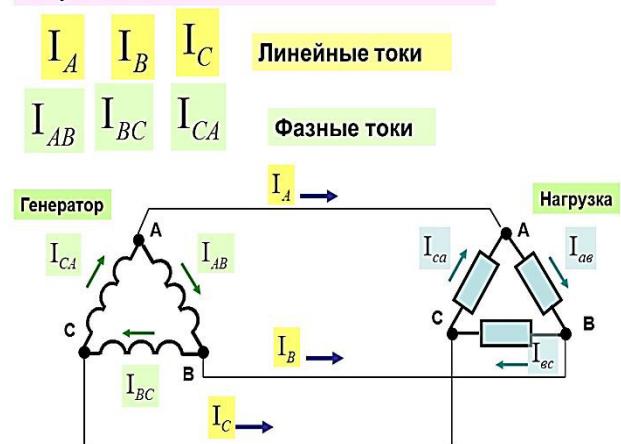
$P = \sqrt{3} I_\lambda U_\lambda \cos \varphi$ активная мощность трехфазного тока при соединении звездой и треугольником

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

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

При соединении «треугольником»
фазное напряжение равно линейному
напряжению:

$$U_\lambda = U_\phi$$

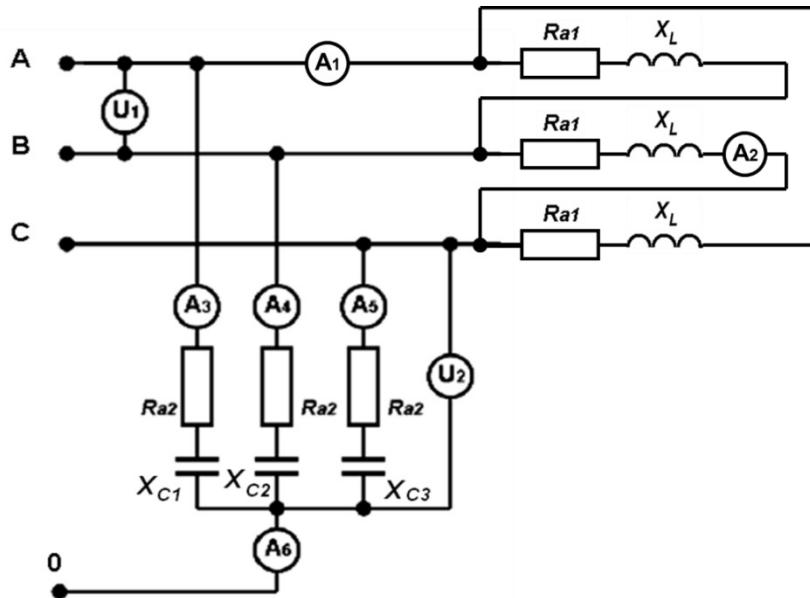


Векторная диаграмма
линейных и фазных токов
для соединения "треугольником"

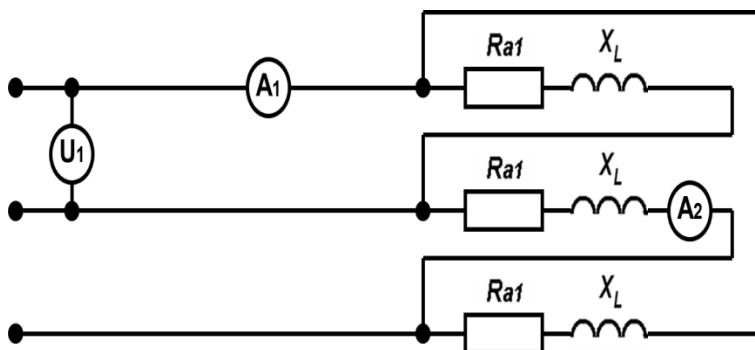
Пример 4:

Расчетно - графическая работа №4

Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока



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



Дано: В трехфазную систему включена:

$$R_1 = R_A = R_B = R_C = 10 \text{ Ом}$$

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 $U_1=220 \text{ В}$

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:

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

- 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.

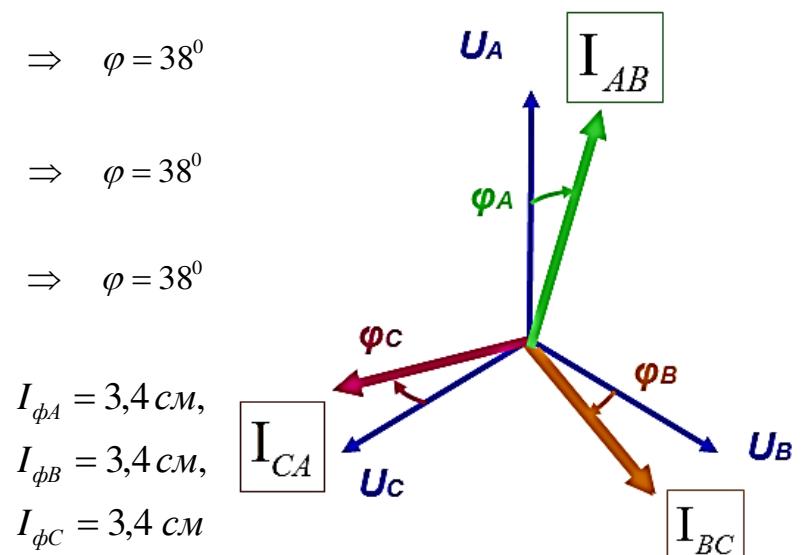
Откладываем фазные токи. Для этого определяем углы сдвигов фазных токов относительно фазных напряжений:

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)



Определяем линейные токи:

Линейные токи равны геометрической разности фазных токов.

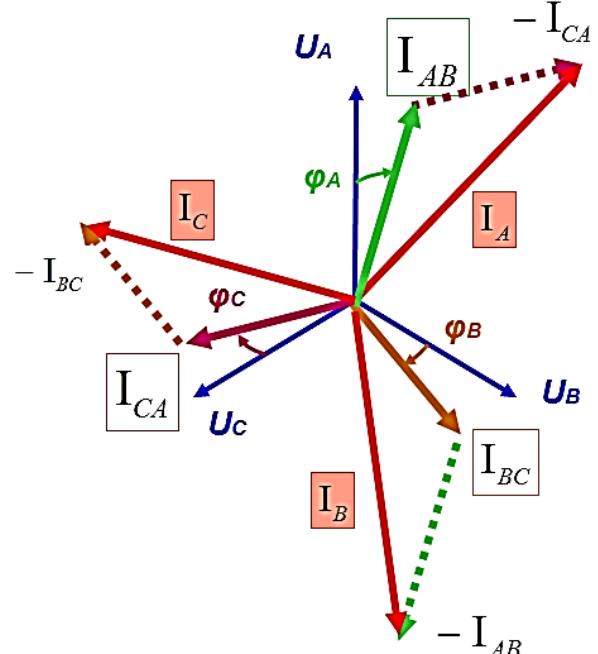
$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA} = \vec{I}_{AB} + (-\vec{I}_{CA})$$

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

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

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:

$$R_{a2} = 10 \text{ Ом}$$

$$X_{C1} = 2 \text{ Ом}$$

$$X_{C2} = 4 \text{ Ом}$$

$$X_{C3} = 6 \text{ Ом}$$

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

Решение:

1) Определяем схему соединения нагрузок:

Несимметричная нагрузка R_{a2} - X_C соединена в «звездой» 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:

$$U_1 = U_\alpha = 220 \text{ В}$$

- 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»:

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

При соединении генератора и нагрузки «звездой»:

Расчет линейного и фазного напряжений цепи:

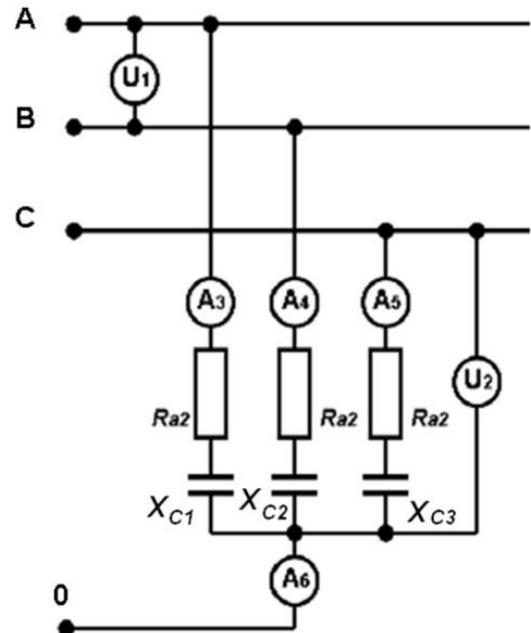
- Общее линейное напряжение цепи $U_\alpha = 220 \text{ В}$

- Фазное напряжение:

$$U_\phi = \frac{U_\alpha}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ В}$$

Расчет линейных и фазных токов цепи

$$I_\alpha = I_\phi$$



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:

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

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

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

- 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 2х соответствующих фазных напряжений:

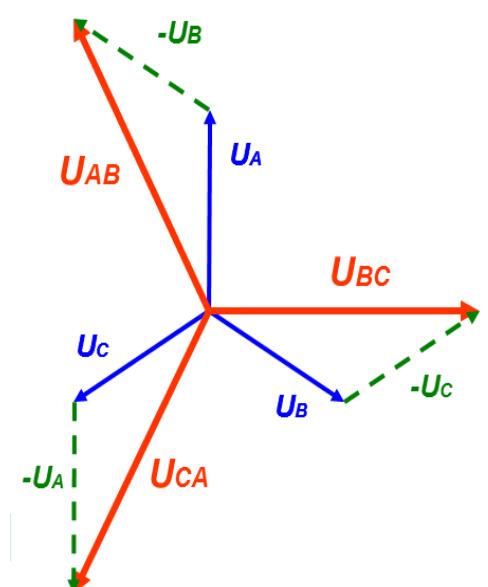
$$\vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B = \vec{U}_A + (-\vec{U}_B)$$

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

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

По векторной диаграмме получается:

$$U_\alpha = 5,5 \text{ см} = 220 \text{ В}$$

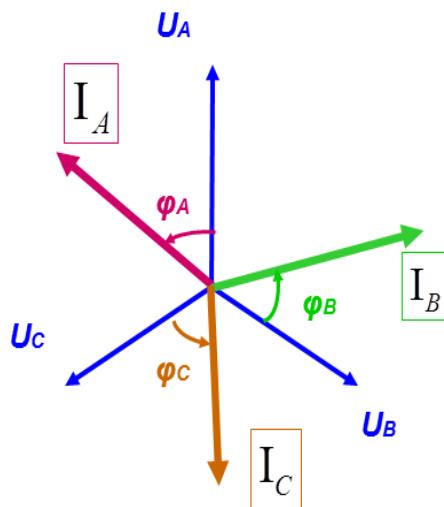


Откладываем фазные токи.

Для этого определяем углы сдвигов фазных токов относительно фазных напряжений:

<i>фаза A</i>	$\cos \varphi_A = \frac{R_{a2}}{Z_A} = \frac{6}{10,2} = 0,59 \Rightarrow \varphi = 53^0$	$I_{\phi A} = 4,2 \text{ см},$
<i>фаза B</i>	$\cos \varphi_B = \frac{R_{a2}}{Z_B} = \frac{6}{10,8} = 0,55 \Rightarrow \varphi = 56^0$	$I_{\phi B} = 4 \text{ см},$
<i>фаза C</i>	$\cos \varphi_C = \frac{R_{a2}}{Z_C} = \frac{6}{11,7} = 0,51 \Rightarrow \varphi = 59^0$	$I_{\phi C} = 3,6 \text{ см}$

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



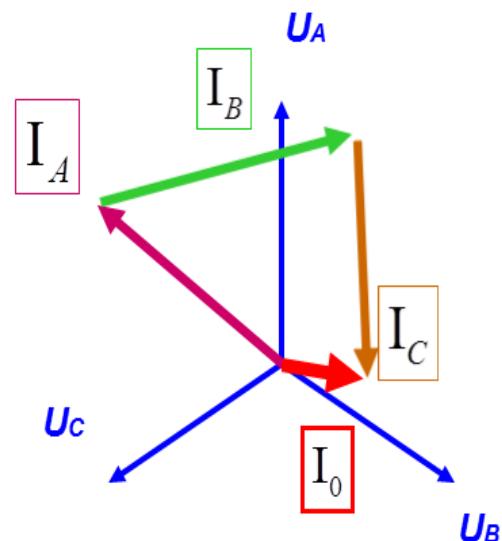
Ток в нулевом проводе равен геометрической сумме трех фазных токов:

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

По диаграмме с помощью линейки определяем:

$$I_0 = 0,8 \text{ см}$$

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



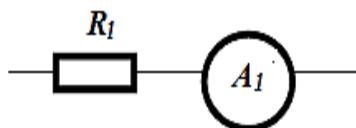
Методические указания к решению задачи 7

Практическая работа № 7

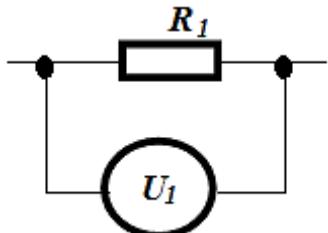
Измерение электрических параметров цепи с подбором измерительных приборов, обеспечивающих наименьшую погрешность.

Цель работы: Определить и выбрать необходимых для измерения электрических параметров в цепи измерительных приборов. Рассчитать класс точности прибора, абсолютную и относительную погрешности измерения. Включить измерительные приборы в электрическую цепь.

Для измерения электрических параметров в цепи необходимо включить измерительные приборы. Для измерения тока в какой-либо участке электрической цепи амперметр надо включить так, чтобы измеряемый ток проходил через него. Следовательно, амперметр включается **последовательно** с тем сопротивлением, ток в котором необходимо измерить



Вольтметр включают **параллельно** тому сопротивлению, напряжение на котором необходимо измерить



Для измерения мощности в цепях постоянного тока используют ваттметр электродинамической системы. Неподвижную (амперметровую) обмотку ваттметра включают в цепь последовательно, подвижную (вольтметровую) — параллельно потребителю.

В соответствии с этим на лицевую панель ваттметра выведены четыре зажима, два из которых обозначают символом $-*$ I (токовые зажимы), а два других — символом $-*$ U (зажимы напряжения). Два зажима помечены звёздочками * называют генераторными.

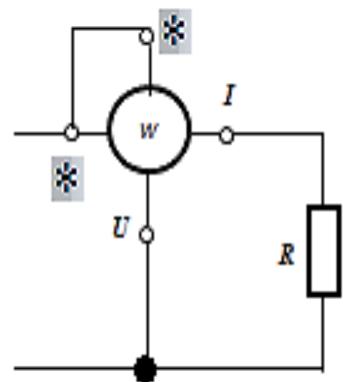


Схема включения ваттметра

Рассмотрим решение типового примера

Цепь переменного тока со смешанным соединением резисторов состоит из четырёх резисторов. В электрической цепи через резистор R_4 проходит ток $I_4 = 1,3 \text{ A}$, а на резисторе R_2 падает напряжение $U_2 = 113 \text{ V}$.

Для измерения напряжения на заданном резисторе, тока в заданном резисторе и общей мощности всей цепи необходимо в электрическую схему включить вольтметр, амперметр и ваттметр. Начертить электрическую цепь с измерительными приборами. Подобрать по

таблицам вольтметр и амперметр для измерения заданных параметров цепи, обеспечивающую наименьшую погрешности и подсчитать эту погрешность:

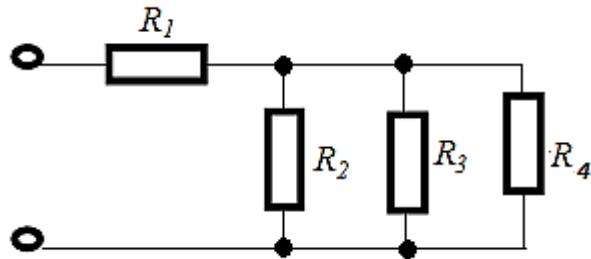


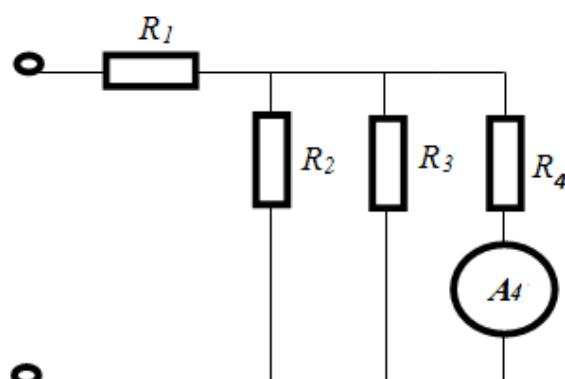
Таблица № 1 Класс точности и верхний предел измерения амперметров

№	Класс точнос ти γ %	Верхний предел измерения, A	№	Класс точности γ %	Верхний предел измерения A	№	Класс точност и γ %	Верхний предел измерения, A
1	1,5	1	7	1,5	5	13	1,5	20
2	2,5	1	8	4,0	5	14	1,0	20
3	2,5	2	9	1,0	10	15	1,5	25
4	1,0	2	10	2,5	10	16	2,5	25
5	1,5	3	11	2,5	15	17	1,0	30
6	2,5	3	12	4,0	15	18	4,0	30

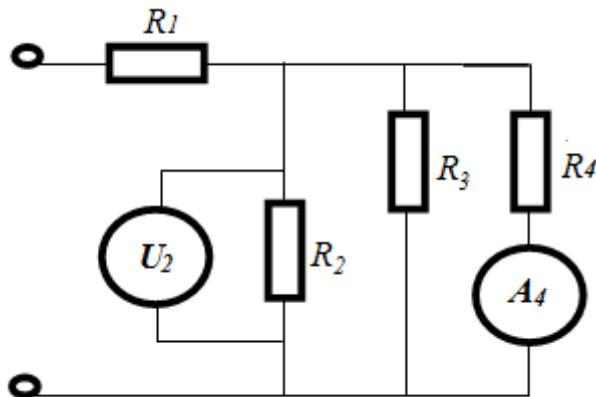
Таблица № 2 Класс точности и верхний предел измерения вольтметров

№	Класс точнос ти γ %	Верхний предел измерения B	№	Класс точности γ %	Верхний предел измерения B	№	Класс точност и γ %	Верхний предел измерения, B
1	1,5	0,5	8	1,5	10	15	1,5	50
2	2,5	1,5	9	2,5	250	16	2,5	70
3	2,5	1,0	10	4,0	300	17	4,0	75
4	2,5	2,0	11	2,5	10	18	1,5	100
5	4,0	2,0	12	1,5	15	19	1,5	300
6	2,5	3,0	13	2,5	30	20	2,5	500
7	4,0	5,0		4,0	30			

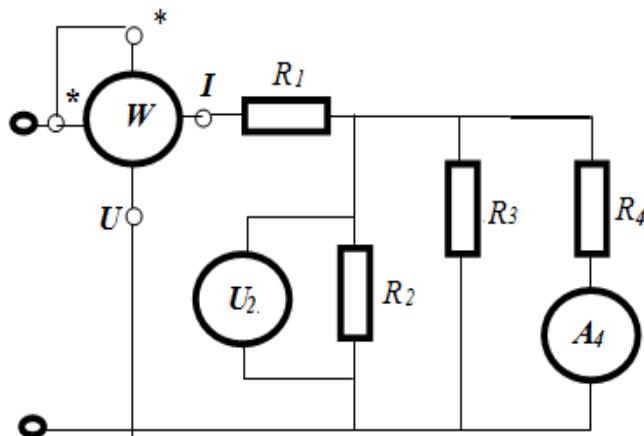
Так как необходимо измерить ток в четвертом резисторе то амперметр включаем последовательно с четвертым резистором



Для измерения напряжения на втором резисторе вольтметр включаем параллельно ему.



Для измерения мощности электрической цепи включаем ваттметр



Чтобы правильно выбрать амперметр для измерения тока $I_4 = 1,3 \text{ A}$, пользуемся таблицей № 1 по правилу $I_{\text{ном}} \geq I_4$. Лучше всех подходит амперметр с $I_{\text{ном}} = 2 \text{ A}$ и классом точности $\gamma = 1,0 \%$ (в таблице амперметр стоит №4)

Класс точности прибора численно равен приведённой погрешности прибора

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_{\text{ном}}} 100\% , \text{ где } A_{\text{ном}} - \text{номинальная величина прибора (верхний предел его}$$

измерения)}

Из выше приведённой формулы находим абсолютную погрешность измерения

$$\Delta A = \frac{\gamma \cdot A_{\text{ном}}}{100\%} = \frac{1.0\% \cdot 2 \text{ A}}{100\%} = 0,02 \text{ A}$$

Определяем относительную погрешность измерения по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_i} 100\% = \frac{0,02 \text{ A}}{1.3 \text{ A}} 100\% = 1,54\%$$

Чтобы правильно выбрать вольтметр в таблице № 2 для измерения напряжения на втором резисторе $U_2 = 113 \text{ V}$. применяем то же условие, а именно $U_{\text{ном}} \geq U_2$

Лучше всех подходит вольтметр в таблице № 9 с $U_{\text{ном}} = 250 \text{ V}$ и классом точности $\gamma = 5\%$.

Аналогично определяем погрешности измерения

Абсолютная погрешность при измерении напряжения

$$\Delta A = \frac{\gamma \cdot A_{\text{ном}}}{100\%} = \frac{2.5\% \cdot 250 \text{ V}}{100\%} = 6,25 \text{ V}$$

Определяем относительную погрешность измерения по формуле

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_i} 100\% = \frac{6,25 \text{ V}}{113 \text{ V}} 100\% = 5,53\%$$

Методические указания к решению задачи 8
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №.8
Компенсация реактивной мощности в промышленном производстве

Цель работы: Компенсировать реактивную мощность электроустановки с помощью компенсирующих устройств. Доказать, что правильно подобранные и установленные конденсаторные батареи снижают затраты при эксплуатации электрооборудования предприятия.

ЗАДАЧА № 1

Предприятие потребляет активную мощность $P_1 = 1550 \text{ кВт}$ при коэффициенте мощности $\cos \varphi_1 = 0,72$.

Энергосистема предписала уменьшить потребляемую реактивную мощность до $Q_{\text{Э}} = 450 \text{ квар}$.
Определить:

1. Необходимую мощность конденсаторной батареи и выбрать её тип;
2. Трансформаторную мощность и коэффициент нагрузки в двух случаях:
 а) до установки батареи; б) после установки батареи.
3. Выбрать тип трансформатора. Номинальное напряжение сети 10 кВ .
 а) до установки батареи; б) после установки батареи

РЕШЕНИЕ.

1. Необходимая трансформаторная мощность до установки батареи конденсаторов.

$$S_{P1} = \frac{P_1}{\cos \varphi_1} = \frac{1550}{0.72} = 2153 \text{ кВА}$$

По таблице № 2 выбираем трансформатор по условию $S_{P1} \leq S_{TP1}$, то есть выбираем трансформатор типа $TM 2500/10$ с номинальной мощностью $S_{TP1} = 2500 \text{ кВА}$, где коэффициент нагрузки $k_H = S_{P1} / S_{TP1} = 2153 / 2500 = 0,88$.

2. Реактивная мощность предприятия

$$Q_1 = S_{P1} \sin \varphi_1 = 2153 \cdot 0.693 = 1492 \text{ квар.}$$

Здесь $\sin \varphi_1 = 0.693$ находим по таблице Брадиса, зная $\cos \varphi_1$, или $\sin \varphi_1 = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_1}$

3. Необходимая мощность конденсаторной батареи для компенсации реактивной мощности

$$Q_{\text{иск}} = Q_1 - Q_{\text{Э}} = 1492 - 450 = 1042 \text{ квар}$$

По таблице № 3 выбираем комплектные конденсаторные установки типа УК-0,38-540Н мощностью 540 квар в количестве 2 шт.

Общая реактивная мощность конденсаторной батареи составит

$$Q_b = 2 \cdot 540 = 1080 \text{ квар}, \text{ что близко к необходимой мощности } 1042 \text{ квар.}$$

4. Не скомпенсированная реактивная мощность предприятия.

$$Q_2 = Q_1 - Q_b = 1492 - 1080 = 412 \text{ квар.}$$

5. Необходимая трансформаторная мощность после установки конденсаторной батареи составит

$$S_{TP2} = \sqrt{P_1^2 + Q_2^2} = \sqrt{1550^2 + 412^2} = 1604 \text{ кВА}$$

По таблице № 2 вновь выбираем трансформатор по условию $S_{P2} \leq S_{TP2}$

Принимаем к установке один трансформатор $TM-1600 \text{ кВА}$ мощностью 1600 кВА , коэффициент нагрузки составит $k_H = S_{TP2} / S_{P2} = 1604 / 1600 \approx 1$.

Таким образом, компенсация реактивной мощности позволила значительно уменьшить установленную трансформаторную мощность

ЗАДАНИЕ НА ПРАКТИЧЕСКУЮ РАБОТУ.

1. Решить задачу № 2 по вариантам
2. Ответить на контрольные вопросы.

ЗАДАЧА № 2

Аппаратный цех электротехнического завода потребляет активную мощность P_1 при коэффициенте мощности $\cos \varphi_1$. Для питания потребителей цеха на подстанции установили трёхфазные трансформаторы с первичным напряжением $U_{\text{ном}1} = 10 \text{ кВ}$.

Однако энергосистема, ограничив потребление реактивной мощности до $Q_\text{з}$, называемой оптимальной, потребовала установить на низшем напряжении подстанции $U = 380 \text{ В}$ конденсаторы.

Определить:

1. Необходимую мощность конденсаторной батареи $Q_\text{б}$ и выбрать её тип, пользуясь таблицей № 3;
2. Номинальную мощность трансформатора в двух случаях:
 - а) до установки батареи; б) после установки батареи
3. Выбрать тип трансформатора по таблице № 2.

Сделать заключение о целесообразности компенсации реактивной мощности потребителей цеха. На подстанции возможна установка одного трансформатора или двух одинаковой мощности, то есть $S_{TP} \geq S_1$; $S_{TP} \geq 2 S_1$.

При выборе трансформатора необходимо обеспечить их коэффициент нагрузки

$k_n = 0.8-1.0$ Первичное напряжение $U_{\text{ном}1}$ задано для выбора типа трансформатора.

Варианты практической работы

Таблица № 1

Номер варианта	$P_1 \text{ кВт}$	$\cos \varphi_1$	$Q \text{ э квар}$	$U_{\text{ном}1} \text{ кВ}$
1.	1400	0,75	350	10
2.	370	0,8	110	6
3.	600	0,85	150	10
4.	1000	0,8	220	10
5.	220	0,75	80	6
6.	2300	0,8	700	10
7.	1700	0,7	350	10
8.	750	0,8	225	6
9.	160	0,65	50	6
10.	1150	0,75	350	10

Технические данные трансформаторов

Таблица № 2

Тип трансформатора	S кВА	Напряжение обмоток, кВ		Потери мощности, кВт		U _K , %	I _{1x} , %
		U _{ном 1}	U _{ном 2}	P _{ст}	P _{0 ном}		
TM 40/6;10	40	6;10	0,23; 04	0,175	1,0	4,7	3,0
TM 63/6;10	63	6;10	0,23; 0,4	0,24	1,47	4,7	2,8
TM 100/6; 10	100	6;10	0,23; 0,4	0,33	2,27	6,8	2,6
TM 160/6; 10	160	6; 10	0,23; 04; 069	0,51	3,1	4,7	2,4
TM 250/6; 10	250	6; 10	0,23; 04; 069	0,74	4,2	4,7	2,3
TM 400/6;10	400	6; 10	0,23; 04; 069	0,95	5,5	4,5	2,1
TM 630/6; 10	630	6; 10	0,23; 04; 069	1,31	7,6	7,6	2,0
TM1000/6;10	1000	6; 10	0,23; 04; 069	2,45	12,2	12,2	2,8
TM 1600/6;10	1600	6; 10	0,23; 04; 069	3,3	18,0	18,0	2,6
TM 2500/10	2500	10	0,4; 0,69; 10,5	4,3	24,0	24,0	1,0

Примечание: Трансформатор TM 400/10 с масляным охлаждением, трёхфазный с S_{ном}=400 кВА; U_{ном 1}=10 кВ и U_{ном 2}=0,23 или 0,4, или 0,69 кВ; потери в стали P_{ст}=0,95 кВт; потери в обмотках P_{0 ном}=5,5 кВт; напряжение короткого замыкания U=4,5%; ток холостого хода I_{1x}=2,1 %

Технические данные комплектных конденсаторных установок напряжением 380 В.

Таблица № 3

Тип установки	Q б, квар	Тип установки	Q б, квар	Тип установки	Q б, квар
УК-0,38-75	75	УК-0,38-220Н	220	УК-0,38-330Н	330
УК-0,38-78	78	УК-0,38-225	225	УК-0,38-430Н	430
УК-0,38-110Н	110	УК-0,38-300Н	300	УК-0,38-450Н	450
УК-0,38-150Н	150	УК-0,38-320Н	320	УК-0,38-540Н	540

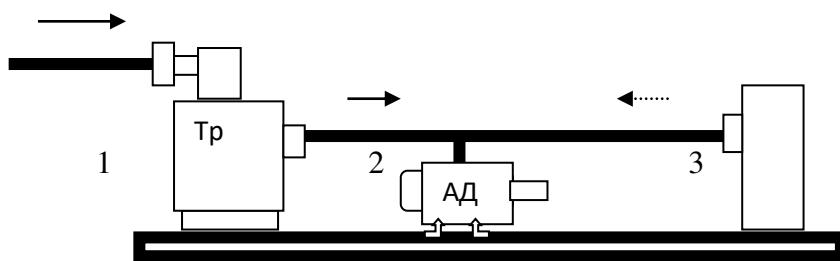


Рис. 2. Схема применения правильной компенсации реактивной мощности электродвигателя. 1. трансформатор; 2. электродвигатель; 3. конденсатор.

Контрольные вопросы

1. От каких величин зависит сдвиг фаз между током и напряжением.
2. Запишите формулы для расчёта активной, реактивной и полной мощности цепи.
3. Запишите формулу для расчёта коэффициента мощности
4. Какими величинами нужно располагать для расчёта ёмкости конденсаторной батареи, повышающий коэффициент мощности до заданного значения
5. Перечислите мероприятия, необходимые для компенсации реактивной мощности.
6. Для чего необходимо компенсировать реактивную мощность в электрических цепях? 7. Перечислите источники реактивной мощности.

Методические указания к решению задачи 9

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №9

Выбор электродвигателя для работы электропривода.

Общие сведения

Электроприводом называется электромеханическое устройство, осуществляющее преобразование электрической энергии в механическую и обеспечивающее управление механической энергией. Электропривод приводит в движение разнообразные машины и механизмы: насосы, вентиляторы, компрессоры, воздуховодные установки, станки, подъемные краны, дробилки, задвижки, лебедки и т.д.

Правильный выбор электродвигателя, в первую очередь его конструктивного исполнения и номинальной мощности, имеет большое экономическое значение, т.к. определяет его первоначальные затраты (капитальные вложения) и стоимость эксплуатационных расходов электропривода.

В ЗАДАЧУ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ВХОДЯТ:

1. Выбор рода тока и его номинального напряжения
2. Выбор номинальной частоты вращения
3. Выбор конструктивного исполнения
4. Определение номинальной мощности и выбор соответствующего ей двигателя по каталогу

В производственных условиях пункты 1,2,3 чаще всего уже заданы. Основными факторами, определяющими выбор двигателя, являются мощность и характер работающего от эл.двигателя рабочего механизма.

Применение двигателя:

A) недостаточной мощности:

- ❖ Снижает производительность рабочей машины
- ❖ Нарушает ее нормальную работу
- ❖ Приводит к авариям и выходу двигателя из строя из-за перегрева его при перегрузке

B) завышенной мощности

- ❖ Приводит к повышению потерь электроэнергии
- ❖ Снижению КПД и коэффициента мощности $\cos \varphi$.
- ❖ Удорожанию установленного оборудования
- ❖ Увеличению габаритов установки

C) правильно выбранный двигатель:

- ❖ Должен быть загружен полностью
- ❖ Работать не перегреваясь
- ❖ Обладать максимальным моментом, достаточным для преодоления возможных кратковременных перегрузок
- ❖ Иметь избыточный пусковой момент
- ❖ Иметь достаточно высокую номинальную скорость

Следует учитывать, что при заданной мощности эл.двигателя его размеры, масса и стоимость снижаются при повышении номинальной скорости. Поэтому в процессе проектирования электропривода следует отдавать предпочтение высокоскоростным двигателям с частотой вращения выше 1000 об/мин. При этом, если рабочие механизмы требуют пониженных скоростей при эксплуатации, в приводе необходима механическая, гидравлическая и т.д. передачи. Так же с точки зрения надежности и экономичности в первую очередь рассматривается возможность применения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, как наиболее простых в эксплуатации, имеющих меньшие

габариты, массу и стоимость, а так же повышенные энергетические показатели по сравнению с другими электродвигателями.

У электродвигателей различают мощности:

1. Номинальную продолжительную – указывается на щитке эл.двигателя. Ее двигатель может развивать произвольно долгое время, не перегреваясь сверх нормы, ограниченной допустимой температурой изоляции обмоток двигателя. Мощность Рном соответствует работе эл.двигателя при температуре окружающей среды равной 40°.
2. Кратковременную перегрузочную – эту мощность эл.двигатель может развивать при определенной продолжительности включения (ПВ) не нагреваясь выше допустимых для его изоляции температур. На щитке таких двигателей указывается кратковременная мощность и время, в течении которого она допустима.

Режимы работы электрических двигателей

Режим работы эл.двигателя определяется характером изменения нагрузки рабочего механизма.

Характер изменения нагрузки определяется нагрузочной диаграммой механизма. По ней определяется зависимость изменения момента нагрузки механизма от времени в течении которого это изменение происходит. Так как механизмы могут работать в различных режимах

(например вентилятор работает длительное время не меняя своей нагрузки; подъемный механизм может поднимать грузы различного веса . останавливаясь при этом в определенные моменты и т.д.), то и двигатели . от которых они работают. Так же могут иметь различные нагрузки на своем валу.

При всем многообразии работ выделяют три режима работы эл.двигателя:

1. Длительный (продолжительный) – обозначается на щитке S1
2. Кратковременный – S2
3. Повторно – кратковременный - S3

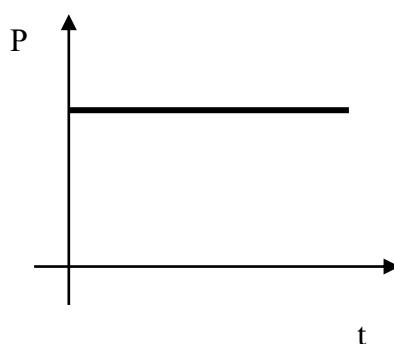
Длительный режим – при нем температура эл. двигателя достигает установившегося значения, при котором вся теплота, выделяющаяся в двигателе, отдается в окружающую среду и наступает тепловое равновесие.

В этом режиме работают насосы, вентиляторы, компрессоры, воздуходувки, буровые станки, дробилки, мельницы, сепараторы.

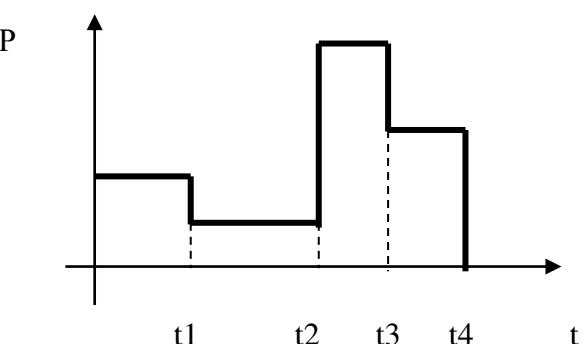
Различают длительный режим с постоянной и переменной нагрузками.

Нагрузочные диаграммы для длительного режима.

Постоянная нагрузка



Переменная нагрузка

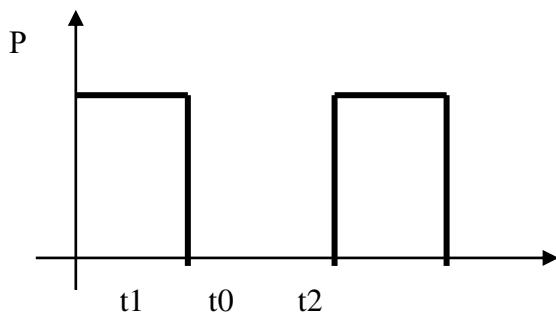


На щитке эл.двигателя, предназначенного для продолжительного режима работы, номинальный режим обозначается сокращенным словом "Длит." или S1.

Кратковременный режим – двигатель работает ограниченное время t_p , в течении которого его температура не достигает установившегося значения. Паузы t_0 в работе велики и эл. двигатель успевает полностью охладиться.

В этом режиме работает ограниченное число механизмов, поэтому серийно они не выпускаются. Их делают специально для определенных установок (например – механизм выдвижных фар, задвижки трубопроводов и т.д.).

нагрузочная диаграмма для кратковременного режима

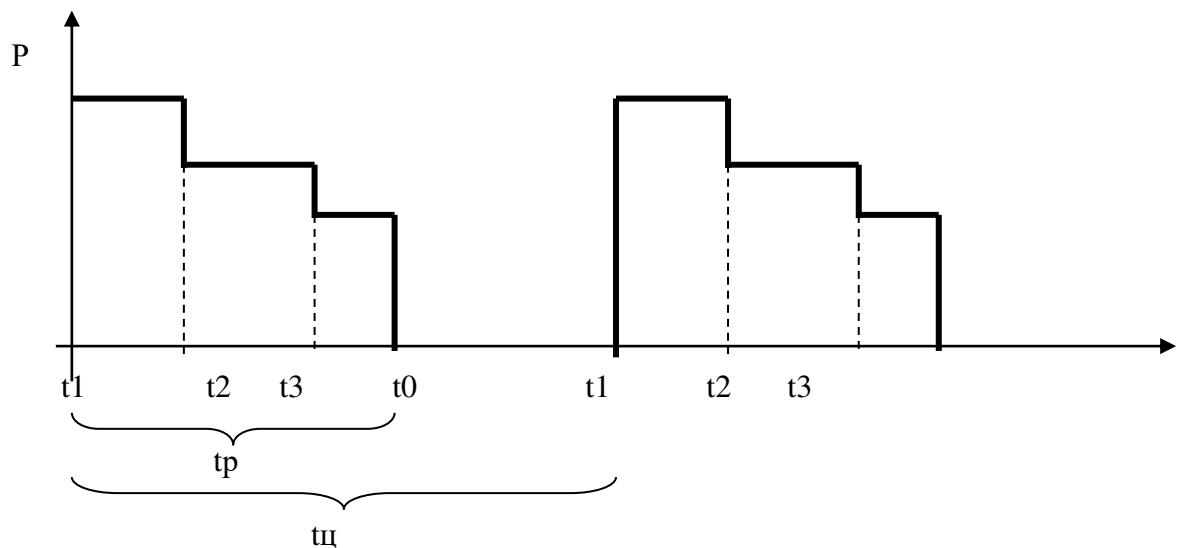


На щитке такого эл. двигателя указывается время работы при номинальной мощности: 15, 30, 60, 90 минут и символ S2.

Повторно – кратковременный режим – при нем регулярно чередуются кратковременные периоды работы t_p с кратковременными периодами пауз t_0 . Причем в период нагрузки температура двигателя не достигает установившегося значения, а в период паузы (отключения) она не успевает опуститься до уровня температуры окружающей среды.

В этом режиме работают электроприводы подъемных кранов, лебедок, прессов и т.д.

нагрузочная диаграмма для повторно - кратковременного режима



Важнейшей характеристикой повторно - кратковременного режима является относительная продолжительность включения ПВ%

$$ПВ\% = \frac{t_p \cdot 100\%}{t_p + t_0} = \frac{t_p \cdot 100\%}{t_{ц}}$$

t_p – время работы

t_0 – продолжительность паузы

$t_{ц}$ – продолжительность цикла

Продолжительность повторно - кратковременного режима не должна привышать 10 минут.

В противном случае режим работы считается длительным. Эл. двигатели этого режима специально выпускаются промышленностью. На щитке двигателя в графе “режим работы” Указывается ПВ% и символ S3.

Значения ПВ стандартизированы и составляют 15, 25, 40, 60 и 100%.

ПВ = 100% соответствует подолжительному режиму. Чем выше ПВ%, тем меньше паузы в работе.

Для каждого из этих режимов условия нагрева и охлаждения эл.двигателей различны.

Нагрев электрических машин

Во время работы в эл. двигателе возникают потери энергии. Которые превращаются в теплоту и нагревают обмотки и другие части двигателя. Наиболее чувствительна к нагреву изоляция

обмоток. Срок службы изоляции практически определяет срок службы эл.двигателя.

Кратковременные и не максимально высокие перегревы не приводят к выходу из строя Электрической машины, но значительно сокращают срок ее службы. Так при нагрузке 1,25 Рном

срок службы сокращается до полутора месяцев, а при нагрузке 1,5 от номинальной происходит выход двигателя из строя через три часа работы.

Мощность выбранного эл. двигателя должна иметь такое значение, чтобы его изоляция не перегревалась при наиболее тяжелых условиях работы привода.

По нагревостойкости изоляционные материалы подразделяются на классы по ГОСТ 8865 – 95.

Он устанавливает максимальные допустимые температуры нагрева для каждого класса изоляции.

Класс нагрево-стойкости	Допустимая температура	
A	105	X/б ткань, бумага, шелк, пропитанные жидким изоляционным материалом
E	120	Синтетические органические пленки и др.
B	130	Материалы из асбеста, стекловолокна, слюды, содержащие связующие вещества
F	155	Стекловолокно, слюда, асбест в сочетании с пропитывающими и связующими синтетическими материалами
H	180	Стекловолокно, слюда, асбест в сочетании с пропитывающими кремнийорганическими составами
C	>180	Слюда, керамические материалы. Стекло, кварц. Применяемые с неорганическими связующими составами или без связующих составов

Указанные рабочие температуры установлены, исходя из срока службы эл.двигателя 10 – 15 лет при номинальной нагрузке.

Для учета разнообразных условий работы эл.двигателя и правильного определения его мощности строят нагрузочные диаграммы, в которых определяется зависимость:

- Вращающего момента от времени $M_{\text{вр}} = f(t)$
- Мощности на валу от времени $P = f(t)$
- Электрического тока от времени $I = f(t)$

На практике обычно пользуются диаграммой моментов.

РАСЧЕТНО – ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

«Расчет мощности и выбор двигателя для рабочего механизма, работающего с переменной нагрузкой»

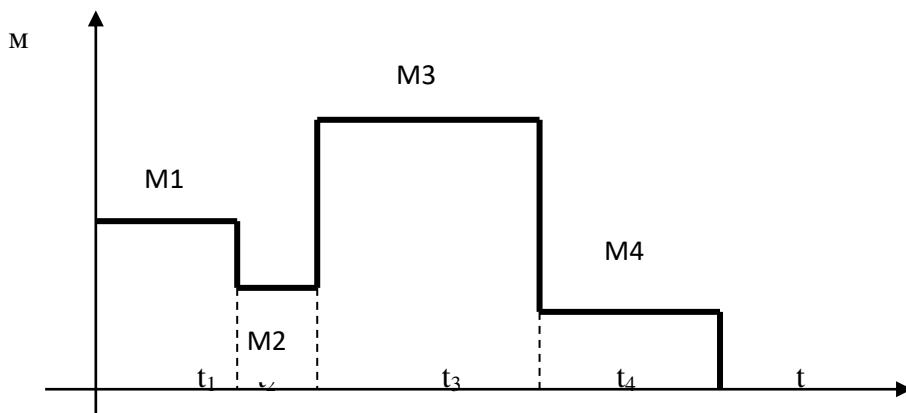
РАСЧЕТ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОГО РЕЖИМА

1. Определение номинальной мощности производится по методу эквивалентного момента:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (\text{Н м}) \quad \boxed{1}$$

где t_1 - время работы при постоянном моменте нагрузки M_1
 t_2 - время работы при постоянном моменте нагрузки M_2 и т.д.

По условию задачи строится нагрузочная диаграмма и по формуле 1 производится расчет $M_{\text{э}}$.



2. Определение мощности, соответствующей эквивалентному моменту:

$$P_{\text{э}} = \frac{M_{\text{э}} \cdot n}{9550} \quad (\text{kBt}) \quad \boxed{2}$$

где n – частота вращения рабочей машины, об/мин

3. По каталогу выбирается двигатель с номинальной мощностью

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\varnothing} \quad \text{и} \quad n_{\text{ном}} \approx n$$

3

4. Выбранный двигатель выбирается проверяется на перегрузочную способность и по пусковому моменту:

a) При проверке на перегрузочную способность должно выполняться условие:

$$M_{\text{ст max}} \leq 0,85 M_{\text{кр}}$$

4

$M_{\text{кр}}$ - критический (максимальный) момент двигателя

0,85 – коэффициент, учитывающий возможное снижение напряжения

$$M_{\text{кр}} = k_m M_{\text{ном}}$$

5

(в каталоге серийно выпускаемых промышленностью двигателей

чаще всего дается как $k_m = \frac{M_{\text{кр}}}{M_{\text{ном}}}$)

k_m - перегрузочная способность или кратность максимального момента

$M_{\text{ном}}$ - номинальный момент двигателя

$$M_{\text{ном}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} (\text{Нм})$$

6

$P_{\text{ном}}$ - номинальная мощность двигателя

$n_{\text{ном}}$ - номинальная частота вращения двигателя

b) при проверке по пусковому моменту должно выполняться условие :

$$M_{\text{пуск}} \geq M_{\text{ст пуск}}$$

7

где $M_{\text{ст пуск}}$ - пусковой статический момент по нагрузочной диаграмме (самый первый по счету - M_1)

$M_{\text{пуск}}$ - пусковой момент двигателя

$$M_{\text{пуск}} = k_n M_{\text{ном}}$$

8

где k_n - кратность пускового момента (берется из каталога, чаще всего дается как

$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$

5. Если двигатель не удовлетворяет условиям пуска или перегрузки, то следует выбрать двигатель ближайшей большей мощности и для повторить расчет.

ПРИМЕР 1

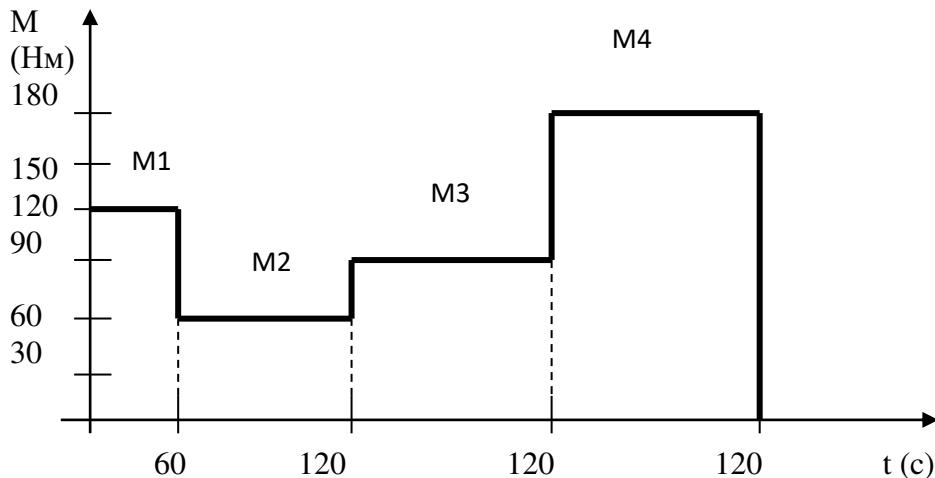
Расчета мощности и выбора двигателя для продолжительного режима работы.

Определить мощность и выбрать по каталогу асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для привода производственного механизма. По данным построить нагрузочную диаграмму. Частота вращения $n = 1450$ об/мин.

$$\begin{array}{ll} M_1 = 120 \text{ Нм} & M_2 = 60 \text{ Нм} \\ t_1 = 60 \text{ с} & t_2 = 120 \text{ с} \end{array} \quad \begin{array}{ll} M_3 = 80 \text{ Нм} & M_4 = 170 \text{ Нм} \\ t_3 = 120 \text{ с} & t_4 = 120 \text{ с} \end{array}$$

Решение:

Строим нагрузочную диаграмму



$$\begin{aligned} 2. \text{ Находим } M_{\text{э}} &= \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} = \\ &= \sqrt{\frac{120^2 \cdot 60 + 60^2 \cdot 120 + 80^2 \cdot 120 + 170^2 \cdot 120}{60 + 120 + 120 + 120}} = 110 \text{ (Нм)} \end{aligned}$$

3. Находим

$$P_{\text{э}} = \frac{M_{\text{э}} \cdot n}{9550} = \frac{110 \cdot 1450}{9550} = 16,7 \text{ (кВт)}$$

4. Выбираем по каталогу двигатель серии 4А . При выборе обратить внимание на частоту вращения эл. двигателя $n_{\text{ном,дв}}$. Она должна приблизительно совпадать с частотой вращения рабочего механизма $n_{\text{ном,раб.мех}}$. Если $n_{\text{ном,дв}}$ намного превышает $n_{\text{ном,раб.мех}}$, то в приводе необходимо устанавливать редуктор.

Технические данные эл. двигателя :

Тип 4А160М4У3; $P_{\text{н}} = 18,5 \text{ кВт}$; $n_{\text{ном}} = 1465 \text{ об/мин}$; $\eta_{\text{ном}} = 89,5\%$; $\cos\phi = 0,88$;
 $k_m = \frac{M_{\text{кр}}}{M_{\text{ном}}} = 2,3$; $k_p = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 1,4$.

5. Проверяем выбранный двигатель на перегрузочную способность
A) определяем номинальный момент двигателя по формуле

$$M_{\text{ном}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = \frac{9550 \cdot 18,5}{1465} = 120,6 \text{ (Нм)}$$

6

Б) определяем критический (максимальный) момент двигателя по формуле

5

$$M_{\text{кр}} = k_m \cdot M_{\text{ном}} = 2,3 \cdot 120,6 = 277,4 \text{ (Нм)}$$

По формуле 4 $M_{ct\ max} \leq 0,85 M_{kp} = 0.85 \cdot 277,4 = 235,8$ (Нм)

Выбираем по нагрузочной диаграмме максимальный статический момент $M_{ct\ max} = 170$ (Нм)

Условие по формуле 4 выполняется

$170 \leq 235,8$ (Нм) – по перегрузочной способности выбранный эл. двигатель подходит для данной работы

6. Проверяем выбранный двигатель по пусковому моменту 8

$$M_{пуск} = k_n M_{ном} = 1,4 \cdot 120,6 = 168,8$$
 (Нм)

Пусковой статический момент определяем по построенной диаграмме
 $M_{ст\ пуск} = M_1 = 120$ (Нм)

По условиям формулы 7

$$M_{пуск} \geq M_{ст\ пуск}$$

$168,8 \geq 120$ условие выполняется – выбранный двигатель при его установке с данным производственным механизмом запустится.

PACHT DLA DVIGATELJA PovTORNO – KRAPKOVREMENNogo REJIMA.

1. Определение M_e и P_e производится по формулам 1 и 2

При этом M_e определяется только за время работы эл. двигателя, без учета времени остановок.

2. Определение фактической величины продолжительности включения эл. двигателя:

$$\text{ПВф\%} = \frac{tp \cdot 100\%}{tp + t_0} = \frac{tp \cdot 100\%}{t_{ц}}$$

9

т.к. ПВф чаще всего отличается от ПВ стандартной, то P_e пересчитывают на ближайшую стандартную продолжительность включения по формуле

$$P_{e\ ст} = P_e \sqrt{\frac{\text{ПВф}}{\text{ПВстанд}}} \quad \boxed{10}$$

ПВстанд : 15; 25; 40; 60; 100%

3. По каталогу выбирают двигатель с номинальной мощностью $P_{ном}$ при ПВстанд так, чтобы

$$P_{ном} \geq P_{e\ ст} \text{ при } n_{ном} \approx n \text{ по формуле}$$

3

3. Выбранный двигатель проверяют на перегрузочную способность и по пусковому моменту

так же как и при длительном режиме.

Если $\text{ПВ} > 60\%$, то двигатель выбирают как для длительного режима

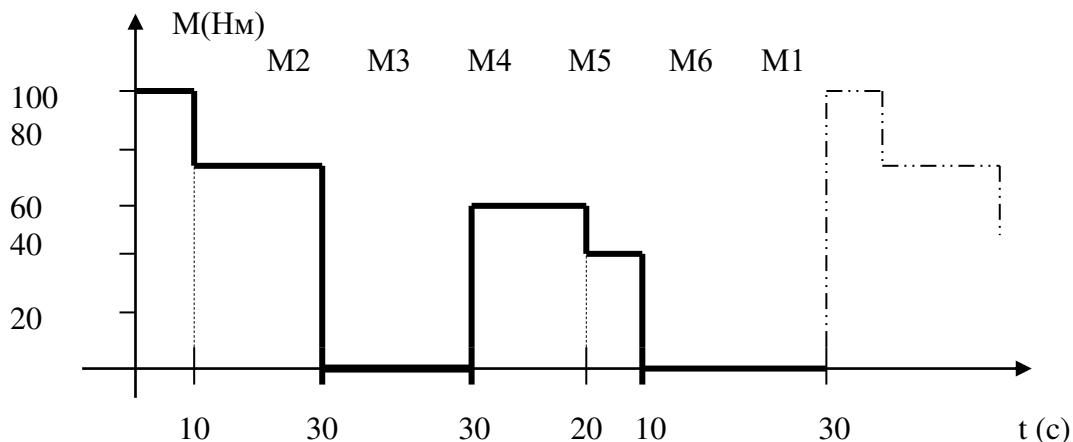
Если $\text{ПВ} < 10\%$, как для кратковременного режима.

ПРИМЕР 2

Расчета мощности и выбора двигателя для повторно - кратковременного режима работы

Определить мощность и выбрать по каталогу асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для привода производственного механизма, работающего в повторно – кратковременном режиме, который задан нагрузочной диаграммой. По данным построить нагрузочную диаграмму. Двигатель должен развивать частоту вращения $n = 700$ об/мин.

$$\begin{array}{llllll} M_1 = 100 \text{ Нм} & M_2 = 70 \text{ Нм} & M_3 = 0 \text{ Нм} & M_4 = 60 \text{ Нм} & M_5 = 40 \text{ Нм} & M_6 = 0 \text{ Нм} \\ t_1 = 10 \text{ с} & t_2 = 30 \text{ с} & t_3 = 30 \text{ с} & t_4 = 20 \text{ с} & t_5 = 10 \text{ с} & t_6 = 30 \text{ с} \end{array}$$



Решение:

1. Определяем эквивалентный момент за рабочее время:

$$\begin{aligned} M_{\text{э}} &= \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} = \\ &= \sqrt{\frac{100^2 \cdot 10 + 70^2 \cdot 30 + 60^2 \cdot 20 + 40^2 \cdot 10}{60 + 120 + 120 + 120}} = 63,2 \text{ (Н м)} \end{aligned}$$

2. Находим мощность, соответствующую $M_{\text{э}}$ за рабочее время:

$$P_{\text{э}} = \frac{M_{\text{э}} \cdot n}{9550} = \frac{63,2 \cdot 700}{9950} = 4,63 \text{ (кВт)}$$

3. Относительная продолжительность включения двигателя:

$$\Pi\text{В}\% = \frac{t_p \cdot 100\%}{t_p + t_0} = \frac{t_p \cdot 100\%}{t_{\text{ц}}} = \frac{t_1 + t_2 + t_4 + t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6} = \frac{10 + 30 + 20 + 10}{10 + 30 + 30 + 20 + 10 + 30} \cdot 100\% = 54\%$$

4. Пересчитываем эквивалентную мощность на ближайшую стандартную $\Pi\text{В}_{\text{ст}} = 60\%$:

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{э}} \cdot \sqrt{\frac{\Pi\text{В}_{\phi}}{\Pi\text{В}_{\text{ст}}}} = 4,63 \cdot \sqrt{\frac{54}{60}} = 4,4 \text{ (кВт)}$$

5. По данным каталога выбираем эл. двигатель на $\Pi\text{В} = 60\%$ с $P_{\text{ном}} \geq P_{\text{э}}$ и $n_{\text{ном}} \approx n$

4АС 112М4У3 $P_{\text{н}} = 5 \text{ кВт}$; $n_{\text{ном}} = 695 \text{ об/мин}$; $\eta_{\text{ном}} = 78 \%$; $\cos\varphi = 0,64$;
 $k_m = \frac{M_{\text{кр}}}{M_{\text{ном}}} = 2$; $k_p = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 1,8$.

6. Проверяем выбранный двигатель на перегрузочную способность

А) определяем номинальный момент двигателя по формуле

$$M_{\text{ном}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = \frac{9550 \cdot 5}{695} = 68,7 \text{ (Нм)}$$

6

Б) определяем критический (максимальный) момент двигателя по формуле

5

$$M_{\text{kp}} = k_m \cdot M_{\text{ном}} = 2 \cdot 68,7 = 137,4 \text{ (Нм)}$$

По формуле 4 $M_{\text{ст max}} \leq 0,85 M_{\text{kp}} = 0.85 \cdot 137,7 = 117 \text{ (Нм)}$

Выбираем по нагрузочной диаграмме максимальный статический момент

$$M_{\text{ст max}} = 100 \text{ (Нм)}$$

Условие по формуле 4 выполняется

$100 \leq 117 \text{ (Нм)}$ – по перегрузочной способности выбранный эл. двигатель подходит для данной работы

7. Проверяем выбранный двигатель по пусковому моменту

8

$$M_{\text{пуск}} = k_n M_{\text{ном}} = 1,8 \cdot 68,7 = 123,7 \text{ (Нм)}$$

Пусковой статический момент определяем по построенной диаграмме

$$M_{\text{ст пуск}} = M_1 = 100 \text{ (Нм)}$$

По условиям формулы 7

$$M_{\text{пуск}} \geq M_{\text{ст пуск}}$$

$123,7 \geq 100$ условие выполняется – выбранный двигатель при его установке с данным производственным механизмом запустится.

ЗАДАНИЯ

Для расчетно – графической работы

Определить мощность электрического привода механизма, режим работы которого задан нагрузочной диаграммой в таблице вариантов.

Выбрать электрический двигатель по каталогу, расшифровать структуру обозначения его типа, ответить на контрольные вопросы. Для ответа на устные вопросы пользоваться материалами тем “Электрические машины переменного тока” и “Электропривод”.

Правила оформления и сдачи отчета:

1. Оформлять на белых листах бумаги формата А4
2. Работа должна иметь титульный лист, выполненный по стандартным правилам.
3. В заключительной части отчета должны быть ответы на вопросы, указанные в персональном варианте.

Для работы в качестве электропривода использовать асинхронный короткозамкнутый двигатель.

Технические данные эл. двигателей с короткозамкнутым ротором серии 4А:

При продолжительности включения ПВ = 40% приведены в справочнике по электротехнике и электрооборудованию 2003г. , автор Алиев И.И. стр. 158 табл. 7.7.1.

При продолжительности включения ПВ = 100% там же стр. 135 табл. 7.3.1.

При продолжительности ПВ = 25% и ПВ = 60% в приложении 1.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО – ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

№вар	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	n
	Нм					сек					Об/м ин
1	650	0	100	0	850	19	55	38	97	10	1360
2	125	50	100	50	150	15	51	42	46	81	2940
3	300	100	0	500	0	40	83	89	29	33	690
4	120	300	700	560	400	18	94	86	22	87	1470
5	70	90	100	180	0	10	20	35	10	80	930
6	180	900	1000	0	700	10	82	52	80	61	980
7	200	700	650	540	150	10	21	41	50	46	1470
8	500	100	0	600	0	18	29	87	30	63	700
9	100	500	150	430	200	16	55	27	51	61	1460
10	70	100	400	0	420	12	22	45	30	35	2970
11	200	190	250	900	300	15	75	84	40	35	740
12	90	300	0	150	180	12	25	60	45	70	970
13	350	100	450	600	150	20	35	50	40	25	2950
14	200	50	0	700	250	21	47	80	25	20	950
15	120	130	510	415	50	21	91	83	15	45	1480
16	130	50	80	90	200	13	83	56	45	85	2940
17	200	180	190	900	300	15	84	41	35	76	740
18	300	100	0	500	0	40	83	89	29	33	690
19	70	100	400	0	420	12	22	46	84	35	2970
20	80	250	0	190	150	20	69	87	99	88	1480
21	300	110	550	150	140	15	19	45	25	88	2970
22	550	100	450	700	150	15	82	43	67	86	2960
23	100	50	150	200	50	15	56	85	67	34	1480
24	150	280	100	300	200	14	45	60	61	35	730
25	200	380	470	530	0	10	67	29	48	83	740
26	550	100	450	700	150	10	51	43	15	20	1470
27	350	250	500	600	0	14	66	35	18	78	700
28	150	280	100	300	200	18	26	29	46	78	1460
29	160	250	150	100	50	13	47	35	55	67	2940
30	700	400	500	350	0	4	29	40	50	32	950
31	400	100	0	550	0	5	25	90	30	85	700
32	50	300	0	150	180	24	44	52	44	87	2940
33	80	30	0	95	87	15	90	20	60	80	1410
34	80	250	0	150	190	15	20	110	60	45	1430
35	100	600	0	550	120	15	50	90	30	25	700
36	100	300	150	50	0	20	45	30	40	335	730
37	300	350	460	0	660	11	81	65	35	91	1475
38	200	110	550	150	140	26	70	17	89	78	1450
39	150	80	200	0	400	4	80	75	35	40	900
40	300	310	0	220	425	14	20	60	30	25	690
41	150	80	200	0	400	4	80	75	35	40	900
42	300	310	0	220	425	14	20	60	30	25	690
43	40	300	250	200	0	10	80	140	80	220	1420
44	100	250	390	680	200	18	33	75	40	67	1470
45	100	50	150	290	300	19	46	85	56	21	2950

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕРИИ 4АС (С ПОВЫШЕННЫМ СКОЛЬЖЕНИЕМ)
ПРИ ПВ = 25% И ПВ = 60%

Тип двигателя	ПВ = 25%			ПВ = 60%			n об/мин	<u>Mпуск</u> Mном	<u>Mкр</u> Mном	<u>Iпуск</u> Iном
	P ₂ кВт	η %	Cos φ	P ₂ кВт	η %	Cos φ				
Синхронная частота вращения 3000об/мин										
4AC71B2У3	1,3	71,5	0,85	1,10	72,5	0,82	2850	2,0	2,2	5,5
4AC80A2У3	1,9	75,0	0,87	1,70	75,5	0,86	2855	2,0	2,2	6,5
4AC80B2У3	2,7	75,5	0,88	2,20	77,0	0,86	2865	2,0	2,2	6,5
4AC90L2У3	4,0	79,0	0,87	3,20	80,5	0,85	2870	2,0	2,2	6,5
4AC100S2У3	5,0	81,5	0,86	4,20	82,5	0,85	2890	2,0	2,2	7,5
4AC100L2У3	7,0	81,5	0,87	5,80	82,0	0,85	2900	2,0	2,2	7,5
4AC112MB2У3	9,5	83,0	0,86	7,10	84,5	0,83	2900	2,0	2,4	7,5
4AC132M2У3	14,0	83,0	0,90	11,0	84,5	0,88	2855	2,0	2,4	7,5
4AC71A2У3	1,06	71,5	0,88	0,95	72,5	0,86	2825	2,0	2,2	5,5
Синхронная частота вращения 1500об/мин										
4AC100L4У3	5,0	77,0	0,84	3,8	79,0	0,80	1440	2,2	2,2	6,0
4AC112MB4У3	6,7	77,5	0,85	5,0	80,0	0,81	1420	2,2	2,2	7,0
4AC132S4У3	9,5	82,0	0,86	7,5	83,5	0,83	1395	2,8	2,8	7,0
4AC132M4У3	14,0	83,0	0,86	10,5	84,5	0,83	1410	2,2	2,2	7,0
4AC160M4 У3	19,0	83,5	0,86	15,0	85,5	0,85	1410	2,2	2,2	7,0
4AC160S4 У3	23,0	86,0	0,87	18,5	87,5	0,87	1420	2,2	2,2	7,0
4AC180S4 У3	24,0	84,5	0,93	20,0	86,5	0,92	1415	2,2	2,2	7,0
4AC 180M4У3	30,0	87,0	0,92	25,0	89,0	0,91	1435	2,2	2,2	7,0
4AC 200M4У3	35,0	87,0	0,93	28,0	88,0	0,92	1415	2,2	2,2	7,0
4AC 200L4У3	47,0	88,0	0,94	37,0	89,0	0,93	1415	2,2	2,2	7,0
4AC 225M4У3	55,0	87,0	0,93	45,0	88,0	0,92	1415	2,2	2,2	7,0
4AC 250S4У3	63,0	87,0	0,93	53,0	88,0	0,92	1405	2,2	2,2	7,0
4AC 250M4У3	71,0	86,5	0,94	60,0	87,0	0,93	1405	2,2	2,2	7,0

Тип двигателя	ПВ = 25%			ПВ = 60%			<u>n</u> об/мин	<u>Mпуск</u> <u>Mном</u>	<u>Mкр</u> <u>Mном</u>	<u>Iпуск</u> <u>Iном</u>
	P ₂ кВт	η %	Cos φ	P ₂ кВт	η %	Cos φ				
Синхронная частота вращения 1000об/мин										
4AC 132S6У3	7,5	77,5	0,84	6,0	80,0	0,79	935	1,9	2,1	6,5
4AC 132M6У3	10,0	77,5	0,84	7,5	80,5	0,78	940	1,9	2,1	6,5
4AC 160S6У3	14,0	80,0	0,86	11,0	83,5	0,84	925	1,9	2,1	6,5
4AC160M6У3	19,0	81,5	0,86	15,0	84,5	0,84	920	1,9	2,1	6,5
4AC180M6У3	20,0	83,0	0,90	17,0	85,0	0,89	925	1,9	2,1	6,5
4AC200M6У3	25,0	82,0	0,92	20,0	84,5	0,92	925	1,9	2,1	6,5
4AC200L6У3	33,0	83,5	0,92	25,0	86,0	0,92	940	1,9	2,1	6,5
4AC225M6У3	35,0	83,5	0,92	28,0	87,0	0,91	930	1,9	2,1	6,5
4AC250S6У3	45,0	88,0	0,90	36,0	89,5	0,90	950	1,9	2,1	6,5
4AC250M6У3	53,0	88,0	0,89	40,0	89,0	0,89	960	1,9	2,1	6,5
Синхронная частота вращения 750об/мин										
4AC132M8У3	7,1	75,0	0,74	5,0	78,0	0,64	695	1,8	2,0	6,0
4AC160S8У3	10,0	79,5	0,81	8,0	83,0	0,79	680	1,8	2,0	6,0
4AC160M8У3	14,0	81,0	0,80	11,0	83,5	0,77	680	1,8	2,0	6,0
4AC180M8У3	17,0	81,5	0,83	14,0	84,0	0,82	690	1,8	2,0	6,0
4AC200M8У3	24,0	79,5	0,85	19,0	83,5	0,84	690	1,8	2,0	6,0
4AC225M8У3	30,0	81,0	0,86	24,0	83,5	0,83	695	1,8	2,0	6,0
4AC250S8У3	45,0	83,5	0,86	30,0	86,5	0,84	700	1,8	2,0	6,0