

**Министерство общего и профессионального образования  
Свердловской области**

**ГБПОУ СО «Богдановичский политехникум»**



## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

Методические указания по выполнению внеаудиторных самостоятельных работ  
для студентов специальности  
23.02.03 «Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта»

Богданович  
2016

Составитель:

Кудряшова Т.А., преподаватель специальных дисциплин высшей квалификационной категории ГБПОУ СО «Богдановичский политехникум», г. Богданович

Методические указания составлены в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Электротехника и электроника» по специальности 23.02.03 «Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта» Практические работы разработаны в соответствии с требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки студентов специальности 23.02.03 «Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта»

Пособие содержит требования к оформлению внеаудиторных работ по дисциплине. В пособии также приведены примеры решения задач и варианты индивидуальных заданий.

Пособие может быть использовано педагогическими работниками при преподавании общепрофессиональной дисциплины «Электротехника и электроника» для студентов средних специальных учебных заведений по специальности 23.02.03 «Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта»

Рассмотрено на заседании Методического совета ГБПОУ СО  
«Богдановичский политехникум»

протокол № 1 от «29» августа 2016 г.

Председатель:  / Е.В. Снежкова

## СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка	4
Методические указания к выполнению работы № 1 <b>Электрические цепи постоянного тока</b>	8
Задание и критерии оценивания на работу № 1	14
Методические указания к выполнению работы № 2 <b>Расчет параметров неразветвленной цепи однофазного переменного тока</b>	17
Задание и критерии оценивания на работу № 2	22
Методические указания к выполнению работы № 3 <b>Расчет параметров разветвленной цепи однофазного переменного тока</b>	24
Задание и критерии оценивания на работу № 3	28
Методические указания к выполнению работы № 4 <b>Расчет схем соединения осветительной нагрузки при включении их в трехфазную сеть</b>	31
Задание и критерии оценивания на работу № 4	35
Методические указания к выполнению работы № 5 <b>Расчет трехфазной цепи переменного тока</b>	39
Задание и критерии оценивания на работу № 5	41
Методические указания к выполнению работы № 6 <b>Определение основных параметров машины постоянного тока</b>	43
Задание и критерии оценивания на работу № 6	45
Методические указания к выполнению работы № 7 <b>Расчет мощности, выбор двигателя и станции управления к нему</b>	48
Задание и критерии оценивания на работу № 7	52
Приложение А Справочные данные для выбора электродвигателя, станции управления к нему	55

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Студенты специальности изучают дисциплину общепрофессионального цикла «Электротехника и электроника» на 2 курсе.

При освоении дисциплины студенты знакомятся с процессами, происходящими в электрических цепях постоянного и переменного тока; изучают устройство и принципы действия электроизмерительных приборов, электрических машин и трансформаторов; полупроводниковых приборов.

Методические указания к выполнению практических работ включают перечень практических работ, обязательных для выполнения; критерии оценивания; методические указания и примеры решения типовых задач; а также список рекомендуемых источников информации

Задания на практическую работу содержат варианты практических работ.

Каждая практическая работа составлена в 30 вариантах и состоит в решении задач расчетного характера.

Самостоятельное выполнение расчетов является одним из важнейших этапов усвоения дисциплины «Электротехника и электроника», на котором приобретаются навыки пользования соответствующими расчетными зависимостями и, что особенно важно, достигается отчетливое понимание их физического смысла.

### Цель индивидуальной внеаудиторной работы

Целью индивидуальной работы является развитие у студентов самостоятельного творческого мышления в области теории и расчета электромеханических преобразователей энергии.

Знание и понимание дисциплины, умение применять свои знания на практике, а главное, самостоятельное творческое мышление студента наиболее полно выявляется при решении им специально подобранных задач. Поэтому для каждого студента умение решать задачи является одним из главных требований при изучении дисциплины.

К решению каждой задачи следует приступать только после изучения соответствующего раздела теоретического курса в объеме учебной программы по одному из рекомендованных в ней источников.

Перед самостоятельным выполнением задания рекомендуется разобрать ход решения нескольких типовых задач.

При таком подходе к изучению дисциплины знание и понимание предмета трансформируется в специфическое сознание и развивается самостоятельное аналитическое творческое мышление.

В результате выполнения внеаудиторных заданий обучающийся должен уметь:

- производить подбор элементов электрических цепей;
- читать схемы электрооборудования;

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

- методы расчета и измерения основных параметров электрических цепей;
- параметры электрических схем и единицы их измерения;
- устройство и принцип действия электрических машин

обладать **общими компетенциями**, включающими в себя способность:

- ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.
- ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.
- ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.
- ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.
- ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.
- ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.
- ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.
- ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

Быть подготовленным к освоению **профессиональных компетенций**, включающих в себя способность:

- ПК 1.1. Организовывать и проводить работы по техническому обслуживанию и ремонту автотранспорта.
- ПК 1.2. Осуществлять технический контроль при хранении, эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте автотранспорта.
- ПК 1.3. Разрабатывать технологические процессы ремонта узлов и деталей.
- ПК 2.3. Организовывать безопасное ведение работ при техническом обслуживании и ремонте автотранспорта

### **Общие требования к оформлению практических работ**

1. Вариант работы определяется порядковым номером студента в журнале учебных занятий.
2. Внеаудиторная работа выполняется на двойном тетрадном листе в клетку, на котором должны быть написаны: название работы, фамилия, имя и номер группы студента.
3. Необходимо оставлять поля 20 мм с одной стороны листа для замечаний преподавателя. При оформлении работы студент не должен пользоваться красными или зелеными чернилами или пастой.
4. Приступая к решению задачи, студент должен изучить ее условие; уяснить, какие величины являются заданными и какие искомыми; кратко записать условие задачи; вычертить электрическую схему, соответствующую условию задачи, и показать на ней заданные и искомые величины, а также направление токов. Практическое задание выполняется чернилами, графическая часть задания (схемы, кривые, векторные диаграммы) – карандашом с применением чертежных инструментов. При выполнении схем необходимо пользоваться условными графическими обозначениями, установленными ГОСТами.
5. Выполнение заданий должно сопровождаться краткими пояснениями.
6. Текст, формулы, числовые выкладки должны быть четкими без помарок. Цифровая подстановка в уравнении должна даваться один раз без промежуточных сокращений и расчетов. Численное значение каждого символа должно обязательно занимать то же место в формуле, что и сам символ. При выполнении заданий следует принимать Международную систему единиц измерения - СИ. Буквенные обозначения единиц измерения ставятся только возле окончательного результата и в скобки не заключаются, например, 120 В; 13 А; 100 Вт.

Таблица 1 - Перечень практических занятий

№ п/п	Темы практических работ	Кол-во часов
1,2	Электрические цепи постоянного тока	2
1.4	Расчет параметров неразветвленной и разветвленной цепи однофазного переменного тока	4
1.5	Расчет схем соединения осветительной нагрузки при включении их в трехфазную сеть	2
1.5	Расчет трехфазной цепи переменного тока	2
1.8	Определение основных параметров машины постоянного тока	2
1.10	Расчет мощности, выбор двигателя и станции управления к нему	2
	<b>ИТОГО</b>	<b>14</b>

### Критерии оценивания

Выполненные студентом письменные внеаудиторные работы проверяются преподавателем. Каждая работа оценивается по универсальной шкале. Процент результативности по количеству баллов и критерии оценивания приводится на каждое задание.

Технология оценивания направлена на измерение освоенных отдельных знаний и умений и предполагает индивидуальный подход к оцениванию подготовленности обучающегося по критериям соответствия освоенным компетенциям:

- обучающийся может выполнять конкретную деятельность (1 балл);
- может, но выполняет не в полном объеме (0,1 -0,9 баллов);
- еще не может выполнять (0 баллов).

Учитываются следующие основные требования - уровень знаний и умений, позволяющий решать практические задачи, уровень практических навыков и отношение к объекту деятельности.

На оценку влияют также уровень (полнота и аккуратность) оформления работы, владение Международной системой единиц измерения - СИ.

Критерии пятибалльной оценки:

- оценка «5» (отлично) выставляется за задание, выполненное на 90 – 100 % при условии методически и арифметически верного решения, четкого и аккуратного оформления работы;

- оценка «4» (хорошо) выставляется за задание, выполненное на 80 – 89,9 %, при условии методически верного решения, при наличии незначительных ошибок;

- оценка «3» (удовлетворительно) выставляется за задание, выполненное на 70 – 79,9 %, при наличии незначительных ошибок в методике расчетов, которые, однако, искажают результат работы;

- оценка «2» (неудовлетворительно) выставляется за выполнение задания с существенными ошибками в методике расчетов. Либо при неполном (менее 69,9 %) решении, не дающим представления о системности знаний студента по данному вопросу.

### Рекомендуемые источники информации:

Основные источники:

1. Немцов М.В. Электротехника и электроника: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования / М.В. Немцов, М.Л. Немцова. – М.: Издательский центр «Академия», 2015.-432с.

Дополнительные источники:

1. ГОСТ Р 52002-2003 Электротехника. Термины и определения основных понятий
2. Данилов И.А. Общая электротехника с основами электроники: учебн. пособие / И.А. Данилов, П.М. Иванов. - М.: Мастерство, 2008. - 752с.
3. Иванов И.И.. Электротехника. Основные положения, примеры, задачи: учебное пособие / И.И. Иванов. - С-Пб – М - Краснодар. – 2014. - 193с.
4. Кацман М.М. Электрические машины, , М.: Академия, 2015.- 367стр.
5. Кацман М.М. Сборник задач по электрическим машинам: учебн. пособие / М.М. Кацман. - М.: Академия, 2012. - 164с.
6. Библиотека электроэнергетики. Форма доступа: <http://elektroinf.narod.ru/>
7. Электричество и схемы. Форма доступа: <http://www.elektroshema.ru/>

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ВНЕАУДИТОРНЫХ РАБОТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 1 по теме: **Электрические цепи постоянного тока.**

Внеаудиторная работа №1 проводится при изучении раздела ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Данная работа дает возможность проверить знания:

- закона Ома для участка цепи;
- законов Кирхгофа для узла и для контура;
- свойств последовательного и параллельного соединения резисторов.

умения:

- применять свойства последовательного и параллельного соединения резисторов при определении эквивалентного сопротивления;
- применять закон Ома и законы Кирхгофа при определении тока и напряжения на участках цепи;
- рассчитывать мощность потребителей;
- составлять баланс мощности для определения правильности решения

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

На рис. 1 изображен резистор, представляющий участок электрической цепи, где:  $U$  - электрическое напряжение на резисторе (участке цепи);  $R$  - электрическое сопротивление резистора (участка цепи);  $I$  - сила тока на резисторе (участке цепи).

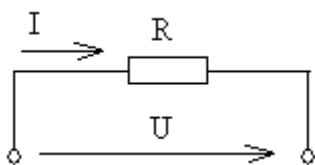


Рисунок 1 - Электрическая схема

## Закон Ома для участка цепи

Между этими электрическими величинами существует строго определенная связь. Она устанавливается законом Ома: Сила тока  $I$  на участке электрической цепи прямо пропорциональна напряжению  $U$  на его зажимах и обратно пропорциональна сопротивлению  $R$  этого участка цепи, т.е.

$$I = \frac{U}{R}, \text{ тогда } U = I \cdot R, \text{ а, } R = \frac{U}{I}$$

Единицы измерения: тока  $I$  - А (ампер), напряжения  $U$  - В (вольт), сопротивления  $R$  - Ом  
Примечание:

Единицы измерения всех электрических величин, получивших название в честь ученых, пишутся с прописной (заглавной) буквы.

## Мощность, потребляемая цепью



Мощность - это скорость, с которой происходит преобразование энергии. Для участка цепи, изображенного на рисунке 1, электрическая мощность может быть определена по формулам:

$$P = U \cdot I; \quad P = I^2 \cdot R; \quad P = \frac{U^2}{R} \quad \text{Единица измерения мощности } P - \text{ Вт (ватт).}$$

### Первый закон Кирхгофа

На рис. 2 показана часть электрической схемы с электрическим узлом или точкой разветвления (см. точку А). Это такая точка электрической схемы, где соединены три или большее число проводов (на рис. 2 таких проводов 5).

Первый закон Кирхгофа устанавливает соотношение между токами в узле. Он формулируется так: Сумма токов, направленных к узлу, равна сумме токов, направленных от него. Для узла А можно написать:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5 \quad \text{или так} \quad I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0, \quad \text{а в общем виде} \quad \sum I = 0 \quad \text{т. е.}$$

алгебраическая сумма токов в узле равна нулю. При этом токи, направленные от узла, считаются отрицательными.

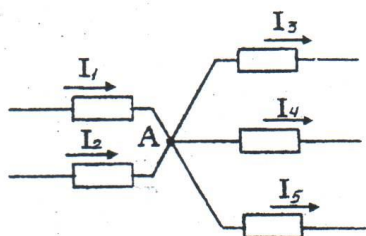


Рисунок 2 - Электрическая схема

### Последовательное соединение резисторов (рис. 3)

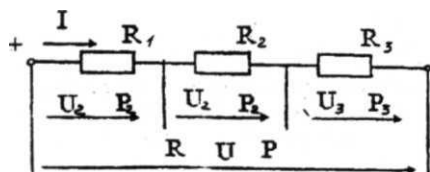


Рисунок 3 - Электрическая схема

Свойства этого вида соединения:

1. На всех резисторах (участках) этой цепи протекает один и тот же ток:  $I = I_1 = I_2 = I_3$
2. Эквивалентное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений ее резисторов (участков):  $R_{\text{эkv}} = R_1 + R_2 + R_3$
3. Напряжение на зажимах цепи равно сумме падений напряжений на ее отдельных резисторах (участках):  $U = U_1 + U_2 + U_3$
4. Мощность, потребляемая цепью, равна сумме мощностей потребляемых каждым из резисторов (участков):  $P = P_1 + P_2 + P_3$

При решении задач, содержащих последовательное соединение элементов, следует учитывать не только вышеперечисленные свойства, но и правильно применять закон Ома и формулы мощности, необходимость использования которых может возникнуть как на отдельном участке, так и для всей цепи в целом. Для схемы, изображенной на рисунке 3, они должны быть записаны в виде:

$$\begin{array}{llll} I_1 = \frac{U_1}{R_1} & I_2 = \frac{U_2}{R_2} & I_3 = \frac{U_3}{R_3} & I = \frac{U}{R} \\ P_1 = U_1 \cdot I & P_2 = U_2 \cdot I & P_3 = U_3 \cdot I & P = U \cdot I \end{array}$$

$$P_1 = I^2 \cdot R_1 \quad P_2 = I^2 \cdot R_2 \quad P_3 = I^2 \cdot R_3 \quad P = I^2 \cdot R$$

$$P_1 = \frac{U_1^2}{R_1} \quad P_2 = \frac{U_2^2}{R_2} \quad P_3 = \frac{U_3^2}{R_3} \quad P = \frac{U^2}{R}$$

### Параллельное соединение резисторов (рисунок 4)

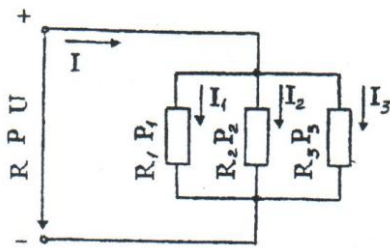


Рисунок 4 - Электрическая схема

Свойства этого вида соединения:

1. На всех резисторах (участках) такой цепи действует одно и тоже напряжение:  
 $U = U_1 = U_2 = U_3$
2. Ток в неразветвленной части цепи равен сумме токов её ветвей  $I = I_1 + I_2 + I_3$  (это следует из 1 закона Кирхгофа).
3. Полная (эквивалентная) проводимость цепи равна сумме проводимостей ее резисторов (участков):  $G = G_1 + G_2 + G_3$  или  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$
4. Мощность, потребляемая цепью, равна сумме мощностей потребляемых каждым из резисторов (участков):  $P = P_1 + P_2 + P_3$

Примечание:

- При определении эквивалентного сопротивления трех и большего числа резисторов рекомендуется вначале найти проводимость цепи, а затем ее сопротивление.

$$G = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}; \quad R = \frac{1}{G}$$

- При определении эквивалентного сопротивления двух резисторов рекомендуется

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

применять формулу:

При решения задач, содержащих параллельное соединение элементов, следует учитывать не только выше перечисленные свойства, но и правильно применять закон Ома и формулы мощности, необходимость использования которых может возникнуть как на отдельном участке, так и для всей цепи в целом. Для схемы, изображенной на рисунке 4 они должны быть записаны в виде:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \quad I_3 = \frac{U}{R_3} \quad I = \frac{U}{R}$$

$$P_1 = U \cdot I_1 \quad P_2 = U \cdot I_2 \quad P_3 = U \cdot I_3 \quad P = U \cdot I$$

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 \quad P_2 = I_2^2 \cdot R_2 \quad P_3 = I_3^2 \cdot R_3 \quad P = I^2 \cdot R$$

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1} \quad P_2 = \frac{U^2}{R_2} \quad P_3 = \frac{U^2}{R_3} \quad P = \frac{U^2}{R}$$

Обратитесь к подобным формулам последовательного соединения.

Проанализируйте их. Разберитесь, что в них общего и чем они отличаются друг от друга.

### Пример 1

Для схемы, приведенной на рисунке 5 и представляющей смешанное соединение сопротивлений, известно, что  $U = 250 \text{ В}$ ,  $R_1 = 14 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 50 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 200 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 40 \text{ Ом}$ ,  $R_6 = 15 \text{ Ом}$  и  $R_7 = 60 \text{ Ом}$ . Определить эквивалентное сопротивление  $R$  этой цепи, ток  $I$  и мощность  $P$ , потребляемые цепью, а так же токи  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7$ , напряжения  $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7$  и мощность  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$  на каждом резисторе. Проверьте решение задачи методом баланса мощностей.

Перед решением практического задания 1 необходимо внимательно прочитать общие методические указания к решению задачи 1 и только после этого приступить к решению.

В этом примере и в задачах задания 1 индекс тока, протекающего через резистор, индекс напряжения на нем и индекс мощности, потребляемой резистором, соответствуют индексу резистора. Например, на рисунке 5 резистор  $R_3$  характеризуется током  $I_3$ , напряжением  $U_3$ , мощностью  $P_3$ .

Схема электрической цепи, изображенная на рисунке 5, представляет собой смешанное соединение резисторов (она состоит из последовательных и параллельных соединений элементов схемы), эквивалентное сопротивление такой цепи находится путем постепенного упрощения схемы и "свертывания" её так, чтобы получить одно сопротивление. При расчете токов в отдельных ветвях схему "развертывают" в обратном порядке.

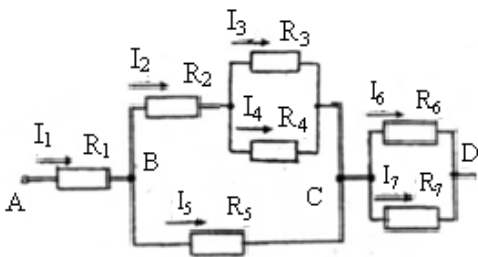


Рисунок 5 - Электрическая схема

Решение

1. Резисторы  $R_3$  и  $R_4$  соединены параллельно, поэтому их общее сопротивление:

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{50 \cdot 200}{50 + 200} = 40 \text{ Ом}$$

Теперь схема принимает вид, показанный на рисунке 6.

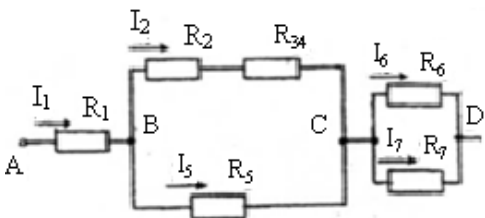


Рисунок 6 - Электрическая схема

На этой схеме выделены буквами три участка (AB, BC, CD), которые соединены друг с другом последовательно.

2. Резисторы  $R_2$  и  $R_{34}$  (см. рис. 6) соединены последовательно, их общее сопротивление  $R_{2-4} = R_2 + R_{34} = 20 + 40 = 60 \text{ Ом}$ . Соответствующая схема приведена на рис. 7

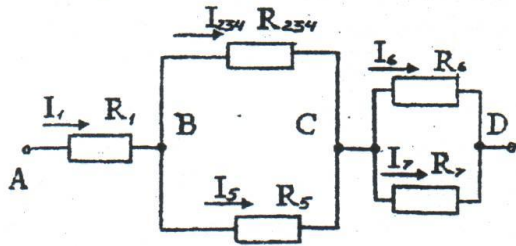


Рисунок 7 - Электрическая схема

3. Резисторы  $R_{234}$  и  $R_5$  соединены параллельно, их общее сопротивление

$$R_{BC} = \frac{R_{2-4} \cdot R_5}{R_{2-4} + R_5} = \frac{60 \cdot 40}{60 + 40} = 24 \text{ Ом}$$

Теперь схема цепи примет вид, приведенный на рис. 8.

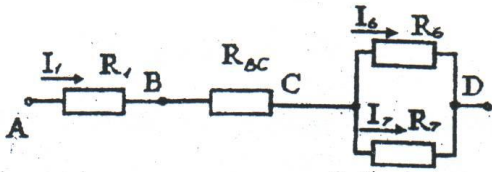


Рисунок 8 - Электрическая схема

4. Резисторы  $R_6$  и  $R_7$  соединены параллельно, их общее сопротивление

$$R_{CD} = \frac{R_6 \cdot R_7}{R_6 + R_7} = \frac{15 \cdot 60}{15 + 60} = 12 \text{ Ом}$$

Схема принимает вид, приведенный на рис. 9.

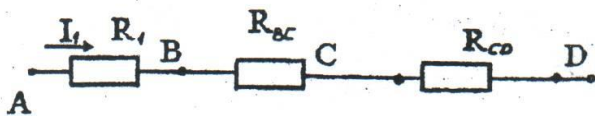


Рисунок 9 - Электрическая схема

5. Находим эквивалентное сопротивление цепи, учитывая, что  $R_{AB} = R_1$ , рис. 10:

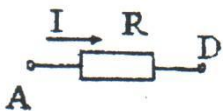


Рисунок 10 - Электрическая схема

$$R_{\text{экив}} = R_{AB} + R_{BC} + R_{CD} = 14 + 24 + 12 = 50 \text{ Ом}$$

6. Для схемы изображенной на рис. 10 нетрудно найти ток, потребляемый цепью, который одновременно является током неразветвленной части цепи. На основании закона

$$I = \frac{U}{R_{\text{экив}}} = \frac{250}{50} = 5 \text{ А}$$

Ома

7. Переходя от схемы к схеме в обратном порядке, найдем остальные токи. Так как схема, изображенная на рис. 9, представляет последовательное соединение участков АВ, ВС, СД, то на основании первого свойства этого вида соединения следует, что  $I = I_{AB} = I_{BC} = I_{CD} = 5 \text{ А}$ ; ( $I_1 = I_{AB} = 5 \text{ А}$ )

Используя закон Ома, найдем падение напряжения на участках АВ, ВС и СД

$$U_{AB} = U_1 = I \cdot R_1 = 5 \cdot 14 = 70 \text{ В} \quad U_{BC} = I \cdot R_{BC} = 5 \cdot 24 = 120 \text{ В} \quad U_{CD} = I \cdot R_{CD} = 5 \cdot 12 = 60 \text{ В}$$

По ходу решения задачи можно проверять правильность ее решения. Так, на основании третьего свойства последовательного соединения следует, что  $U = U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = 70 + 120 + 60 = 250 \text{ В}$ , что соответствует заданному напряжению. Зная напряжения на участках ВС и СД, определим токи в ветвях (см рис. 7)

8. На участке ВС резисторы  $R_{2-4}$  и  $R_3$  включены параллельно. На основании первого свойства этого вида соединения следует, что  $U_{BC} = U_{2-4} = U_5 = 120 \text{ В}$ . Применяя закон Ома, находим токи ветвей участка ВС:

$$I_{2-4} = \frac{U_{2-4}}{R_{2-4}} = \frac{120}{60} = 2 \text{ А} \quad ; \quad I_5 = \frac{U_5}{R_5} = \frac{120}{40} = 3 \text{ А}$$

9. На участке СД резисторы  $R_6$  и  $R_7$  также включены параллельно, поэтому

$$U_{CD} = U_6 = U_7 = 60 \text{ В} \quad \text{и} \quad I_6 = \frac{U_6}{R_6} = \frac{60}{15} = 4 \text{ А} \quad ; \quad I_7 = \frac{U_7}{R_7} = \frac{60}{60} = 1 \text{ А}$$

На основании второго свойства параллельного соединения можно убедиться на этом этапе в правильности решения задачи, применив первый закон Кирхгофа Из схемы (рис. 7) следует, что:  $I = I_1 = I_{2-4} + I_5$  и  $I = I_1 = I_6 + I_7$

Действительно:  $I = I_1 = I_{2-4} + I_5 = 2 + 3 = 5 \text{ А}$  и  $I = I_1 = I_6 + I_7 = 4 + 1 = 5 \text{ А}$

10. На рис. 8 видно, что на участке ВС верхняя ветвь представляет собой последовательное соединение резисторов  $R_2$  и  $R_{34}$  поэтому  $I_{2-4} = I_2 = I_{34} = 2$  (см. первое свойство данного вида соединения).

11. Для определения токов резисторов  $R_3$  и  $R_4$  предварительно найдем напряжение на резисторе  $R_{34}$  (рисунок б), которое эквивалентно им  $U_{34} = I_{34} \cdot R_{34} = 2 \cdot 40 = 80 \text{ В}$

Так как резисторы  $R_3$  и  $R_4$  на реальной схеме (см. рисунок 5) соединены параллельно и  $U_{34} = U_3 = U_4 = 80 \text{ В}$ , то:

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{80}{50} = 1.6 \text{ А} \quad ; \quad I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{80}{200} = 0.4 \text{ А}$$

Проверка:  $I_2 = I_3 + I_4 = 1.6 + 0.4 = 2 \text{ А}$  (см. первый закон Кирхгофа и второе свойство цепи с параллельным соединением).

12. При определении токов резисторов на каждом из них, кроме  $R_2$ , было определено напряжение, что требуется также по условию задачи. Осталось найти напряжение на резисторе  $R_2$ .

Это можно сделать двумя способами: на основании закона Ома  $U_2 = I_2 \times R_2 = 2 \cdot 20 = 40 \text{ В}$  или на основании третьего свойства последовательного соединения. На участке ВС верхняя ветвь представляет собой последовательное соединение резисторов  $R_2$  и  $R_{34}$  (см рис. 6), поэтому  $U_{BC} = U_2 + U_{34}$ , отсюда  $U_2 = U_{BC} - U_{34} = 120 - 80 = 40 \text{ В}$ . Переходим к определению мощности, потребляемой цепью и каждым резистором в отдельности.

13. Мощность, потребляемая цепью  $P = U \times I = 250 \times 5 = 1250 \text{ Вт}$   
Мощности, потребляемые каждым резистором

$$P_1 = U_1 \times I_1 = 70 \times 5 = 350 \text{ Вт} \quad P_2 = U_2 \times I_2 = 40 \times 2 = 80 \text{ Вт}$$

$$P_3 = U_3 \times I_3 = 80 \times 1.6 = 128 \text{ Вт} \quad P_4 = U_4 \times I_4 = 80 \times 0.4 = 32 \text{ Вт}$$

$$P_5 = U_5 \times I_5 = 120 \times 3 = 360 \text{ Вт} \quad P_6 = U_6 \times I_6 = 60 \times 4 = 240 \text{ Вт}$$

$$P_7 = U_7 \times I_7 = 60 \times 1 = 60 \text{ Вт}$$

14 Проверим правильность решения задачи на основании баланса мощностей, а это значит, что  $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 = 350 + 80 + 128 + 32 + 360 + 240 + 60 = 1250 \text{ Вт}$

Вывод:

Определение мощности цепей на основании баланса мощностей подтверждает значение мощности, полученной по формуле  $P = U \times I$ . Значит задача решена правильно.

В рассмотренном примере пояснительный текст дан достаточно подробно для того, чтобы студент мог самостоятельно разбираться в решении задач, подобных примеру. При решении задач контрольной работы пояснения следует давать в обязательном порядке, но делать это более кратко.

Например, пункт. 6 примера при оформлении может быть записан так:

б) Ток, потребляемый цепью,  $I = \frac{U}{R_{\text{экв}}} = \frac{250}{50} = 5 \text{ A};$

## ЗАДАНИЯ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 1

Внеаудиторная работа составлена в 30 вариантах и ее выполнение обучающимися рассчитано на 2 учебных часа.

Таблица № 2 - Критерии оценивания внеаудиторной работы № 1

Оцениваемый параметр	Максимальный балл
Вычертил схему для решения задачи с применением чертежных инструментов и указал на ней направление токов	2
Записал условие задачи с указанием единиц измерения физических величин	2
Указана цель каждого этапа решения задания	5
Приведены эквивалентные схемы после преобразования заданной электрической схемы	2
Определил эквивалентное сопротивление схемы.	2
Определил ток $I$ и мощность $P$ , потребляемые цепью	2
Рассчитал токи $I_1, I_2, I_3, I_4$ на каждом из резисторов.	4
Рассчитал напряжение $U_1, U_2, U_3, U_4$ на каждом из резисторов.	4
Рассчитал мощность $P_1, P_2, P_3, P_4$ на каждом из резисторов.	4
Составил баланс мощности	2
Сделан вывод по работе	1
<b>ИТОГО:</b>	<b>30</b>

Оценка результатов выполнения задания производится в соответствии с универсальной шкалой:

Процент результативности (правильных ответов)	Кол-во баллов	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
		балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	27 - 30	5	отлично
80 ÷ 89,9	24 - 26	4	хорошо
70 ÷ 79,9	21 - 23	3	удовлетворительно
менее 70	менее 21	2	не удовлетворительно

### Задача 1.1

На рисунке 11 приведена схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$ , к которым подведено напряжение  $U$ . Определить эквивалентное сопротивление  $R$  этой цепи, ток  $I$  и мощность  $P$ , потребляемые цепью, а также токи  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$ , напряжение  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$ , и мощность  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  на каждом из резисторов. Проверить, что  $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ . Данные для своего варианта взять из таблицы 3.

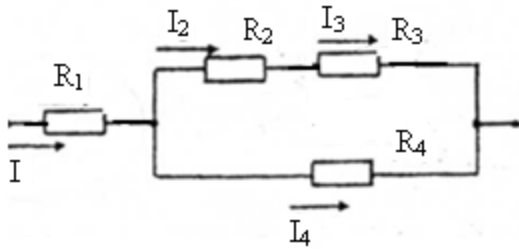


Рисунок 11 - Схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

Таблица 3 - Исходные данные к задаче 1.1

Известная величина	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
$U$ , В	120	125	150	160	180	200
$R_1$ , Ом	8	28	6	24	25	16
$R_2$ , Ом	20	60	110	140	120	25
$R_3$ , Ом	16	120	100	60	180	35
$R_4$ , Ом	18	120	15	50	60	40

### Задача 1.2

На рисунке 12 приведена схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$ , к которым подведено напряжение  $U$ . Определить эквивалентное сопротивление  $R$  этой цепи, ток  $I$  и мощность  $P$ , потребляемые цепью, а также токи  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$ , напряжение  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$ , и мощность  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  на каждом из резисторов. Проверить, что  $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ . Данные для своего варианта взять из таблицы 4.

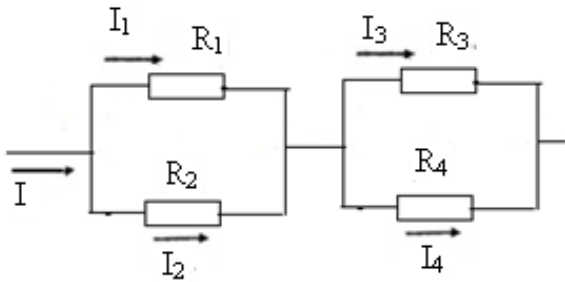


Рисунок 12 - Схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

Таблица 4 - Исходные данные к задаче 1.2

Известная величина	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
$U$ , В	90	130	156	180	210	234
$R_1$ , Ом	36	100	30	24	300	24
$R_2$ , Ом	18	25	45	12	60	36
$R_3$ , Ом	45	10	300	30	60	240
$R_4$ , Ом	30	15	75	20	30	60

### Задача 1.3

На рисунке 13 приведена схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$ , к которым подведено напряжение  $U$ . Определить

эквивалентное сопротивление  $R$  этой цепи, ток  $I$  и мощность  $P$ , потребляемые цепью, а также токи  $I_1, I_2, I_3, I_4$ , напряжение  $U_1, U_2, U_3, U_4$ , и мощность  $P_1, P_2, P_3, P_4$  на каждом из резисторов. Проверить, что  $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ . Данные для своего варианта взять из таблицы 5.

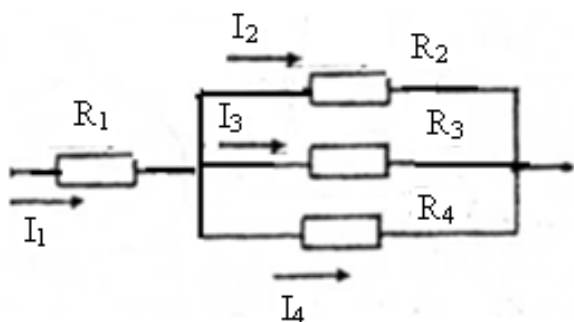


Рисунок 13 - Схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

Таблица 5 - Исходные данные к задаче 1.3

Известная величина	Номер варианта					
	13	14	15	16	17	18
$U, В$	60	90	120	150	165	195
$R_1, Ом$	3,2	4	8	5,6	2	32
$R_2, Ом$	12	60	200	40	30	100
$R_3, Ом$	40	24	50	60	15	150
$R_4, Ом$	10	240	60	36	40	30

#### Задача 1.4

На рисунке 14 приведена схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов  $R_1, R_2, R_3$  и  $R_4$ , к которым подведено напряжение  $U$ . Определить эквивалентное сопротивление  $R$  этой цепи, ток  $I$  и мощность  $P$ , потребляемые цепью, а также токи  $I_1, I_2, I_3, I_4$ , напряжение  $U_1, U_2, U_3, U_4$ , и мощность  $P_1, P_2, P_3, P_4$  на каждом из резисторов. Проверить, что  $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ . Данные для своего варианта взять из таблицы 6.

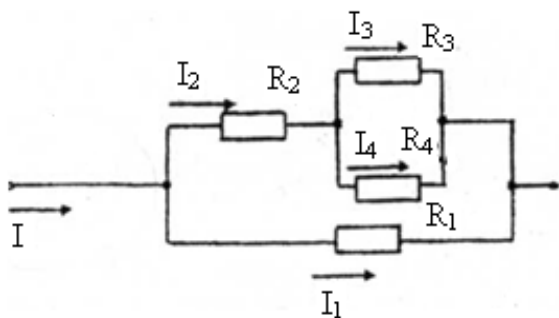


Рисунок 14 - Схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

Таблица 6 - Исходные данные к задаче 1.4

Известная величина	Номер варианта					
	19	20	21	22	23	24
$U, В$	48	75	90	120	180	240
$R_1, Ом$	8	10	45	20	15	48
$R_2, Ом$	4	12,6	12	24	22	24
$R_3, Ом$	10	4	40	10	24	180
$R_4, Ом$	40	6	60	15	12	120



### Задача 1.5

На рисунке 15 приведена схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$  к которым подведено напряжение  $U$ . Определить эквивалентное сопротивление  $R$  этой цепи, ток  $I$  и мощность  $P$ , потребляемые цепью, а также токи  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$ , напряжения,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$  и мощности  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  на каждом из резисторов. Проверить, что  $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ . Данные для своего варианта взять из таблицы 7.

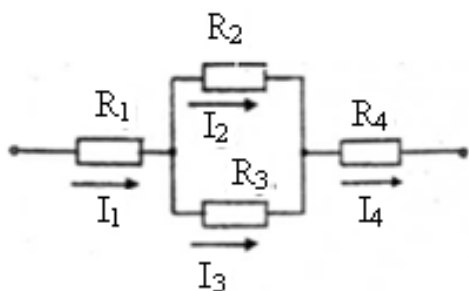


Рисунок 15 - Схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

Таблица 7 - Исходные данные к задаче 1.5

Известная величина	Номер варианта					
	25	26	27	28	29	30
$U$ , В	90	120	156	220	195	200
$R_1$ , Ом	8	10	20	12	14	8
$R_2$ , Ом	40	15	45	40	60	150
$R_3$ , Ом	60	10	30	60	30	100
$R_4$ , Ом	4	14	40	8	18	12

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 2 по теме: Расчет параметров неразветвленной цепи однофазного переменного тока

Эти задачи относятся к теме «Цепи переменного тока».

Данная работа дает возможность проверить знания:

- сущность физических процессов, протекающих в электрических цепях однофазного переменного тока;

- методику построения электрических цепей, порядок расчета их параметров;

умения:

- рассчитывать основные параметры простых электрических цепей.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

В этих цепях, так же как и в цепях постоянного тока, при решении задач использует закон Ома, первый закон Кирхгофа, формулы мощности, свойства последовательного и параллельного соединений. Однако из-за того, что в переменном токе действует три вида совершенно различных по характеру сопротивлений (активное  $R$ , индуктивное  $X_L$  и емкостное  $X_C$ ) форма записи законов изменяется. Иначе устанавливается связь и между однородными электрическими величинами. Так, при последовательном соединении в постоянном токе общее сопротивление было равно арифметической сумме сопротивлений, в переменном токе берется уже геометрическая сумма  $R$ ,  $X_L$ ,  $X_C$ . Геометрически складываются также напряжения и мощности на этих сопротивлениях.

На основании закона Ома напряжения на активном, индуктивном и емкостном сопротивлениях могут быть определены по формулам:  $U_R = I \cdot R$ ;  $U_L = I \cdot X_L$ ;  $U_C = I \cdot X_C$

При этом следует иметь в виду, что  $U_R$  — совпадает по фазе с током,  $U_L$  -опережает по фазе ток на  $90^\circ$ ,  $U_C$  - отстает от тока на  $90^\circ$ .

Результирующее напряжение  $U$  представляет геометрическую сумму напряжений  $U_R$ ,  $U_L$  и  $U_C$ . На рисунке 16 представлена векторная диаграмма этих напряжений.

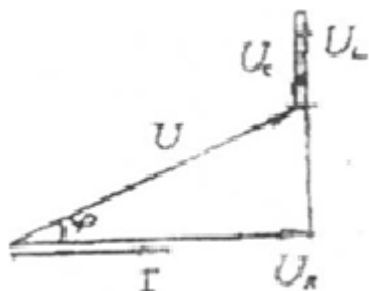


Рисунок 16 - Векторная диаграмма

Результирующее напряжение  $U$ , которое является напряжением, подведенным к зажимам цепи, (можно найти не только графически в этом случае диаграмма должна быть построена в масштабе), но и математически, на основании теоремы Пифагора:

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

Если каждое из напряжений на векторной диаграмме (рис.16) разделить на ток  $I$ , то получится фигура, подобная векторной диаграмме, которая будет называться треугольником сопротивлений (рис 17) т.к.

$$R = \frac{U_R}{I}; \quad X_L = \frac{U_L}{I}; \quad X_C = \frac{U_C}{I}$$

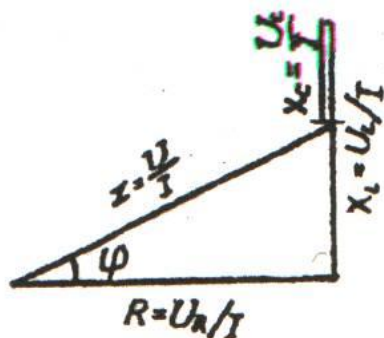


Рисунок 17 - Диаграмма сопротивлений

Из треугольника сопротивлений следует, что

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

Если каждое из напряжений на векторной диаграмме (рис. 16) умножить на ток  $I$ , то получится фигура, подобная векторной диаграмме, которая будет называться треугольником мощностей (рис 18), т. к.  $P = U_R \cdot I$ ;  $Q_L = U_L \cdot I$ ;  $Q_C = U_C \cdot I$

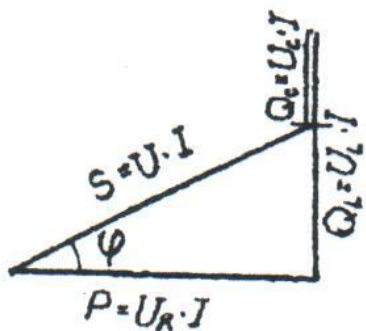


Рисунок 18 - Диаграмма мощностей

Из треугольника мощностей следует, что  $S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}$

Используя закон Ома для каждого элемента цепи ток можно найти по формулам:

$$P = I^2 \cdot R; Q_L = I^2 \cdot X_L; Q_C = I^2 \cdot X_C;$$

$$P = \frac{U_R^2}{R}; Q_L = \frac{U_L^2}{X_L}; Q_C = \frac{U_C^2}{X_C}; S = I^2 \cdot Z \text{ или } S = \frac{U^2}{Z}$$

Из треугольника мощностей (рис 18) так же следует, что

$$P = S \cdot \cos \varphi \text{ или } P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \text{ или } Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi,$$

где  $Q = Q_L - Q_C$  - результирующая реактивная мощность

Анализируя векторную диаграмму напряжений (рис. 16), треугольник сопротивлений (рис. 17), треугольник мощностей (рис. 18), можно сделать вывод что при  $U_L > U_C$  ( $X_L > X_C$ ) результирующий вектор напряжения  $U$  опережает вектор тока  $I$  на угол  $\varphi < 90^\circ$ , а при  $U_L < U_C$  ( $X_L < X_C$ ) результирующий вектор напряжения отстает от вектора тока на угол  $\varphi$ .  $\cos \varphi = P/S$  - называется коэффициентом мощности

Особенности расчета цепи при другой комбинации элементов схемы. При отсутствии одного из реактивных сопротивлений все электрические параметры определяются по вышеприведенным формулам. При этом из них нужно исключить параметры с индексом отсутствующего элемента.

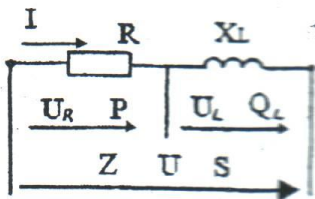


Рисунок 19 - Электрическая схема

На рисунке 19 изображена цепь с последовательным соединением  $R$  и  $X_L$ , элемент  $X_C$  отсутствует, поэтому  $U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}; Z = \sqrt{R^2 + X_L^2};$

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}; Q = Q_L; \sin \varphi = \frac{U_L}{U}; \sin \varphi = \frac{X_L}{Z}; \sin \varphi = \frac{Q_L}{S}$$

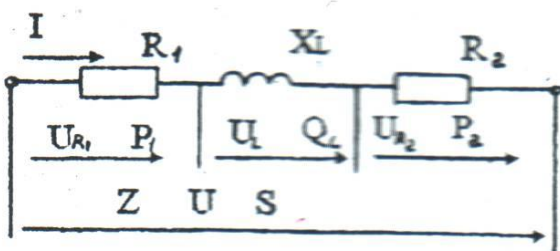


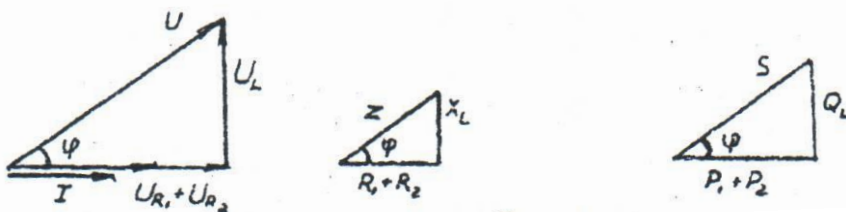
Рисунок 20 - Электрическая схема

$$U = \sqrt{(U_{R1} + U_{R2})^2 + U_L^2};$$

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + X_L^2}; S = \sqrt{(P_1 + P_2)^2 + Q_L^2};$$

$$\cos \varphi = \frac{U_{R1} + U_{R2}}{U}; \cos \varphi = \frac{R_1 + R_2}{Z}; \cos \varphi = \frac{P_1 + P_2}{S}$$

Векторная диаграмма, треугольник сопротивлений и треугольник мощностей будут иметь вид, изображенный на рисунке 21



**Цепь с последовательным соединением электроприемников, содержащая активное, индуктивное и емкостное сопротивления**

**Пример 2**

На рисунке 22 в однофазную электрическую цепь переменного синусоидального тока напряжением  $U=50В$  включены активные  $R_1=9Ом$  и  $R_2=11Ом$  и реактивные элементы, обладающие сопротивлениями  $X_L = 12Ом$ ,  $X_C=27Ом$ .

Определить: ток  $I$  в цепи; напряжение на каждом элементе цепи; активные, реактивные и полное сопротивления; угол сдвига фаз между напряжением и током ( по величине и знаку); активные и реактивные мощности элементов; активную, реактивную и полную мощности цепи.

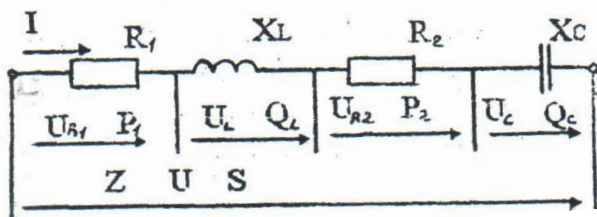


Рисунок 22 - Электрическая схема

Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений. После построения диаграммы измерить вектор суммарного напряжения и убедиться в том, что с учетом масштаба его величина равна напряжению, подведенному к зажимам цепи

**Решение**

1. Определяем полное сопротивление цепи

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2) + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(9 + 11)^2 + (12 - 27)^2} = 25 Ом$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{50}{25} = 2$$

2. Определяем ток цепи

3. Определяем падение напряжения:

на активном сопротивлении  $R_1$   $U_{R1} = I \cdot R_1 = 2 \cdot 9 = 18 В$

на активном сопротивлении  $R_2$   $U_{R2} = I \cdot R_2 = 2 \cdot 11 = 22 В$

на индуктивном сопротивлении  $U_L = I \cdot X_L = 2 \cdot 12 = 24 В$

на емкостном сопротивлении  $U_C = I \cdot X_C = 2 \cdot 27 = 54 В$

4. Определяем угол сдвига фаз между напряжением и током

$$\cos \varphi = \frac{R_1 + R_2}{Z} = \frac{9 + 11}{25} = 0,8 ; \quad \sin \varphi = \frac{X_L - X_C}{Z} = \frac{12 - 27}{25} = -0,6 \quad \varphi = -36,9^\circ$$

5. Определяем активную мощность цепи

$$P = P_1 + P_2 = I^2 \cdot (R_1 + R_2) = 2^2 \cdot (9 + 11) = 80 Вт$$

6. Определяем реактивную мощность цепи  $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 50 \cdot 2 \cdot (-0,6) = -60 ВАр$

7. Определяем полную мощность цепи  $S = I \cdot U = 2 \cdot 50 = 100 ВА$

8. Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для тока и напряжения. Задаемся масштабом по току и по напряжению  $m_I = 1 А/см ; m_U = 10 В/см$

Здесь  $m_I$  и  $m_U$  - масштабные коэффициенты. Они показывают, сколько ампер или вольт содержится в 1 см. Масштаб можно задавать и графически (см. рис. 23).

### Порядок построения

От точки 0 горизонтально вправо проводим вектор тока  $I$  общий для всей цепи. В выбранном масштабе его длина будет

$$l_I = \frac{I}{m_I} = \frac{2}{1} = 2 \text{ см}$$

Вектор активного напряжения совпадает по фазе с током, угол сдвига фаз между ними равен 0, поэтому откладываем его вдоль вектора тока от точки 0 вправо. В выбранном масштабе его длина будет

$$l_{U_{R1}} = \frac{U_{R1}}{m_U} = \frac{18}{10} = 1,8 \text{ см}$$

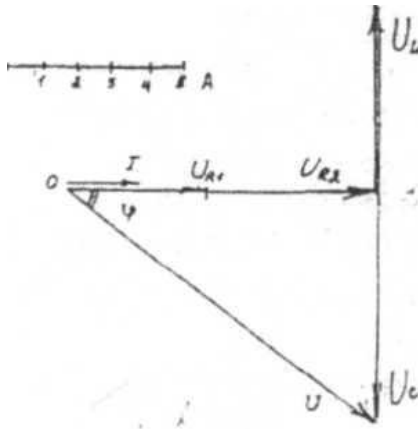


Рисунок 23 - Векторная диаграмма

От конца вектора  $U_{R1}$ , откладываем вправо вдоль вектора тока вектор активного напряжения  $U_{R2}$ . Его длина будет

$$l_{U_{R2}} = \frac{U_{R2}}{m_U} = \frac{22}{10} = 2,2 \text{ см}$$

От конца вектора  $U_{R2}$  откладываем вертикально вверх вектор падения напряжения на индуктивном сопротивлении  $U_L$  так как он опережает ток на угол  $90^\circ$ . Его длина будет

$$l_{U_L} = \frac{U_L}{m_U} = \frac{24}{10} = 2,4 \text{ см}$$

От конца вектора  $U_L$  откладываем вертикально вниз вектор падения напряжения  $U_C$  на емкостном сопротивлении, т.к. он отстает от тока угол  $90^\circ$ . Его длина будет

$$l_{U_C} = \frac{U_C}{m_U} = \frac{54}{10} = 5,4 \text{ см}$$

Геометрическая сумма векторов  $U_{R1}$ ,  $U_{R2}$ ,  $U_L$  и  $U_C$  должна быть равна полному напряжению  $U$ , приложенному к зажимам цепи, т.е.  $\vec{U} = \vec{U}_{R1} + \vec{U}_{R2} + \vec{U}_L + \vec{U}_C$

Измерив длину этого вектора, убеждаемся, что она  $l_U = 5$  см. Это значит, что с учетом масштаба его величина будет:  $U = l_U \cdot m_U = 5 \cdot 10 = 50 \text{ В}$

По условию задачи именно такое напряжение приложено к зажимам цепи.

Примечание:

Если в выбранном масштабе вектор суммарного напряжения не будет равен приложенному к зажимам цепи напряжению, то это будет говорить об ошибке, допущенной в решении задачи или в построении векторной диаграммы. Ее нужно найти и устранить:

Чаще всего наблюдаются ошибки, связанные с искажением масштабов при построении векторной диаграммы. Учтите это, при построении векторной диаграммы пользуйтесь чертежным инструментом. Выполняйте диаграмму точно и аккуратно.

## ЗАДАНИЯ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 2

Внеаудиторная работа составлена в 30 вариантах и ее выполнение обучающимися рассчитано на 2 учебных часа

Таблица 8 - Критерии оценивания внеаудиторной работы № 2

Оцениваемый параметр	Максимальный балл
Вычертил схему для решения задачи с применением чертежных инструментов и указал на ней направление токов	2
Записал краткое условие задачи с указанием единиц измерения физических величин	2
Указана цель каждого этапа решения задания	8
Рассчитал 8 неизвестных параметров заданной электрической схемы	16
Определил масштаб токов и напряжения и рассчитал длины соответствующих векторов	6
Построил векторную диаграмму	3
Проверил построением правильность расчета	2
Сделал вывод по работе	1
<b>ИТОГО:</b>	<b>40</b>

Оценка результатов выполнения задания производится в соответствии с универсальной шкалой:

Процент результативности (правильных ответов)	Кол-во баллов	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
		балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	36 - 40	5	отлично
80 ÷ 89,9	32 - 35	4	хорошо
70 ÷ 79,9	28 - 31	3	удовлетворительно
менее 70	менее 28	2	не удовлетворительно

**Задача 2.1** На рис. 24 в однофазную электрическую сеть переменного синусоидального тока включены реальная катушка индуктивности, обладающая активным и индуктивным сопротивлениями, вольтметр —  $V$ , амперметр -  $A$  и ваттметр -  $W$ , измеряющие соответственно напряжение  $U$ , подведенное к катушке, ее ток  $I$  и активную мощность  $P$ .

Используя показания приборов, определить: активное  $R$ , полное  $Z$  - сопротивление катушки; ее реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности; активную  $U_a$  и реактивную  $U_L$  составляющие напряжения; коэффициент мощности и угол сдвига фаз  $\phi$  между напряжением и током. По результатам расчета построить в масштабе векторную диаграмму напряжений.

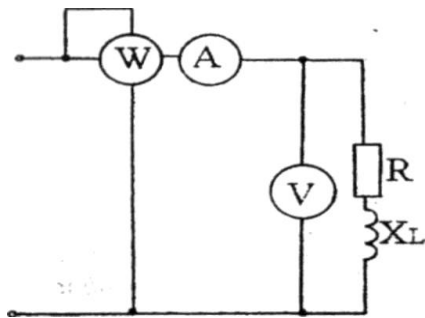


Рисунок 24 – Электрическая схема

После построения диаграммы измерить вектор суммарного напряжения и убедиться в том, что с учетом масштаба его величина равна показаниями вольтметра. Данные для своего варианта взять из таблицы 9.

Таблица 9 - Исходные данные к задаче 2.1

Показания приборов	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вольтметра -U, В	90	120	140	150	175	120	135	80	200	220
Амперметра -I, А	9	8	7	6	5	4	3	2	8	4
Ваттметра - P, Вт	648	576	784	540	700	288	324	96	1280	528

**Задача 2.2** На рисунке 25 приведена электрическая схема, включенная в сеть однофазного переменного синусоидального тока, и состоящая из последовательного соединения двух активных сопротивлений и емкостного. Известны: напряжение  $U$ , подведенное к зажимам цепи; напряжение  $U_{R1}$  и  $U_{R2}$  на активных сопротивлениях, величина емкостного сопротивления  $X_C$ .

Определить: напряжение  $U_C$  на емкостном сопротивлении; ток  $I$  цепи; активные  $R_1$ ,  $R_2$  и полное  $Z$  сопротивление; угол сдвига фаз  $\phi$  между напряжением  $U$  и током  $I$  (по величине и знаку); активную  $P$ , реактивную  $Q$ , и полную  $S$  мощности цепи/ Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений. После построения диаграммы измерить вектор суммарного напряжения и убедиться в том, что с учетом масштаба его величина равна напряжению, подведенному к зажимам цепи. Данные своего варианта взять из таблицы 10.

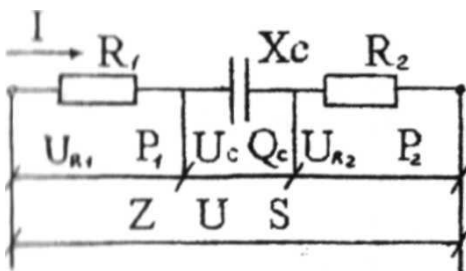


Рисунок 25 – Электрическая схема

Таблица 10 - Исходные данные к задаче 2.2

Известная величина	Вариант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U, В	200	195	180	175	160	150	140	125	170	165
$U_{R1}$ , В	60	90	68	60	54	45	52	30	70	48
$U_{R2}$ , В	60	66	40	80	42	75	32	45	32	84
$X_C$ , Ом	80	39	36	21	64	30	28	20	68	33

**Задача 2.3** На рис. 26 приведена схема электрической цепи переменного синусоидального тока с последовательным соединением активного  $R$ , индуктивного  $X_L$  и емкостного  $X_C$  сопротивлений. Известны эти сопротивления и полная  $S$  мощность цепи.

Определить показания приборов, угол сдвига фаз  $\varphi$  между напряжением  $U$  и током  $I$  (по величине и знаку), активную  $P$  и реактивную  $Q$  мощности цепи.

Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений. После построения измерить вектор суммарного напряжения и убедиться в том, что с учетом масштаба его величина равна показанию вольтметра, измеряющего напряжение на зажимах цепи.

Примечание: при определении показаний приборов в пояснительном тексте к решению задачи указывать не только название прибора и измеряемой величины, но и название участка цепи, на котором происходит измерение.

Например, вольтметр  $V_R$  измеряет напряжение на активном сопротивлении цепи. Данные для своего варианта взять из таблицы 11.

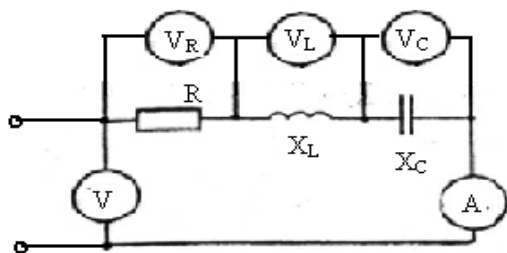


Рисунок 26 – Электрическая схема

Таблица 11 - Исходные данные к задаче 2.3

Известная величина	Вариант									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$S, \text{ВА}$	240	260	280	300	320	340	360	380	400	440
$R, \text{Ом}$	36	52	42	60	48	51	54	76	60	88
$X_L, \text{Ом}$	60	16	70	20	84	32	100	13	120	33
$X_C, \text{Ом}$	12	55	14	65	20	100	28	70	40	99

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 3 по теме: Расчет параметров разветвленной цепи однофазного переменного тока

Эти задачи относятся к теме «Электрические цепи однофазного переменного тока».

Данная работа дает возможность проверить знания:

- сущность физических процессов, протекающих в электрических цепях однофазного переменного тока;

- методику построения электрических цепей, порядок расчета их параметров;

- рассчитывать основные параметры электрических цепей.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

#### Цепь с параллельным соединением электроприемников, содержащая активные, индуктивные и емкостные сопротивления

Комбинации сопротивлений электроприемников достаточно разнообразны, поэтому рассмотрим общие принципы расчета на примере параллельного соединения реальной индуктивной катушки и реального конденсатора (рис. 27)

Для такой цепи характерно то, что электроприемники, соединенные параллельно, находятся под общим напряжением.



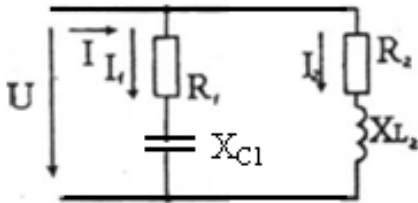


Рисунок 27 - Параллельное соединение реальной индуктивной катушки и реального конденсатора

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_1} \quad I_2 = \frac{U_2}{Z_2}$$

Ток каждой ветви определяется по закону

где  $Z$ - полное сопротивление ветви  $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{C1}^2}$  и  $Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L2}^2}$

Углы сдвига фаз  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  между током каждой ветви и напряжением определяются с помощью тригонометрических функций

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1}; \quad \sin \varphi_1 = \frac{-X_{C1}}{Z_1} \quad \cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2}; \quad \sin \varphi_2 = \frac{X_{L2}}{Z_2}$$

Угол сдвига фаз обязательно следует проверять по синусу во избежание потери знака угла (косинус является четной функцией, но находить его тоже нужно. Он требуется в дальнейшем расчете цепи).

Общий ток цепи, как следует из первого закона Кирхгофа, равен геометрической

сумме токов ветвей  $\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2$

На рис. 28 представлена векторная диаграмма этих токов.

Общий суммарный или результирующий ток можно найти не только графически (в этом случае диаграмма должна быть построена в масштабе), но и математически, на основании

теоремы Пифагора:  $I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$

где:  $I_a$  - проекция вектора общего тока на вектор напряжений он называется активной составляющей общего тока.

$I_p$  - проекция вектора общего тока на линию, перпендикулярную линии напряжения, она называется реактивной составляющей общего тока

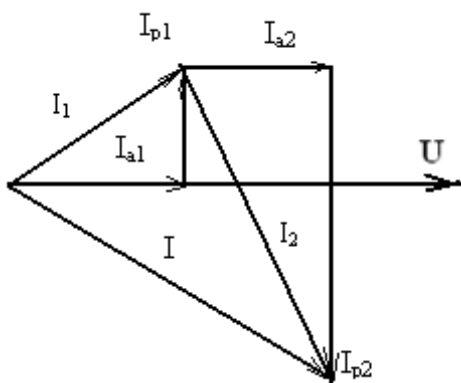


Рисунок 28 – Векторная диаграмма токов

Из диаграммы видно, что  $I_a = I_{a1} + I_{a2}$ ,  $I_p = -I_{C1} + I_{L2}$

В этих формулах:

$I_{a1}$  и  $I_{a2}$  - активные составляющие токов первой и второй ветви.

$I_{C1}$  - реактивная составляющая тока первой ветви. Она носит емкостный характер и поэтому взята со знаком «минус»

$I_{L2}$  - реактивная составляющая тока второй ветви. Она носит индуктивный характер и поэтому взята со знаком «плюс»

Введем в формулу общего тока его составляющие, тогда:

$$I = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2})^2 + (-I_{C1} + I_{L2})^2}$$

Значение составляющих токов ветвей определить по формулам:

$$I_{a1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad I_{a2} = I_2 \cdot \cos \varphi_2$$

$$I_{C1} = I_1 \cdot \sin \varphi_1 \quad I_{L2} = I_2 \cdot \sin \varphi_2$$

Активная мощность цепи равна арифметической сумме активных мощностей ветвей:  $P = P_1 + P_2$ ,

$$P_1 = U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad \text{или} \quad P_1 = I_1^2 R_1$$

$$P_2 = U \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad \text{или} \quad P_2 = I_2^2 R_2$$

Реактивная мощность цепи равна алгебраической сумме реактивных мощностей ветвей:  $Q = Q_{L2} - Q_{C1}$ ,

$$Q_{C1} = U \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1 \quad \text{или} \quad Q_{C1} = I_1^2 (-X_{C1})$$

$$Q_{L2} = U \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2 \quad \text{или} \quad Q_{L2} = I_2^2 X_{L2}$$

Активную и реактивную мощности цепи можно найти так:

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad \text{или} \quad P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad \text{или} \quad Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi,$$

где

$$\cos \varphi = \frac{I_{a1} + I_{a2}}{I} \quad \text{и} \quad \sin \varphi = \frac{-I_{C1} + I_{L2}}{I}$$

$\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$  используют также для определения угла сдвига фаз между общим током и напряжением

$$\text{Полная мощность цепи: } S = U \cdot I \quad \text{или} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Угол сдвига фаз  $\varphi$  между общим током и напряжением можно определить из

$$\text{выражения} \quad \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \text{и} \quad \sin \varphi = \frac{Q}{S}, \quad \text{а также} \quad \cos \varphi = \frac{I_{a1} + I_{a2}}{I} \quad \text{и} \quad \sin \varphi = \frac{-I_{C1} + I_{L2}}{I}$$

$\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$  используется также для определения угла сдвига фаз между общим током и напряжением.

### Пример 3

В электрической цепи (рис. 29) к источнику однофазного переменного синусоидального тока напряжением  $U=540\text{В}$  подключена катушка, обладающая активным  $R_1=28,8$  Ом и индуктивным сопротивлением  $X_L = 21,6$  Ом. Параллельно ей включены в одной ветви резистор с сопротивлением  $R_2=45$  Ом, в другой- конденсатор сопротивлением  $X_C = 20$  Ом. Определить: токи в ветвях  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ ; ток  $I$ , потребляемый цепью; угол сдвига фаз  $\varphi$  (по

величине и знаку) между напряжением  $U$  и током  $I$ ; активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности цепи. Построить в масштабе векторную диаграмму токов.

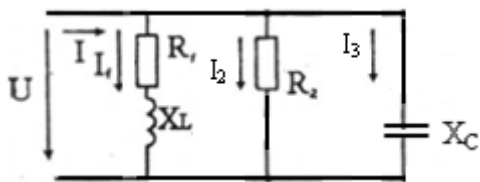


Рисунок 29 – Электрическая схема

Решение

1 Полное сопротивление первой ветви  $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_L^2} = \sqrt{28.8^2 + 21.6^2} = 36 \text{ Ом}$

Косинус и синус угла сдвига фаз  $\varphi_1$  между напряжением и током второй ветви

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{28.8}{36} = 0,8. \quad \sin \varphi_1 = \frac{X_L}{Z_1} = \frac{21.6}{36} = 0,6$$

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{540}{36} = 15 \text{ A}$$

Ток второй ветви

Активная и реактивная составляющие тока второй ветви

$$I_{a1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 15 \cdot 0,8 = 12 \text{ A} \quad I_{p1} = I_1 \cdot \sin \varphi_1 = 15 \cdot 0,6 = 9 \text{ A}$$

2 Во второй ветви дано только активное сопротивление, поэтому ее ток

$$I_2 = I_{a2} = \frac{U}{R_2} = \frac{540}{45} = 12 \text{ A}$$

Он совпадает по фазе с напряжением и носит активный характер. Угол сдвига фаз между этим током и напряжением  $\varphi_1 = 0$ . Реактивная составляющая тока в этой ветви отсутствует  $I_{p2} = I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 12 \cdot 0 = 0$

3 В третьей ветви дано только ёмкостное сопротивление, поэтому её ток

$$I_3 = \frac{U}{X_C} = \frac{540}{20} = 27 \text{ A}$$

Этот ток опережает напряжение на угол  $\varphi = -90^\circ$ . Активная составляющая тока этой ветви равна нулю  $I_{a3} = I_3 \cdot \cos \varphi_3 = 27 \cdot \cos(-90^\circ) = 0$

3 Определяем ток в неразветвленной части цепи

$$I = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2} + I_{a3})^2 + (I_{p1} + I_{p2} + I_{p3})^2} = \sqrt{(12 + 12 + 0)^2 + (9 + 0 - 27)^2} = 30 \text{ A}$$

4 Определяем коэффициент мощности всей цепи  $\cos \varphi = \frac{I_{a1} + I_{a2} + I_{a3}}{I} = \frac{12 + 12 + 0}{30} = 0,8$

Угол сдвига фаз находим по синусу во избежание потери знака угла (косинус является четной функцией):

$$\sin \varphi = \frac{I_{p1} + I_{p2} + I_{p3}}{I} = \frac{9 + 0 - 27}{30} = -0,6 \quad \text{тогда: } \varphi = 37^\circ$$

5 Активные и реактивные мощности элементов:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 540 \cdot 30 \cdot 0,8 = 12960 \text{ Вт} \quad Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 540 \cdot 30 \cdot (-0,6) = -9720 \text{ Вар}$$

6 Полная мощность цепи.  $S = U \cdot I = 540 \cdot 30 = 16200 \text{ ВА}$

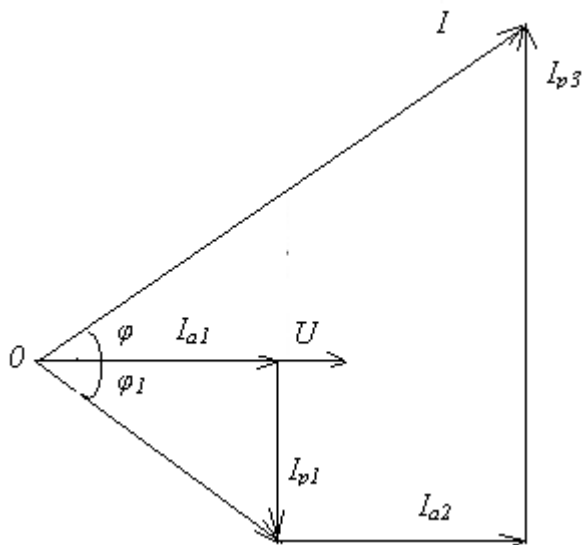


Рисунок 30 – Векторная диаграмма токов

Проверка

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{12960^2 + (-972)^2} = 16200 \text{ВА}$$

7 Для построения векторной диаграммы напряжений зададимся масштабами  $m_U=100\text{В/см}$ ,  $m_I=3\text{А/см}$ . Векторная диаграмма представлена на рис.30.

8 Измеряем вектор суммарного тока  $l_I=6\text{см}$ , тогда  $I=l_I \cdot m_I=7,10,28=2\text{А}$  и убеждаемся в том, что с учетом масштаба его величина равна току, определенному математическим путём.

### ЗАДАНИЯ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 3

Внеаудиторная работа составлена в 30 вариантах и ее выполнение обучающимися рассчитано на 2 учебных часа.

Таблица 13 - Критерии оценивания внеаудиторной работы № 3

Оцениваемый параметр	Максимальный балл
Вычертил схему для решения задачи с применением чертежных инструментов и указал на ней направление токов	2
Записал краткое условие задачи с указанием единиц измерения физических величин	2
Указана цель каждого этапа решения задания	8
Рассчитал 7 неизвестных параметров заданной электрической схемы	14
Определил масштаб токов и напряжения и рассчитал длины соответствующих векторов	6
Построил векторную диаграмму	3
Проверил построением правильность расчета	2
Сделал вывод по работе	1
<b>ИТОГО:</b>	<b>38</b>

Оценка результатов выполнения задания производится в соответствии с универсальной шкалой:

Процент результативности (правильных ответов)	Кол-во баллов	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
		балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	35 - 38	5	отлично
80 ÷ 89,9	31 - 34	4	хорошо
70 ÷ 79,9	27 - 30	3	удовлетворительно
менее 70	менее 27	2	не удовлетворительно

**Задача 3.1** На рис.31 приведена схема электрической цепи переменного синусоидального тока с параллельным соединением двух ветвей. В первой ветви включена катушка, обладающая активным  $R$ , и индуктивным  $X_L$  сопротивлениями. Во второй параллельной ветви включен конденсатор, его емкостное сопротивление  $X_{C2}$ .

Напряжение, подведенное к зажимам цепи  $U$ .

Определить показания амперметров, угол сдвига фаз  $\varphi$  (по величине и знаку) между напряжением  $U$  и током  $I$ , измеряемым амперметром, который установлен в неразветвленную часть цепи, активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности цепи.

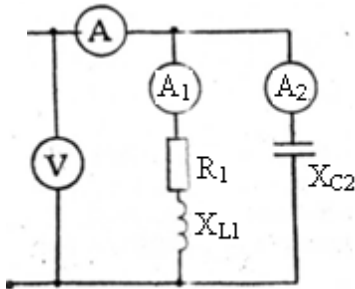


Рисунок 31 – Электрическая схема

Построить в масштабе векторную диаграмму токов. После построения диаграммы измерить вектор суммарного тока и убедиться в том, что с учетом масштаба его величина равна показанию амперметра, включенного в неразветвленную часть цепи.

Данные для своего варианта взять из таблицы 14.

Таблица 14 - Исходные данные к задаче 3.1

Известная величина	Номер варианта.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U, В$	20	30	50	90	60	20	30	50	90	60
$R_1, Ом$	6	12	15	24	24	6	12	15	24	24
$X_{L1}, Ом$	8	9	20	18	32	8	9	20	18	32
$X_{C2}, Ом$	25	15	50	45	60	6.25	50	25	60	40

### Задача 3.2

На рис. 32 приведена схема электрической цепи переменного синусоидального тока с параллельным соединением двух ветвей. В первой параллельной ветви включен потребитель с активным сопротивлением  $R_1$ . Во второй параллельной ветви включена катушка, обладающая активным  $R_2$  и индуктивным  $X_L$  сопротивлениями. Напряжение, подведенное к зажимам цепи  $U$

Определить: ток  $I_1$  потребителя первой ветви, ток  $I_2$  катушки; ток  $I$ , потребляемый цепью; угол сдвига фаз  $\varphi$  /по величине и знаку/ между напряжением  $U$  и током  $I$ ; активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности цепи.

Построить в масштабе векторную диаграмму токов. После построения диаграммы измерить вектор суммарного тока и убедиться в том, что с учетом масштаба его величина равна току, потребляемому цепью.

Данные для своего варианта взять из таблицы 15.

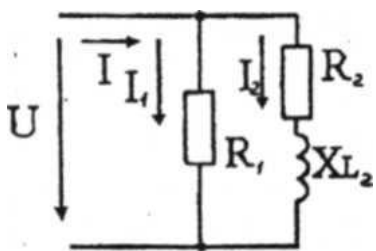


Рисунок 32 – Электрическая схема

Таблица 15 - Исходные данные к задаче 3.2

Известная величина	Номер варианта.									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U, В	336	105	252	315	168	189	126	210	315	84
R <sub>1</sub> , Ом	30	150	12	225	30	45	9	60	45	30
R <sub>2</sub> , Ом	8,4	42	3,36	63	8,4	12,6	2,52	16,8	12,6	8,4
X <sub>L2</sub> , Ом	11,2	56	4,48	84	11,2	16,8	3,36	22,4	16,8	11,2

### Задача 3.3

На рис.33 приведена схема электрической цепи переменного синусоидального тока с параллельным соединением двух ветвей. В первой ветви включен конденсатор, его емкостное сопротивление X<sub>C1</sub>. Во второй параллельной ветви включена катушка, обладающая активным R<sub>2</sub>, и индуктивным X<sub>L2</sub> сопротивлениями.

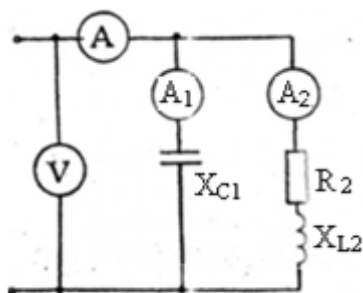


Рисунок 33 – Электрическая схема

Напряжение, подведенное к зажимам цепи U.

Определить показания амперметров, угол сдвига фаз φ (по величине и знаку) между напряжением U и током I, измеряемым амперметром, который установлен в неразветвленную часть цепи, активную P, реактивную Q и полную S мощность цепи.

Построить в масштабе векторную диаграмму токов. После построения диаграммы измерить вектор суммарного тока и убедиться в том, что с учетом масштаба его величина равна показанию амперметра, включенного в неразветвленную часть цепи.

Данные для своего варианта взять из таблицы 16.

Таблица 16 - Исходные данные к задаче 3.3

Известная величина	Номер варианта.									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U, В	20	30	50	90	60	20	30	50	90	60
R <sub>1</sub> , Ом	6	12	15	24	24	6	12	15	24	24
X <sub>L1</sub> , Ом	8	9	20	18	32	8	9	20	18	32
X <sub>C2</sub> , Ом	6.25	50	25	60	40	25	15	50	45	60

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 4 по теме: **Расчет схем соединения осветительной нагрузки при включении их в трехфазную сеть**

Эти задачи относятся к теме «Электрические цепи трехфазного переменного тока». Данная работа дает возможность проверить знания:

- сущность физических процессов, протекающих в электрических цепях трехфазного переменного тока;
  - методику построения электрических цепей, порядок расчета их параметров;
- умения:
- рассчитывать основные параметры электрических цепей.

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

В трехфазных цепях потребители соединяют по схеме "звезда" или "треугольник".

При соединении приемников энергии "звездой" линейные напряжения обозначаются  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ , а в общем виде –  $U_L$ ; фазные напряжения обозначаются  $U_A, U_B, U_C$ , а в общем виде –  $U_\phi$

Токи обозначаются -  $I_A, I_B, I_C$ , причем ток линейный равен току фазному, поэтому в общем виде  $I_L = I_\phi$

При наличии нулевого провода при любой нагрузке, а при равномерной нагрузке и без нулевого провода  $U_L = \sqrt{3}U_\phi$  (линейное напряжение больше фазного в  $\sqrt{3}$  раз). При равномерной нагрузке фаз активная мощность всей цепи  $P = \sqrt{3}U_L I_L \cos\varphi_\phi$  или  $P = 3U_\phi I_\phi \cos\varphi_\phi$ . При неравномерной нагрузке мощность всей цепи  $P = P_{\phi 1} + P_{\phi 2} + P_{\phi 3}$ , где  $P_\phi = U_\phi I_\phi \cos\varphi_\phi$ .

При соединении потребителей треугольником фазное напряжение равно линейному:  $U_\phi = U_L$ , обозначаются напряжения  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$

Фазные токи обозначаются  $I_A, I_B, I_C$ , в общем виде -  $I_\phi$ . Линейные токи обозначаются  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$ , в общем виде -  $I_L$ . При равномерной нагрузке фаз  $I_L = \sqrt{3}I_\phi$ .

При неравномерной нагрузке фаз линейные токи определяются на основании первого закона Кирхгофа из векторной диаграммы, как геометрическая разность фазных токов.

При соединении приемников энергии "звездой" сеть может быть четырехпроводной - при наличии нулевого провода, или трехпроводной - без нулевого провода

При соединении приемников энергии "треугольником" сеть может быть только трехпроводной.

Четырехпроводная трехфазная цепь позволяет присоединить:

- а) трехфазные приемники к трем линейным проводам;
- б) однофазные приемники между каждым линейным проводом и нейтральным.

### Пример 4

В четырехпроводную сеть трехфазного тока (рис. 34) с линейным напряжением  $U_L = 380\text{В}$ , включены по схеме "звезда" три группы ламп накаливания одинаковой мощности. В каждой фазе (группе) лампы соединены параллельно. В среднем сопротивление одной лампы составляет  $R_{\text{лампы}} = 484\text{ Ом}$ . Число ламп в каждой фазе (группе)  $n_A=88$  шт,  $n_B=33$  шт,  $n_C=55$  шт. Определить ток  $I_{\text{лампы}}$ ; напряжение  $U_{\text{лампы}}$ ; мощность  $P_{\text{лампы}}$ , на которые рассчитана лампа; токи  $I_A; I_B; I_C$  протекающие в фазных и линейных проводах; мощности  $P_A, P_B, P_C$ , потребляемые каждой фазой и всей цепью. Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов и из нее графически определить величину тока в нулевом проводе  $I_0$ .

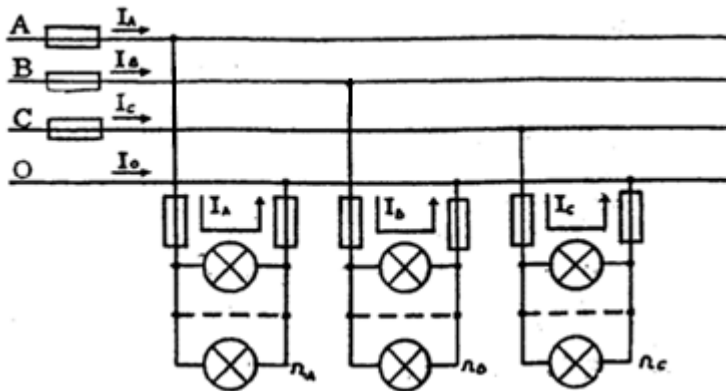


Рисунок 34 – Электрическая схема

Решение

1. По условию задачи  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 380$  В. При соединении "звездой" фазные напряжения равно  $U_{\phi} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220$  В

2. Все лампы цепи включены на фазное напряжение, поэтому

$$U_{\text{лампы}} = U_{\phi} = 220 \text{ В.}$$

3. Ток лампы  $I_{\text{лампы}} = \frac{U_{\text{лампы}}}{R_{\text{лампы}}} = \frac{220}{484} = 0,455$  А

4. Мощность лампы  $P_{\text{лампы}} = U_{\text{лампы}} \cdot I_{\text{лампы}} = 220 \times 0,455 = 100$  Вт

Мощность лампы можно также найти по формулам  $P_{\text{лампы}} = \frac{U_{\text{лампы}}^2}{R_{\text{лампы}}}$  или  $P_{\text{лампы}} = I_{\text{лампы}}^2 \cdot R_{\text{лампы}}$

5. Мощности, потребляемые каждой фазой.

$$P_A = n_A \cdot P_{\text{лампы}} = 88 \cdot 100 = 8800 \text{ Вт}$$

$$P_B = n_B \cdot P_{\text{лампы}} = 33 \cdot 100 = 3300 \text{ Вт}$$

$$P_C = n_C \cdot P_{\text{лампы}} = 55 \cdot 100 = 5500 \text{ Вт}$$

Другие способы определения мощностей  $P_{\phi} = \frac{U_{\phi}^2}{R_{\phi}}$ ;  $P_{\phi} = I_{\phi}^2 \cdot R_{\phi}$ ;  $P_{\phi} = U_{\phi} \cdot I_{\phi}$

6. Фазные токи

$$I_A = I_{\text{лампы}} \cdot n_A = 0,455 \cdot 88 = 40 \text{ А}$$

$$I_B = I_{\text{лампы}} \cdot n_B = 0,455 \cdot 33 = 15 \text{ А}$$

$$I_C = I_{\text{лампы}} \cdot n_C = 0,455 \cdot 55 = 25 \text{ А}$$

7. Мощность, потребляемая цепью,

$$P = P_A + P_B + P_C = 8800 + 3300 + 5500 = 17600 \text{ Вт.}$$

8. Векторная диаграмма напряжений и токов (рис. 35).

Порядок построения

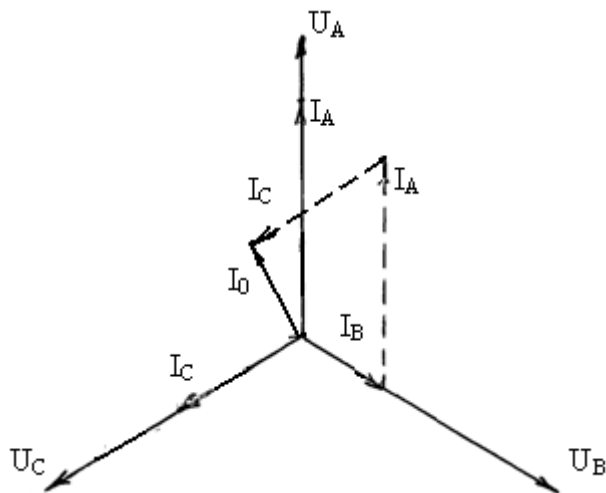
Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для напряжения и тока. Пусть  $M_I = 10 \text{ А/см}$ ,  $M_U = 44 \text{ В/см}$

Из точки 0 проводим три вектора фазных напряжений  $U_{AB}$ ;  $U_{BC}$ ;  $U_{CA}$ , углы между которыми составляют  $120^\circ$

В выбранном масштабе их длина будет  $\ell_{U_{\phi}} = \frac{U_{\phi}}{M_U} = \frac{380}{44} = 5 \text{ см}$

Нагрузка фаз активная (электрические лампы накаливания обладают активным сопротивлением), поэтому токи  $I_A$ ;  $I_B$ ;  $I_C$  будут совпадать по фазе с соответствующими фазными напряжениями. В выбранном масштабе их длина будет:





$$\ell_{I_A} = \frac{I_A}{M_I} = \frac{40}{10} = 4 \text{ см}; \quad \ell_{I_B} = \frac{I_B}{M_I} = \frac{15}{10} = 1.5 \text{ см};$$

$$\ell_{I_C} = \frac{I_C}{M_I} = \frac{25}{10} = 2.5 \text{ см}$$

Рисунок 35 – Векторная диаграмма

Геометрически складываем токи  $\overline{I_A}, \overline{I_B}, \overline{I_C}$  и получаем ток в нулевом проводе:

$\overline{I_0} = \overline{I_A} + \overline{I_B} + \overline{I_C}$  На диаграмме к концу вектора  $\overline{I_B}$  путем параллельного переноса пристроен вектор  $\overline{I_A}$ , к концу вектора  $\overline{I_A}$ , пристроен путем параллельного переноса вектор  $\overline{I_C}$ . Точка 0 соединена с концом вектора  $\overline{I_C}$  - это и есть ток в нулевом проводе  $\overline{I_0}$ . Величина токов в нулевом проводе  $I_0 = \ell_{I_0} \cdot M_I = 1.8 \cdot 10 = 18 \text{ A}$

Т.е. ток в нулевом проводе определен графически.

### Пример 5

В трехпроводную сеть трехфазного тока (рис. 36) с линейным напряжением  $U_L = 220 \text{ В}$ , включены по схеме "треугольник" три группы ламп накаливания одинаковой мощности. В каждой фазе (группе) лампы соединены параллельно. В среднем сопротивление одной лампы составляет  $R_{\text{лампы}} = 242 \text{ Ом}$ . Число ламп в каждой фазе (группе)  $n_{AB} = 11$  шт,  $n_{BC} = 22$  шт,  $n_{CA} = 33$  шт. Определить ток  $I_{\text{лампы}}$ ; напряжение  $U_{\text{лампы}}$ ; мощность  $P_{\text{лампы}}$ , на которые рассчитана лампа; токи  $I_{AB}; I_{BC}; I_{CA}$  протекающие в фазных проводах; мощности  $P_{AB}, P_{BC}, P_{CA}$ , потребляемые каждой фазой и всей цепью. Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и токов и из нее графически определить величины линейных токов.

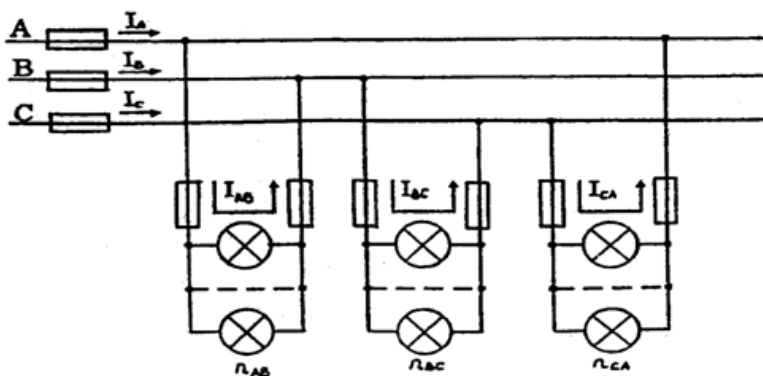


Рисунок 36 – Электрическая схема

Решение

1. По условию задачи  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 220 \text{ В}$ . При соединении "треугольником" линейное напряжение равно фазному, поэтому  $U_L = U_\phi$ .

2. Все лампы цепи включены на фазное напряжение, поэтому

$$U_L = U_\phi = 220 \text{ В}$$

$$3. \text{ Ток лампы } I_{\text{лампы}} = \frac{U_{\text{лампы}}}{R_{\text{лампы}}} = \frac{220}{242} = 0,909 \text{ А}$$

#### 4. Фазные токи

$$I_{AB} = I_{\text{лампы}} \cdot n_{AB} = 0,909 \cdot 11 = 10 \text{ А}$$

$$I_{BC} = I_{\text{лампы}} \cdot n_{BC} = 0,909 \cdot 22 = 20 \text{ А}$$

$$I_{AC} = I_{\text{лампы}} \cdot n_{AC} = 0,909 \cdot 33 = 30 \text{ А}$$

#### 5. Мощность лампы

$$P_{\text{лампы}} = I_{\text{лампы}} \cdot U_{\phi} = 0,909 \cdot 220 = 200 \text{ Вт}$$

#### 6. Мощности, потребляемые фазами (они активные).

$$P_{AB} = P_{\text{лампы}} \cdot n_{AB} = 200 \cdot 11 = 2200 \text{ Вт}$$

$$P_{BC} = P_{\text{лампы}} \cdot n_{BC} = 200 \cdot 22 = 4400 \text{ Вт}$$

$$P_{AC} = P_{\text{лампы}} \cdot n_{AC} = 200 \cdot 33 = 6600 \text{ Вт}$$

#### 7. Мощность, потребляемая цепью,

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = 2200 + 4400 + 6600 = 13200 \text{ Вт.}$$

#### 9. Векторная диаграмма напряжений и токов (рис. 37).

##### Порядок построения

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для напряжения и тока. Пусть  $M_I = 10 \text{ А/см}$ ,  $M_U = 44 \text{ В/см}$

Из точки 0 проводим три вектора фазных напряжений  $U_{AB}$ ;  $U_{BC}$ ;  $U_{CA}$ , углы между которыми составляют  $120^\circ$

В выбранном масштабе их длина будет  $l_{U_{\phi}} = \frac{U_{\phi}}{M_U} = \frac{220}{44} = 5 \text{ см}$

Нагрузка фаз активная (электрические лампы накаливания обладают активным сопротивлением), поэтому токи  $I_{AB}$ ;  $I_{BC}$ ;  $I_{AC}$  будут совпадать по фазе с соответствующими фазными напряжениями. В выбранном масштабе их длина будет:

$$l_{I_{AB}} = \frac{I_{AB}}{M_I} = \frac{10}{10} = 1 \text{ см}; \quad l_{I_{BC}} = \frac{I_{BC}}{M_I} = \frac{20}{10} = 2 \text{ см}; \quad l_{I_{AC}} = \frac{I_{AC}}{M_I} = \frac{30}{10} = 3 \text{ см}$$

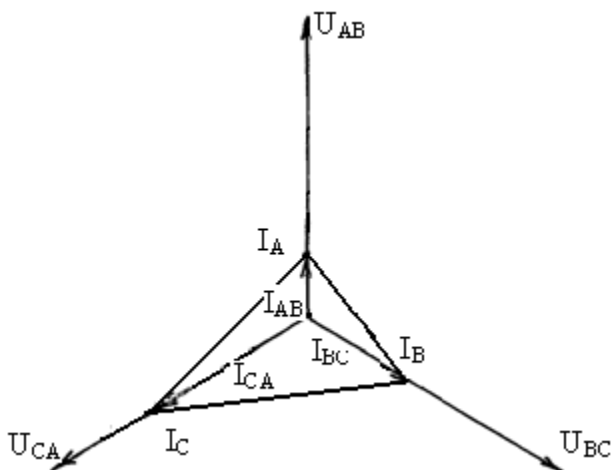


Рисунок 37 – Векторная диаграмма

Соединив концы векторов фазных токов, получим треугольник линейных токов  $I_A$ ;  $I_B$ ;  $I_C$ , направление этих векторов совпадает с обходом по часовой стрелке. Измерив длину линейных токов и учитывая масштаб, определяем их значение

$$I_A = M_I \cdot l_{I_A} = 10 \cdot 3,6 = 36 \text{ А}$$

$$I_B = M_I \cdot l_{I_B} = 10 \cdot 2,6 = 26 \text{ А}$$

$$I_C = M_I \cdot l_{I_C} = 10 \cdot 4,4 = 44 \text{ А}$$

## ЗАДАНИЯ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 4

Внеаудиторная работа составлена в 30 вариантах и ее выполнение обучающимися рассчитано на 2 учебных часа.

Таблица 17 - Критерии оценивания внеаудиторной работы № 4

Оцениваемый параметр	Максимальный балл
Вычертил схему для решения задачи с применением чертежных инструментов и указал на ней направление токов	2
Записал условие задачи с указанием единиц измерения физических величин	2
Указана цель каждого этапа решения задания	4
Рассчитал 8 неизвестных параметров заданной электрической схемы	16
Рассчитал длины векторов в указанных масштабах	6
Построил векторную диаграмму	9
Сделал вывод по работе	1
<b>ИТОГО:</b>	<b>40</b>

Оценка результатов выполнения задания производится в соответствии с универсальной шкалой:

Процент результативности (правильных ответов)	Кол-во баллов	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
		балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	36 - 40	5	отлично
80 ÷ 89,9	32 - 35	4	хорошо
70 ÷ 79,9	28 - 31	3	удовлетворительно
менее 70	менее 28	2	не удовлетворительно

**Задача 4.1** В четырехпроводную сеть трехфазного тока (рис. 34) включены по схеме "звезда" три группы ламп накаливания одинаковой мощности. В каждой фазе (группе) лампы соединены параллельно.

Известны:

- $U_{л}$  ( $U_{AB}$ ;  $U_{BC}$ ;  $U_{CA}$ ) - линейные напряжения;
- $P_{лампы}$  - мощность одной лампы;
- $n_A$ ;  $n_B$ ;  $n_C$  - число ламп в каждой фазе (группе).

Определить:

- $U_{\phi}$  ( $U_A$ ;  $U_B$ ;  $U_C$ ) - фазные напряжения;
- $P_A$ ,  $P_B$ ,  $P_C$  - мощности, потребляемые каждой фазой (группой ламп);
- $I_A$ ;  $I_B$ ;  $I_C$  - фазные (они же линейные) токи;
- $P$  - мощность, потребляемую цепью (всеми лампами).

Построить в заданных масштабах  $M_I$  и  $M_U$  векторную диаграмму напряжений и токов и из нее графически определить величину тока в нулевом проводе  $I_0$ .

Данные для своего варианта взять из таблицы 18

Таблица 18 - Исходные данные к задаче 4.1

Известная величина	Вариант								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	380	220	380	220	380	220	380	220	380
$U_L, В$	40	100	500	60	200	25	100	40	75
$n_A, \text{шт.}$	44	42	11	17	66	36	22	54	50
$n_B, \text{шт.}$	44	42	22	51	22	142	66	108	12
$n_C, \text{шт.}$	88	14	33	51	44	36	88	54	12
$M_I, А/см$	4	11	25	8	20	7	10	8,5	4
$M_U, В/см$	44	25,4	55	25,4	55	25,4	44	25,4	44

Указание: при определении фазных токов полученные расчетом значения округлите до целой величины

**Задача 4.2** В трехпроводную сеть трехфазного тока (рисунок 36), включены по схеме "треугольник" три группы электрических ламп накаливания одинаковой мощности. В каждой фазе (группе) лампы соединены параллельно.

Известны:

- $U_L (U_{AB}; U_{BC}; U_{CA})$  - линейные напряжения;
- $I_{лампы}$  - ток одной лампы;
- $n_{AB}; n_{BC}; n_{CA}$  - число ламп в каждой фазе (группе);

Определить:

- $P_{лампы}$  - мощность одной лампы;
- $I_{AB}; I_{BC}; I_{CA}$  - фазные токи (токи, потребляемые каждой группой ламп).
- $P_{AB}; P_{BC}; P_{CA}$  - мощности, потребляемые каждой фазой (группой ламп).
- $P$  - мощность, потребляемую цепью (всеми лампами).

Построить в заданных масштабах  $M_I$  и  $M_U$  векторную диаграмму напряжений и токов и из нее графически определить величину токов  $I_A; I_B; I_C$  в линейных проводах.

Данные для своего варианта взять из таблицы 19

Таблица 19 - Исходные данные к задаче 4.2

Известная величина	Вариант								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$U_L, В$	127	220	127	220	127	220	127	220	127
$I_{лампы}, А$	0,472	0,909	0,591	0,455	0,118	0,341	0,315	0,1136	0,787
$n_{AB}, \text{шт.}$	19	33	56	77	170	47	127	44	14
$n_{BC}, \text{шт.}$	74	66	22	33	85	12	108	176	14
$n_{CA}, \text{шт.}$	36	33	56	33	254	47	86	44	56
$M_U, В/см$	25,4	44	25,4	55	25,4	44	25,4	44	25,4
$M_I, А/см$	10	15	10	10	10	4	10	5	11

Указание: при определении мощности ламп и фазных токов полученные расчетом значения округлите до целой величины

**Задача 4.3** В четырехпроводную сеть трехфазного тока (рис. 34) включены по схеме "звезда" три группы ламп накаливания одинаковой мощности. В каждой фазе (группе) лампы соединены параллельно.

Известны:

- $U_L (U_{AB}; U_{BC}; U_{CA})$  - линейные напряжения;

- $P_{\text{лампы}}$  – мощность одной лампы;
- $P_A, P_B, P_C$  - мощности, потребляемые каждой фазой (группой ламп).

Определить:

- $U_{\phi}$  ( $U_A; U_B; U_C$ ) - фазные напряжения;
- $n_A; n_B; n_C$  - число ламп в каждой фазе (группе);
- $I_A; I_B; I_C$  - фазные (они же линейные) токи;
- $P$  - мощность, потребляемую цепью (всеми лампами).

Построить в заданных масштабах  $M_I$  и  $M_U$  векторную диаграмму напряжений и токов и из нее графически определить величину тока в нулевом проводе  $I_0$ .

Данные для своего варианта взять из таблицы 20

Таблица 20 - Исходные данные к задаче 4.3

Известная величина	Вариант					
	19	20	21	22	23	24
$U_{\text{л}}, \text{В}$	380	220	380	220	380	220
$P_A, \text{Вт}$	13200	1280	900	5600	15840	900
$P_B, \text{Вт}$	26400	3440	3750	2800	15840	3550
$P_C, \text{Вт}$	6600	5080	900	5600	3960	900
$P_{\text{лампы}}, \text{Вт}$	150	40	75	400	60	25
$M_U, \text{В/см}$	44	25,4	44	25,4	44	25,4
$M_I, \text{А/см}$	30	10	4	11	18	7

Указание: при определении фазных токов полученные расчетом значения округлите до целой величины

**Задача 4.4** В трехпроводную сеть трехфазного тока (рисунок 36), включены по схеме "треугольник" три группы электрических ламп накаливания одинаковой мощности. В каждой фазе (группе) лампы соединены параллельно.

Известны:

- $U_{\text{л}}$  ( $U_{AB}; U_{BC}; U_{CA}$ ) - линейные напряжения;
- $P_{\text{лампы}}$  - ток одной лампы;
- $n_{AB}; n_{BC}; n_{CA}$  - число ламп в каждой фазе (группе);

Определить:

- $U_{\phi}$  – фазные напряжения
- $I_{AB}; I_{BC}; I_{CA}$  - фазные токи (токи, потребляемые каждой группой ламп).
- $P_{AB}, P_{BC}, P_{CA}$  - мощности, потребляемые каждой фазой (группой ламп).
- $P$  - мощность, потребляемую цепью (всеми лампами).

Построить в заданных масштабах  $M_I$  и  $M_U$  векторную диаграмму напряжений и токов и из нее графически определить величину токов  $I_A; I_B; I_C$  в линейных проводах.

Данные для своего варианта взять из таблицы 21

Таблица 21 - Исходные данные к задаче 4.4

Известная величина	Вариант					
	25	26	27	28	29	30
$U_{\text{л}}, \text{В}$	220	127	220	127	220	127
$P_{\text{лампы}}, \text{Вт}$	150	25	60	40	15	100
$n_{AB}, \text{шт.}$	44	71	55	54	88	28
$n_{BC}, \text{шт.}$	44	142	55	108	132	42
$n_{CA}, \text{шт.}$	66	36	220	54	176	28
$M_U, \text{В/см}$	44	25,4	44	25,4	44	25,4
$M_I, \text{А/см}$	10	7	15	8,5	3	11

Указание: при определении фазных токов полученные расчетом значения округлите до целой величины

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 5 по теме: **Расчет трехфазной цепи переменного тока**

Эти задачи относятся к теме «Электрические цепи трехфазного переменного тока».

Данная работа дает возможность проверить

знания:

- сущность физических процессов, протекающих в электрических цепях трехфазного переменного тока;

- методику построения электрических цепей, порядок расчета их параметров;

умения:

- рассчитывать основные параметры электрических цепей.

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

В трехфазных цепях потребители соединяют по схеме "звезда" или "треугольник".

При соединении приемников энергии "звездой" линейные напряжения обозначаются  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$ , а в общем виде –  $U_L$ ; фазные напряжения обозначаются  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ , а в общем виде –  $U_\phi$

Токи обозначаются -  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ , причем ток линейный равен току фазному, поэтому в общем виде  $I_L = I_\phi$

При наличии нулевого провода при любой нагрузке, а при равномерной нагрузке и без нулевого провода  $U_L = \sqrt{3}U_\phi$  (линейное напряжение больше фазного в  $\sqrt{3}$  раз). При равномерной нагрузке фаз активная мощность всей цепи  $P = \sqrt{3}U_L I_L \cos\varphi_\phi$  или  $P = 3U_\phi I_\phi \cos\varphi_\phi$  При неравномерной нагрузке мощность всей цепи  $P = P_{\phi 1} + P_{\phi 2} + P_{\phi 3}$ , где  $P_\phi = U_\phi I_\phi \cos\varphi_\phi$ .

При соединении потребителей треугольником фазное напряжение равно линейному:  $U_\phi = U_L$ , обозначаются напряжения  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$

Фазные токи обозначаются  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ , в общем виде -  $I_\phi$ . Линейные токи обозначаются  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$ , в общем виде -  $I_L$ . При равномерной нагрузке фаз  $I_L = \sqrt{3}I_\phi$ .

При неравномерной нагрузке фаз линейные токи определяются на основании первого закона Кирхгофа из векторной диаграммы, как геометрическая разность фазных токов.

При соединении приемников энергии "звездой" сеть может быть четырехпроводной - при наличии нулевого провода, или трехпроводной - без нулевого провода

При соединении приемников энергии "треугольником" сеть может быть только трехпроводной.

Четырехпроводная трехфазная цепь позволяет присоединить:

а) трехфазные приемники к трем линейным проводам;

б) однофазные приемники между каждым линейным проводом и нейтральным.

### Пример 6

На рисунке 38 показана трехфазная сеть, питающая две нагрузки, одна из которых соединена звездой, другая - треугольником. Система линейных напряжений симметрична  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_L = 380$  В.

Приемник энергии, соединенный звездой, имеет мощности фаз  $P_A = 2200$  Вт;  $P_B = 3300$  Вт;  $P_C = 4400$  Вт; коэффициент мощности  $\cos \varphi = 1$  ( $\varphi = 0^\circ$ ).

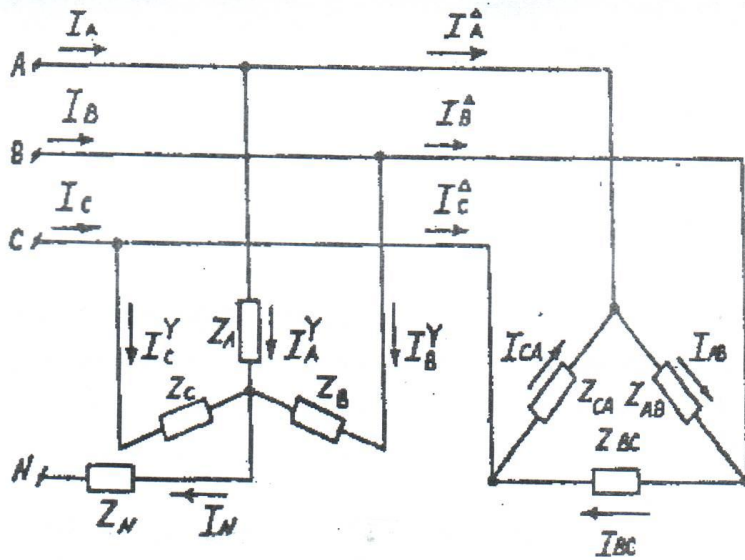


Рисунок 38 - Трехфазная цепь

Приемник энергии, соединенный треугольником, - симметричный, мощности фаз  $P_{AB} = P_{BC} = P_{CA} = 4260$  Вт;  $\cos \varphi^{\Delta} = 0.866$  ( $\varphi^{\Delta} = 30^{\circ}$ ); характер нагрузки - активно - индуктивный.

Определить фазные и линейные токи нагрузок, токи в проводах линии, питающей обе нагрузки, и ток в нейтральном проводе.

Решение

Фазные напряжения нагрузки, соединенной звездой, благодаря нейтральному проводу равны:

$$U_A = U_B = U_C = \frac{U_{\pi}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1.73} = 220 \text{ В.}$$

Фазные (линейные) токи нагрузки, соединенные звездой,

$$I_A^Y = \frac{P_A}{U_A \cos \varphi_A} = \frac{2200}{220 \cdot 1} = 10 \text{ А}$$

$$I_B^Y = \frac{P_B}{U_B \cos \varphi_B} = \frac{3300}{220 \cdot 1} = 15 \text{ А}$$

$$I_C^Y = \frac{P_C}{U_C \cos \varphi_C} = \frac{4400}{220 \cdot 1} = 20 \text{ А}$$

Согласно первому закону Кирхгофа для нейтральной точки N имеем:

$$\vec{I}_N = \vec{I}_A^Y + \vec{I}_B^Y + \vec{I}_C^Y$$

Следовательно, построив симметричную трехлучевую звезду фазных напряжений и отложив вдоль этих напряжений соответствующие фазные токи (так как  $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi^Y = 0^{\circ}$ , поскольку  $\cos^Y = 1$ ), можно, геометрически сложив эти токи, определить вектор тока  $\vec{I}_N$  в нейтральном проводе (см. рисунок 39).

Зададимся масштабами  $m_u$  и  $m_i$ .

Производим указанное построение и графическим путем определяем

$$I_N = l_{I_N} \cdot m_i$$

Согласно условию задачи трехфазный приемник, соединенный треугольником, - активно-индуктивный и, следовательно, фазные токи

$\vec{I}_{AB}, \vec{I}_{BC}, \vec{I}_{CA}$ , отстают по фазе относительно вызывающих их напряжений

$\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}, \vec{U}_{CA}$ , соответственно на угол  $\varphi^\Delta = \arccos 0,866 = 30^\circ$ . По величине эти фазные точки равны. Соблюдая условия сдвига, длины векторов и выбранный масштаб токов  $m_I$ , производим построение векторов фазных токов

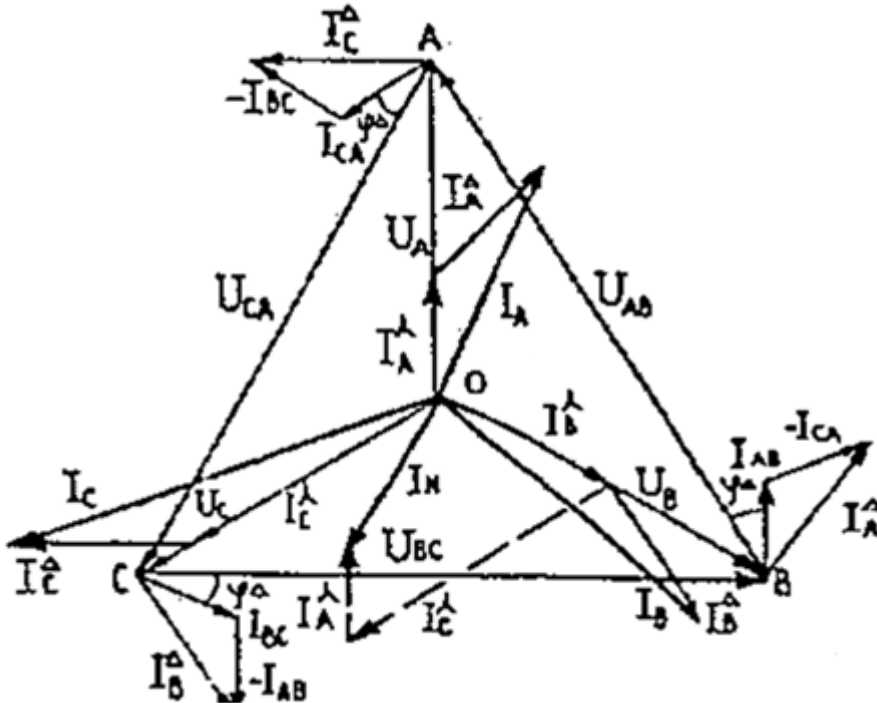


Рисунок 39 - Векторная диаграмма

На основании первого закона Кирхгофа, примененного в узловых точках-вершинах треугольника, имеем:

$$\vec{I}_A^\Delta = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}; \quad \vec{I}_B^\Delta = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}; \quad \vec{I}_C^\Delta = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}$$

На основании этих равенств строим векторы линейных токов нагрузки, соединенной треугольником.

При симметричной нагрузке в фазах треугольника линейный ток больше фазного в  $\sqrt{3}$  раз и отстает на  $30^\circ$  по фазе от первого из двух составляющих фазных токов

$$I_\pi^\Delta = I_A^\Delta = I_B^\Delta = I_C^\Delta = \sqrt{3} \cdot I_\phi^\Delta = 1,73 \cdot 13 = 22,5 \text{ A.}$$

Проверка с помощью векторной диаграммы, например,  $I_A^\Delta = I_{I_A} \cdot m_i$  и т.д.

Суммарные токи в проводах линии, питающей обе нагрузки, определяют графическим путем на основании первого закона Кирхгофа

$$\begin{aligned} \vec{I}_A &= \vec{I}_A^Y + \vec{I}_A^\Delta & I_A &= l_{I_A} \cdot m_i \\ \vec{I}_B &= \vec{I}_B^Y + \vec{I}_B^\Delta & I_B &= l_{I_B} \cdot m_i \\ \vec{I}_C &= \vec{I}_C^Y + \vec{I}_C^\Delta & I_C &= l_{I_C} \cdot m_i \end{aligned}$$

где  $l$  -длина вектора тока, получена из векторной диаграммы непосредственным измерением. Отсюда видно, что ток в нейтрально проводе непосредственно не фигурирует в выражениях суммарных линейных токов



## ЗАДАНИЯ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 5

Внеаудиторная работа составлена в 30 вариантах и ее выполнение обучающимися рассчитано на 2 учебных часа.

Таблица 22 - Критерии оценивания внеаудиторной работы № 5

Оцениваемый параметр	Максимальный балл
Вычертил схему для решения задачи с применением чертежных инструментов и указал на ней направление токов	2
Записал краткое условие задачи с указанием единиц измерения физических величин	2
Указана цель каждого этапа решения задания	5
Рассчитал 12 неизвестных параметров заданной электрической схемы: - фазные и линейные токи нагрузки, соединенной «звездой» (6); - фазные токи нагрузки, соединенной «треугольником» (3); - активную и реактивную мощности каждой из нагрузок и всей установки (6).	30
Определил масштаб токов и напряжения и рассчитал длины соответствующих векторов: - фазные и линейные напряжения (2); - фазные и линейные токи нагрузки, соединенной «звездой» (3); - фазные токи нагрузки, соединенной «треугольником» (3).	8
Построил векторную диаграмму: - построил векторы фазных и линейных напряжений (6); - отложил векторы фазных токов обеих нагрузок (6); - построил вектор тока в нулевом проводе (4); - построил векторы линейных токов нагрузки, соединенной «треугольником» (6); - построил векторы токов в проводах линии, питающей обе нагрузки (3)	25
Определил: - линейные токи нагрузки, соединенной «треугольником» (3); - токи в проводах линии, питающей обе нагрузки (3); - ток в нейтральном проводе (1)	7
Сделал вывод по работе	1
<b>ИТОГО:</b>	<b>70</b>

Оценка результатов выполнения задания производится в соответствии с универсальной шкалой:

Процент результативности (правильных ответов)	Кол-во баллов	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
		балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	63 - 70	5	отлично
80 ÷ 89,9	56 - 62	4	хорошо
70 ÷ 79,9	49 - 55	3	удовлетворительно
менее 70	менее 49	2	не удовлетворительно

### Задача 5.1

На рисунке 36 показана трехфазная сеть, питающая две нагрузки, одна из которых соединена звездой, а другая – треугольником. Система линейных напряжений симметрична  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_L$

Определить:

- фазные и линейные токи обеих нагрузок;
- токи в проводах линии, питающей обе нагрузки;
- ток в нейтральном проводе;
- активную и реактивную мощности каждой из нагрузок и всей установки.

В масштабе построить векторную диаграмму токов и напряжений.

### Задачу решить графическим методом.

Все необходимые данные приведены в таблице 23.

#### Указания:

- Нагрузка, коэффициент мощности которой  $\cos \varphi$  не равен единице, имеет активно-индуктивный характер.

Таблица 23 - Исходные данные к задаче 5.1

Варианты	U В	Приемник энергии, соединенный «звездой»					Приемник энергии, соединенный «треугольником»			
		Z <sub>N</sub> Ом	мощности фаз в Вт и коэффициент мощности				мощности фаз в Вт и коэффициент мощности			
			P <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>	P <sub>C</sub>	cos φ <sup>y</sup>	P <sub>AB</sub>	P <sub>BC</sub>	P <sub>CA</sub>	cos φ <sup>Δ</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	380	0	4400	3300	3300	1,000	3800	3800	3800	0,500
2	380	∞	4200	4200	4200	0,707	3000	4000	4500	1,000
3	660	∞	7600	7600	7600	0,800	5700	6000	7200	1,000
4	220	0	4400	3800	5700	1,000	4000	4000	4000	0,600
5	380	∞	2200	2200	2200	1,000	5200	3800	7200	0,800
6	380	∞	6600	6600	6600	0,600	7000	6500	6000	1,000
7	660	∞	7000	7000	7000	0,707	5700	7600	5700	1,000
8	220	0	2200	3300	1100	1,000	3800	3800	3800	0,707
9	220	0	3300	2200	6600	0,600	3300	3300	3300	1,000
10	660	∞	3800	3800	3800	0,500	6600	3300	6600	1,000
11	380	0	4400	4200	3300	0,600	6000	6000	6000	1,000
12	380	0	6600	5700	4400	1,000	5200	5200	5200	0,800
13	660	0	3800	6600	1100	0,500	7000	7000	7000	1,000
14	220	∞	3800	3800	3800	0,707	4200	1100	3300	1,000
15	380	0	4200	1100	3300	1,000	5200	5200	5200	0,600
16	380	∞	7600	7600	7600	1,000	3300	2200	6600	0,500
17	380	0	4400	3300	2200	1,000	4800	4800	4800	0,866
18	660	∞	6600	6600	6600	1,000	7600	2600	3300	0,707
19	380	0	7600	2600	3300	0,707	2600	2600	2600	1,000
20	660	∞	7000	7000	7000	1,000	3300	4200	2200	0,600
21	380	0	3300	4200	2200	0,500	4200	4200	4200	1,000
22	380	0	1300	2200	4400	1,000	5700	5700	5700	0,600
23	380	∞	1300	1300	1300	0,800	7000	4200	2700	1,000

Продолжение таблицы 23

24	660	0	7000	4200	2700	1,000	2700	2700	2700	0,500
25	220	∞	2600	2600	2600	0,600	1300	2200	4400	1,000
26	380	∞	3300	2600	1300	1,000	5700	5700	5700	0,500
27	220	0	3300	2600	1300	0,707	1300	1300	1300	1,000
28	660	∞	4400	4400	4400	1,000	4400	1100	6600	0,800
29	380	0	4200	1100	6600	0,800	4200	4200	4200	1,000
30	660	∞	3300	3300	3300	0,600	3800	6600	1100	1,000

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 6  
по теме: **Определение основных параметров машины постоянного тока**

Эта задача относится к теме "ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА". Для их решения надо усвоить не только устройство и принцип действия электрических машин постоянного тока, но и знать формулы, выражающие взаимосвязь между электрическими величинами, характеризующими данный тип электрической машины.

Данная работа дает возможность проверить знания:

- конструкции электрических машин, их параметров и характеристик.
- условия эксплуатации и критерии выбора электрических машин.

умения:

- определять расчетным путем основные параметры электрических машин.

**КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ**

Эти задачи относятся к теме "Электрические машины постоянного тока".

Необходимо отчетливо представлять связь между напряжением  $U$  на зажимах машины, ЭДС  $E$  и падение напряжение  $I_{я} \cdot \sum R$ , в обмотке якоря генератора и двигателя.

Для генератора  $E = U + I_{я} \cdot \sum R$ ,

Для двигателя  $U = E + I_{я} \cdot \sum R$

В этих формулах  $\sum R = R_{я} + R_{ДП} + R_{ко} + R_c + R_{щ}$  - сумма сопротивлений всех участков цепи якоря: обмотки якоря  $R_{я}$ , обмотки добавочных полюсов  $R_{ДП}$ , компенсационной обмотки  $R_{ко}$ , последовательной обмотки возбуждения  $R_c$  и переходного щеточного контакта  $R_{щ}$ .

При отсутствии в машине (это зависит от её типа и предложенной задачи) каких-либо из указанных обмоток в формулу, определяющую  $\sum R$  не входят соответствующие слагаемые.

Полезный вращающий момент на валу двигателя определяются по формуле

$$M = \frac{60 \cdot P_{2ном}}{2\pi \cdot n_{ном}}, Н \cdot м$$

где  $P_2, Вт$  - полезная механическая мощность,  
 $n, об/мин$  - частота вращения вала двигателя.

**Пример 7**

Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением, работает в режиме номинальной нагрузки. Его технические данные:  $P_{ном} = 16000 Вт$  - номинальная мощность;  $U_{ном} = 230 В$  - номинальное напряжение;  $R_{я} = 0,13 Ом$  - сопротивление якоря;  $R_c = 164 Ом$  - сопротивление возбуждения;  $\eta = 90,1\%$  - номинальный коэффициент полезного действия.

Определить:

$I_{ном}$  - номинальный ток нагрузки;

$I_в$  - ток возбуждения

$I_я$  - ток якоря генератора;

$P_я$  - потери мощности в якоре;

$P_в$  - потери мощности в обмотке возбуждения;

$P_{щ}$  - потери мощности в щеточном контакте, приняв  $\Delta U_{щ} = 2В$  - падение напряжения на электрографитированных щетках;

$P_{доб}$  - добавочные потери мощности;

$P_x$  - потери холостого хода.

Решение

1. Ток нагрузки  $I_{ном} = \frac{P_{ном}}{U_{ном}} = \frac{16000}{230} = 69.6A$

2. Ток возбуждения  $I_в = \frac{U_{ном}}{R_в} = \frac{230}{164} = 1.4A$

3. Ток якоря  $I_я = I_{ном} + I_в = 69,6 + 1,4 = 71A$ .

4. Потери мощности в обмотке якоря  $P_я = I_я^2 \cdot R_я = 71^2 \cdot 0,13 = 655 Вm$

5. Потери мощности в обмотке возбуждения  $P_в = I_в^2 \cdot R_в = 1.4^2 \cdot 164 = 321 Вm$

6. Потери мощности в щеточном контакте  $P_{щ} = \Delta U_{щ} \cdot I_я = 2 \cdot 71 = 142 Вm$ .

7. Добавочные потери мощности  $P_{доб} = 0,01 \cdot P_{ном} = 0,01 \cdot 16000 = 160 Вm$ .

8. Мощность, потребляемая генератором от первичного двигателя

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{\eta_{ном}} = \frac{16000}{0,901} = 17758 Вm$$

9. Суммарные потери мощности в генераторе

$$\sum P = P_1 - P_{ном} = 17758 - 16000 = 1758 Вm.$$

10. Потери холостого хода

$$P_x = \sum P - (P_я + P_в + P_{щ} + P_{доб}) = 1758 - (655 + 321 + 142 + 160) = 480 Вm$$

## Пример 8

Двигатель постоянного тока со смешанным возбуждением, работает в номинальном режиме. Двигатель рассчитан на номинальную мощность на валу  $P_{2ном} = 2000 Вm$ . Номинальное напряжение, подведенное к двигателю  $U_{ном} = 27 В$ . Частота вращения якоря  $n_{ном} = 8000 об/мин$ . Двигатель потребляет из сети ток  $I_{ном} = 100 А$ . Сопротивление обмотки якоря, добавочных полюсов и последовательной обмотки возбуждения  $\sum R = R_я + R_{оп} + R_c = 0,01433 Ом$ . Сопротивление параллельной обмотки возбуждения  $R_{ш} = 6,75 Ом$

Определить:

$P_1$  - потребляемую из сети мощность;

$\eta_{ном}$  - номинальный коэффициент полезного действия двигателя;

$M$  - полезный вращающий момент;

$I_я$  - ток якоря;

$E$  - противо-ЭДС в обмотке якоря;

$\sum P$  - суммарные потери мощности в двигателе;

$P_э$  - электрические потери мощности;

$P_{доб}$  - добавочные потери мощности;  
 $P_x$  - потери холостого хода

Решение

1. Мощность, потребляемая двигателем из сети:  $P_1 = U_{ном} \cdot I_{ном} = 27 \cdot 100 = 2700 \text{ Вт}$

2. Номинальный коэффициент полезного действия двигателя:

$$\eta_{ном} = \frac{P_{2ном}}{P_1} = \frac{2000}{2700} = 0,74 \text{ Вт}$$

3. Полезный вращающий момент на валу двигателя

$$M = \frac{60 \cdot P_{2ном}}{2\pi \cdot n_{ном}} = \frac{60 \cdot 2000}{2 \cdot 3,14 \cdot 8000} = 2,38 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

4. Ток параллельной обмотки возбуждения:  $I_{ш} = \frac{U_{ном}}{R_{ш}} = \frac{27}{6,75} = 4 \text{ А}$

5. Ток, протекающий через обмотку якоря, обмотку добавочных полюсов, последовательную обмотку возбуждения:  $I_{я} = I_{ном} - I_{ш} = 100 - 4 = 96 \text{ А}$

6. Противо-ЭДС в обмотке якоря

$$E = U_{ном} - I_{я}(R_n + R_{оп} + R_c) - \Delta U_{щ} = 27 - 96 \cdot 0,01443 - 2 = 23,61 \text{ В}$$

где  $\Delta U_{щ} = 2 \text{ В}$  - потери напряжения в переходном контакте щеток на коллекторе

7. Суммарные потери мощности в двигателе:  $\Sigma P = P_1 - P_{2ном} = 2700 - 2000 = 700 \text{ Вт}$

8. Электрические потери мощности в двигателе

$$P_{\Sigma} = P_{я} + P_{оп} + P_{щ} + P_{ш} + P_c = 158 + 42 + 6,88 + 16,42 + 96,8 = 320,1 \text{ Вт}$$

где:  $P_{я} = I_{я}^2 \cdot R_{я}$  - потери мощности в якоре,

$P_{оп} = I_{я}^2 \cdot R_{оп}$  - потери мощности в добавочных полюсах,

$P_c = I_{я}^2 \cdot R_c$  - потери мощности в последовательной обмотке возбуждения,

$P_{щ} = \Delta U_{щ} \cdot I_{я}$  - потери мощности в переходном контакте щеток на коллекторе;

$P_{ш} = U_{ном} \cdot I_{ш}$  - потери мощности в параллельной обмотке возбуждения.

$$P_{\Sigma} = I_{я}^2(R_{я} + R_{оп} + R_c) + \Delta U_{щ} \cdot I_{я} + U_{ном} \cdot I_{ш} = 96^2 \cdot 0,01443 + 2 \cdot 96 + 27 \cdot 4 = 433 \text{ Вт}$$

9. Добавочные потери мощности, возникающие в обмотке якоря

$$P_{доб} = 0,01 \cdot P_{2ном} = 0,01 \cdot 2000 = 20 \text{ Вт}$$

10. Потери холостого хода:  $P_x = \Sigma P - (P_{\Sigma} + P_{доб}) = 700 - (433 + 20) = 247 \text{ Вт}$

## ЗАДАНИЯ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 6

Внеаудиторная работа составлена в 30 вариантах и ее выполнение обучающимися рассчитано на 2 учебных часа.

Таблица 24 - Критерии оценивания внеаудиторной работы № 6

Оцениваемый параметр	Максимальный балл
Составил схему для решения задачи	2
Указал назначение каждого элемента схемы.	5
Записал условие задачи с указанием единиц измерения физических величин	2
Указана цель каждого этапа решения задания	8

Продолжение таблицы 24

Выполнил расчет согласно цели этапа	8
Сделан вывод по работе	1
<b>ИТОГО:</b>	<b>26</b>

Оценка результатов выполнения задания производится в соответствии с универсальной шкалой:

Процент результативности (правильных ответов)	Кол-во баллов	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
		балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	24 - 26	5	отлично
80 ÷ 89,9	21 - 23	4	хорошо
70 ÷ 79,9	18 - 20	3	удовлетворительно
менее 70	менее 18	2	не удовлетворительно

**Задание № 6.1 вариант 1-15**

Составить схему генератора постоянного тока с параллельным возбуждением, работающего в режиме номинальной нагрузки и указать назначение каждого элемента схемы. Известны:  $P_{нрм}$  - номинальная мощность;  $U_{ном}$  - номинальное напряжение;  $R_{я}$  - сопротивление якоря;  $I_{в}$  - ток возбуждения;  $P_{х}$  - потери холостого хода

Определить:

$I_{ном}$  - номинальный ток нагрузки;

$I_{я}$  - ток якоря генератора;

$P_{я}$  - потери мощности в якоре;

$P_{в}$  - потери мощности в обмотке возбуждения;

$P_{щ}$  - потери мощности в щеточном контакте, приняв  $\Delta U_{щ} = 2В$  падение напряжения на электрографитированных щетках;

$P_{доб}$  - добавочные потери мощности;

$\sum P$  - суммарные потери мощности;

$\eta_{ном}$  - коэффициент полезного действия.

Данные для своего варианта взять из таблицы 25

Таблица 25 - Исходные данные к заданию 6.1

Вариант	$P_{нрм}$ , кВт	$U_{ном}$ , В	$R_{я}$ , Ом	$I_{в}$ , А	$P_{х}$ , Вт
1	5,5	230	0,322	2,28	165
2	14,0	460	0,080	6,05	420
3	6,7	460	0,518	3,33	201
4	16,0	230	0,031	4,66	480
5	24,0	460	0,096	4,66	720
6	0,4	115	1,460	0,14	12
7	4,5	115	0,046	0,57	180
8	11,0	115	0,031	2,09	330
9	32,0	460	0,065	9,85	1280
10	75,0	460	0,031	14,47	3000
11	15,0	230	0,125	5,48	450

Продолжение таблицы 25

12	20,0	460	0,286	9,51	780
13	53,0	115	0,026	3,21	2200
14	36,0	230	0,026	2,41	1120
15	10,0	460	0,300	5,41	400

**Задание № 6.2 вариант 16 - 30**

Составить схему двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением, работающего в номинальном режиме и указать назначение каждого элемента схемы. Известны:  $P_{2ном}$  - номинальная мощность на валу двигателя;  $U_{ном}$  - номинальное напряжение, подведенное к двигателю;  $\eta_{ном}$  - номинальный коэффициент полезного действия;  $n_{ном}$  - частота вращения вала двигателя;  $R_{я}$  - сопротивление обмотки якоря;  $R_{дп}$  - сопротивление обмотки добавочных полюсов;  $R_c$  - сопротивление последовательной /серийной/ обмотки возбуждения;  $R_{щ}$  - сопротивление параллельной /шунтовой/ обмотки возбуждения.

Определить:

$M$  - вращающий момент на валу двигателя;

$P_{1ном}$  - мощность, потребляемую двигателем из сети;

$I_{ном}$  - ток, потребляемый двигателем из сети;

$I_{щ}$  - ток в параллельной обмотке возбуждения;

$I_{я}$  - ток в обмотке якоря ;

$\sum P$  — суммарные потери мощности в двигателе;

$P_{я}$  - электрические потери мощности в обмотке якоря;

$P_{дп}$  - электрические потери мощности в обмотке дополнительных полюсов;

$P_c$  - электрические потери мощности в последовательной обмотке возбуждения;

$P_{щ}$  - электрические потери мощности в параллельной обмотке возбуждения;

$P_{щ}$  - электрические потери мощности в переходном контакте щеток коллектора, приняв

$$\Delta U_{щ} = 2B;$$

$P_{доб}$  - добавочные потери мощности;

$P_x$  - потери холостого хода, состоящие из потерь в стали и механических потерь.

Данные для своего варианта взять из таблицы 26

Таблица 26 - Исходные данные к заданию 6.2

Вариант	$P_{2ном},$ кВт	$U_{ном},$ В	$\eta_{ном},\%$	$n_{ном}$ об/мин,	$R_{я},$ Ом	$R_{дп},$ Ом	$R_c,$ Ом	$R_{щ},$ Ом
16	3,00	220	75,5	1000	0,8687	0,6358	0,0561	138
17	1,90	110	71,0	750	0,3190	0,2647	0,0982	37,5
18	10,50	440	85,0	3000	0,5586	0,3372	0,0223	111,0
19	4,00	220	79,0	1500	0,5609	0,3353	0,0513	134,0
20	7,00	110	81,0	2200	0,0700	0,0500	0,0268	111,0
21	1,60	110	68,0	750	0,4687	0,3094	0,0952	35,0
22	1,40	110	78,5	3350	0,1960	0,1340	0,1030	111,0
23	5,30	220	80,0	3000	0,2355	0,1962	0,0387	96,3
24	3,40	110	76,0	2240	0,1030	0,1100	0,0452	33,5
25	2,50	220	76,0	2200	0,7819	0,6754	0,0810	156,0
26	2,20	220	81,0	3150	0,5145	0,5049	0,0826	295,0

## Продолжение таблицы 26

27	1,70	110	77,0	2200	0,2873	0,2349	0,0925	81,0
28	1,10	220	74,0	1500	2,1540	1,5700	0,1100	295,0
29	1,20	220	76,5	2200	0,7892	0,3127	0,1045	359,0
30	0,75	110	78,5	3000	0,6281	0,3856	0,1526	192,0

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 7 по теме: **Расчет мощности, выбор двигателя и станции управления к нему**

Эта задача относится к теме "ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА". Для их решения надо усвоить не только устройство и принцип действия электрических машин постоянного тока, но и знать формулы, выражающие взаимосвязь между электрическими величинами, характеризующими данный тип электрической машины.

Данная работа дает возможность проверить знания:

- критериев выбора электрических машин и аппаратов;
  - правила безопасной эксплуатации электрических машин и аппаратов
- умения:
- определять расчетным путем основные параметры электрических машин.
  - работать с нормативными документами и справочной литературой

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Выбор электродвигателя осуществляется по роду тока и напряжению, конструктивному исполнению, мощности и режимам работы. Наиболее простыми в эксплуатации и надежными в работе являются асинхронные двигатели, применяемые для электроприводов промышленных рабочих механизмов.

Правильный выбор мощности двигателя для привода должен удовлетворять требованиям экономичности, производительности и надежности рабочего механизма. Установка двигателя большей мощности, чем это необходимо по условиям привода, вызывает излишние потери энергии, увеличение габаритов двигателя и требует дополнительные капиталовложения. Установка двигателя недостаточной мощности снижает производительность рабочей машины и делает ее работу ненадежной, а сам двигатель в подобных условиях может легко выйти из строя.

В зависимости от времени включения двигателя, соотношения продолжительности работы и пауз, а также от характера изменения нагрузки различают три режима работы электродвигателей: продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный.

Продолжительный режим работы (условное обозначение **S1**) – это режим работы такой длительности, когда при практически неизменной нагрузке и температуре окружающей среды двигатель нагревается до установившегося значения. В таком режиме работают электроприводы компрессоров, вентиляторов, дымососов, конвейеров непрерывного транспорта и т. д.

Кратковременный режим (условное обозначение **S2**) – это режим работы, при котором периоды нагрузки чередуются с периодами отключения (пауз) двигателя. Причем за время работы температура частей двигателя не успевает достигнуть установившегося значения, а за время пауз двигатель охлаждается до температуры окружающей среды.

Повторно-кратковременный режим (условное обозначение **S3, S4, S5**) – это такой режим работы, при котором периоды работы чередуются с паузами, причем ни в один из



периодов работы температура двигателя не достигает установившегося значения, а во время снятия нагрузки двигатель не успевает охладиться до температуры окружающей среды. Двигатели, выпускаемые промышленностью для такого режима работы, характеризуются продолжительностью включения (ПВ), которая устанавливается по продолжительности одного цикла работы

$$ПВ = \frac{t_p}{t_p + t_n} \cdot 100\%$$

где  $t_p$  – время работы двигателя;  
 $t_n$  – время паузы.

ПВ стандартизованы и составляют 15, 25, 40, 60, 100 %. Значение ПВ указывается на паспорте двигателя. К механизмам с повторно-кратковременным режимом работы можно отнести металлообрабатывающие и деревообрабатывающие станки, краны, прокатные станы и т. д.

Для электропривода, работающего в повторно-кратковременном режиме, мощность двигателя рассчитывают методом средних потерь или эквивалентных величин. Первый метод более точный, но более трудоемкий. Удобнее пользоваться методом эквивалентных величин. В зависимости от заданного графика нагрузки  $P = f(t)$ ,  $M = f(t)$  определяют среднеквадратичные величины, которые называют эквивалентными.

Эквивалентная мощность представляет собой среднеквадратичную мощность нагрузочной диаграммы

$$P_{э\text{кв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots + P_k^2 \cdot t_k}{t_1 + t_2 + \dots + t_k}} =$$

где  $t_1, t_2, \dots, t_k$  - промежутки времени, в которые мощность нагрузки соответственно равна  $P_1, P_2, \dots, P_k$ .

По каталогу для полученных значений  $P_{э\text{кв}}$  и ПВ выбирают номинальную мощность двигателя из условия  $P_n \geq P_{э\text{кв}}$ .

Эквивалентный момент

$$M_{э\text{кв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots + M_k^2 \cdot t_k}{t_1 + t_2 + \dots + t_k}} \cdot M$$

Эквивалентную мощность определяют по выражению

$$P_{э\text{кв}} = \frac{M_{э\text{кв}} \cdot n}{9550}, \text{ кВт}$$

Расчетное значение  $ПВ_p$  часто отличается от стандартных значений, поэтому либо округляют полученное значение  $ПВ_p$  до ближайшего стандартного, либо пересчитывают эквивалентную мощность по формуле

$$P = P_{э\text{кв}} \sqrt{\frac{ПВ_p}{ПВ}}$$

При работе наблюдаются кратковременные перегрузки, превышающие номинальную мощность двигателя. Они не оказывают существенного влияния на нагрев двигателей, но могут привести к неустойчивой работе или остановке. Поэтому двигатель необходимо проверять на нагрузочную способность по выражению

$$\frac{P_m}{P_{ном}} = k_u \cdot \frac{M_m}{M_{ном}}$$

где  $P_m$  - наибольшая мощность в нагрузочной диаграмме;

$M_m/M_{ном}$  - кратность максимального момента определяют по каталогу;

$k_u$  - коэффициент учитывающий возможное снижение напряжения в сети.

Если это условие не выполняется, то следует выбрать по каталогу двигатель большей мощности и вновь проверить его на перегрузочную способность.

**Пример 9** Выбрать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для привода механизма, работающего с продолжительной переменной нагрузкой, заданной нагрузочной диаграммой  $P = f(t)$ , рис. 40. Синхронная частота вращения 3000 об/мин. Возможное снижение напряжения сети составляет 20%

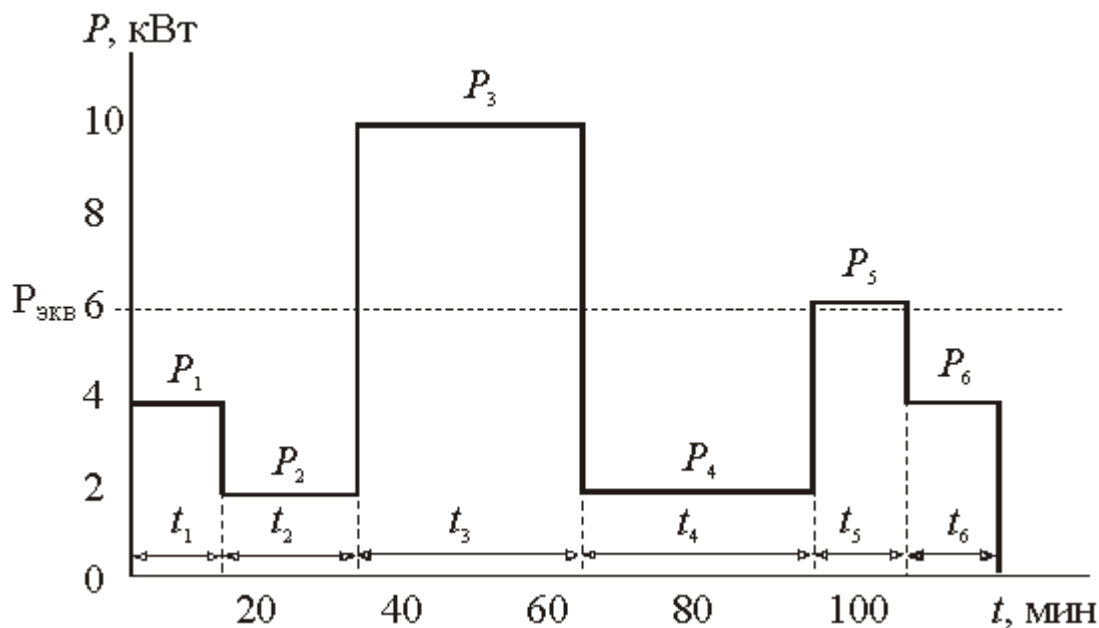


Рисунок 40 – Нагрузочная диаграмма двигателя для продолжительной переменной нагрузки  $P=f(t)$

Решение.

Эквивалентную мощность двигателя находим по формуле

$$P_{э\text{кв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3 + P_4^2 \cdot t_4 + P_5^2 \cdot t_5 + P_6^2 \cdot t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}} =$$

$$= \sqrt{\frac{4^2 \cdot 15 + 2^2 \cdot 20 + 10^2 \cdot 30 + 2^2 \cdot 30 + 6^2 \cdot 10 + 4^2 \cdot 10}{15 + 20 + 30 + 30 + 10 + 10}} = 5,87 \text{ кВт}$$

По каталогу выбираем асинхронный двигатель серии RA132S4 с номинальной мощностью  $P_n = 7,5$  кВт. Частота вращения при номинальной нагрузке  $n_n = 1455$  об/мин, кратность максимального момента  $M_m/M_{ном} = 3,2$ .

Проверяем двигатель на перегрузочную способность. Из нагрузочной диаграммы следует, что  $P_m = 10$  кВт, тогда по условию

$$\frac{P_m}{P_{ном}} = 0,8 \cdot \frac{M_m}{M_{ном}}, \text{ имеем}$$

$$10/7,5 \leq 0,8 \cdot 3,2 = 1,33 \leq 2,56.$$

Условие выполняется, следовательно, двигатель выдержит возникающие перегрузки.

### Пример 10

Определить необходимую мощность асинхронного двигателя для привода механизма, работающего в повторно-кратковременном режиме. Нагрузочный момент задан диаграммой  $M = f(t)$ , рис. 41. Частота вращения двигателя 970 об/мин.

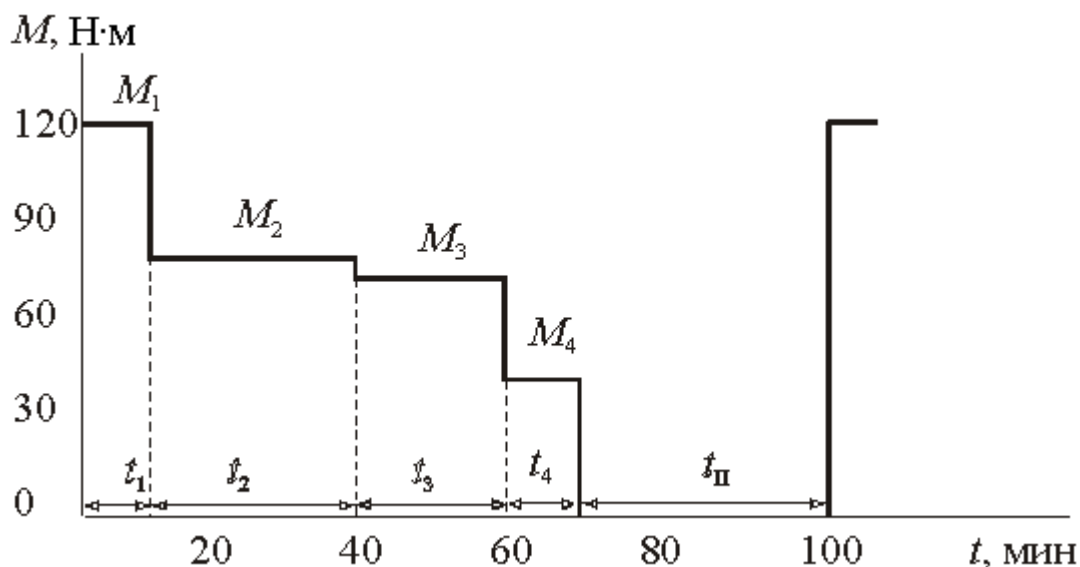


Рисунок 41 – Нагрузочная диаграмма двигателя для повторно-кратковременной нагрузки  $M = f(t)$

Решение

Определяем эквивалентный рабочий момент

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3 + M_4^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} = \sqrt{\frac{120^2 \cdot 10 + 80^2 \cdot 30 + 70^2 \cdot 20 + 50^2 \cdot 10}{10 + 30 + 20 + 10}} = 80,98 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Находим продолжительность включения

$$ПВ = \frac{t_p}{t_p + t_n} \cdot 100 = \frac{10 + 30 + 20 + 10}{10 + 30 + 20 + 10 + 30} \cdot 100 = 70\%$$

Эквивалентную расчетную мощность вычисляем по формуле

$$P_{\text{экс}} = \frac{M_{\text{экс}} \cdot n}{9550} = \frac{80,98 \cdot 970}{9550} = 8,22 \text{ кВт}$$

Поскольку рассчитанная ПВ отличается от стандартной, пересчитываем мощность

$$P = P_{\text{экс}} \sqrt{\frac{ПВ_p}{ПВ}} = 8,22 \cdot \sqrt{\frac{70}{60}} = 8,88 \text{ кВт}$$

По каталогу выбираем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии АИР160S6 номинальной мощностью 11 кВт. Частота вращения  $n_n = 970$  об/мин; перегрузочная способность  $M_n/M_n = 2,7$ .

## ЗАДАНИЯ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ № 7

Внеаудиторная работа составлена в 30 вариантах и ее выполнение обучающимися рассчитано на 2 учебных часа.

Таблица 27- Критерии оценивания внеаудиторной работы № 6

Оцениваемый параметр	Максимальный балл
Записал условие задачи с указанием единиц измерения физических величин	2
Указана цель каждого этапа решения задания	8
Построен график нагрузки	2
Определена расчетная мощность $P_p$	2
Выбран по каталогу по условиям нагрева электродвигатель	2
Выполнена проверка двигателя на перегрузочную способность	2
Для выбранного двигателя рассчитан номинальный ток	2
Выбрана станция управления нереверсивным двигателем и записаны ее характеристики	6
Выполнена проверка правильности выбора станции управления.	2
Выбраны токоподводящие провода или кабель и способ их прокладки.	2
Сделан вывод по работе	1
<b>ИТОГО:</b>	<b>31</b>

Оценка результатов выполнения задания производится в соответствии с универсальной шкалой:

Процент результативности (правильных ответов)	Кол-во баллов	Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений	
		балл (отметка)	вербальный аналог
90 ÷ 100	28 - 31	5	отлично
80 ÷ 89,9	25 - 27	4	хорошо
70 ÷ 79,9	22 - 24	3	удовлетворительно
менее 70	менее 22	2	не удовлетворительно

### Задание № 7

Краново-металлургические трехфазные асинхронные электродвигатели типа МТКР и МТКН используются для привода механизма с циклическим графиком момента нагрузки, приведенным к его валу.  $M_1, M_2, M_3$  и  $M_4$ - моменты нагрузки на валу двигателя, соответствующие участкам нагрузочного графика:  $t_1, t_2, t_3$  и  $t_4$  - время работы двигателя с заданными моментами нагрузки;  $n$  - частота вращения двигателя;  $K_u = 0,9$  - коэффициент, учитывающий возможное снижение напряжение питающей сети;  $n_{ном}$  - номинальное число оборотов механизма. Используя данные, построить график нагрузки, определить расчетную мощность  $P_p$  и выбрать по каталогу по условиям нагрева электродвигатель (таблица А1) и произвести проверку его на перегрузочную способность. Для выбранного двигателя рассчитать номинальный ток, выбрать станцию управления нереверсивным двигателем (таблица А3) и произвести проверку правильности выбора станции управления.

По допустимым токовым нагрузкам (таблица А2) выбрать токоподводящие провода или кабель и способ их прокладки.

Таблица 28 – Исходные данные

№ варианта	M, Нм				t, мин				n, об/мин
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	
1	11	4	6	5	3	2	3	4	2870
2	15	4	10	6	4	3	4	5	2870
3	20	6	12	8	3	2	3	4	2900
4	27	8	16	10	4	3	4	5	2895
5	40	10	22	12	3	2	3	4	2925
6	60	12	24	14	3,5	2,5	3,5	4,5	2930
7	75	14	32	16	4,5	3,5	4,5	5,5	2935
8	90	18	50	20	4	3	4	5	2935
9	110	24	60	26	3	2	3	4	2940
10	150	28	85	30	4	3	4	5	2945
11	22	5	14	7	3,5	2,5	3,5	4,5	1425
12	30	8	17	10	3	2	3	4	1435
13	38	10	23	12	4,5	3,5	4,5	5,5	1430
14	50	12	30	14	4	3	4	5	1445
15	80	14	50	16	3	2	3	4	1455
16	120	17	70	20	3,5	2,5	3,5	4,5	1460
17	150	20	100	22	4	3	4	5	1465
18	180	22	120	24	4,5	3,5	4,5	5,5	1465
19	220	24	140	26	4	3	4	5	1470
20	300	26	200	28	3	2	3	4	1470
21	32	8	20	10	3,5	2,5	3,5	4,5	950
22	32	8	20	10	3,5	2,5	3,5	4,5	950
23	60	12	35	14	4,5	3,5	4,5	5,5	950
24	84	14	50	16	3	2	3	4	965
25	120	16	70	18	3,5	2,5	3,5	4,5	970
26	170	20	110	22	4	3	4	5	975
27	220	24	160	26	4,5	3,5	4,5	5,5	975
28	280	28	200	30	3	2	3	4	975
29	320	30	240	32	3,5	2,5	3,5	4,5	975
30	430	33	350	35	4	3	4	5	980

## Методические указания

1 Нагрузочная диаграмма  $M=f(t)$  строится в масштабе.

2 Эквивалентные момент и мощность определяются по формуле

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3 + M_4^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}, \quad P_{\text{экв}} = \frac{M_{\text{экв}} \cdot n}{9550}.$$

3 Выбор двигателя производится по каталожным данным по таблице А1. (Приложение А) из условия:  $P_{\text{ном}} \geq P_{\text{экв}}$ ;  $n_{\text{ном}} \approx n$ . Для выбранного двигателя определяется  $M_{\text{кр}} = m_{\text{кр}} M_{\text{ном}}$  и проверяется условие  $M_I \leq M_{\text{кр}}$ . Если это условие не выполняется, выбирается двигатель большей мощности:  $m_{\text{кр}} = M_{\text{кр}} / M_{\text{ном}}$ .

4 Номинальный ток выбранного двигателя определяется по паспортным данным:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 10^3}{\eta_{\text{ном}} \sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}}.$$

По таблице А2 (Приложение А) выбирается станция управления из условия:  $I > I_{\text{ном}}$ . Проверка правильности выбора станции управления определяется из условия

$$0 < \Delta I < 0,35, \quad \text{где} \quad \Delta I = \frac{I - I_{\text{ном}}}{I}.$$

5 По таблице А3 (Приложение А) в соответствии с номинальным током двигателя  $I_{\text{ном}}$  выбирается сечение провода или кабеля, а также способ прокладки.

## Приложение А

Справочные данные для выбора электродвигателя, станции управления к нему

Таблица А - Технические характеристики асинхронных двигателей серии 4А

P <sub>ном</sub> , кВт	2р	S <sub>ном</sub> , %	η, %	Cosφ <sub>ном</sub>	$\frac{M_{кр}}{M_{ном}}$	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	$\frac{M_n}{M_{ном}}$
2,2	2	4,3	83,0	0,87	2,6	6,5	2,1
3,0	2	4,3	84,5	0,85	2,5	6,5	2,1
4,0	2	3,3	86,5	0,89	2,5	7,5	2,0
5,5	2	3,4	87,5	0,91	2,5	7,5	2,0
7,5	2	2,5	87,5	0,88	2,8	7,5	2,0
11,0	2	2,3	88,0	0,9	2,8	7,5	1,7
15,0	2	2,1	88,0	0,91	2,2	7,0	1,4
18,5	2	2,1	88,5	0,92	2,2	7,0	1,4
22,0	2	1,9	88,5	0,91	2,5	7,5	1,4
30,0	2	1,8	90,5	0,9	2,5	7,5	1,4
2,2	4	5,1	80,0	0,83	2,4	6,0	2,1
3,0	4	4,4	82,0	0,83	2,4	6,0	2,0
4,0	4	4,6	84,0	0,84	2,4	7,1	2,0
5,5	4	3,6	85,5	0,85	2,2	7,0	2,0
7,5	4	2,9	87,5	0,86	3,0	7,5	2,2
11,0	4	2,8	87,5	0,87	3,0	7,5	2,2
15,0	4	2,3	88,5	0,88	2,3	7,0	1,4
18,5	4	2,2	89,5	0,88	2,3	7,0	1,4
22,0	4	2,0	90,0	0,90	2,3	6,5	1,4
30,0	4	1,9	91,0	0,89	2,3	6,5	1,4
2,2	6	5,1	81,0	0,73	2,2	5,0	2,0
3,0	6	4,7	81,0	0,76	2,5	6,0	2,0
4,0	6	5,1	82,0	0,81	2,5	6,0	2,0
5,5	6	3,3	85,0	0,80	2,5	6,0	2,0
7,5	6	3,2	85,5	0,81	2,5	6,0	2,0
11,0	6	2,7	86,0	0,86	2,0	6,0	1,2
15,0	6	2,6	87,5	0,87	2,0	6,0	1,2
18,5	6	2,4	88,0	0,87	2,0	6,0	1,2
22,0	6	2,3	90,0	0,90	2,4	6,5	1,3
30,0	6	2,1	90,5	0,90	2,4	6,5	1,3

Таблица А2 - Длительно допустимые токовые нагрузки на провода и кабели с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией и алюминиевыми жилами.

Сечение токоподводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Токовые нагрузки на одну жилу, А		
	Одножильные провода, проложенные открыто	Проложенные в одной трубе	
		Три одножильных провода	Один трехжильный кабель
2,5	24	19	16
4	32	28	21
6	39	32	26
10	60	47	38
16	75	60	55
25	105	80	65

Таблица А3 - Технические данные станции управления с питанием цепи управления линейным напряжением 380 В.

Типовой индекс	Силовой ток станции I, А	Выключатель в силовой цепи двигателя		Пускатель		Реле типовое		Предохранитель	Кнопка
		тип	I <sub>p</sub> , А	тип	I <sub>ном</sub> , А	тип	Предел регулир. тока		
УХЛ 4	6	АЕ 2026- 10НУЗ- Б	8	ПМЛ 1100	6	РТЛ-1010	3,8-6	ПРС- 6ПУЗ, 1 плавкая вставка	КЕ 011 УЗ
УХЛ 4	8		10	ПКЛ 20	8	РТЛ-1012	5,5-8		
УХЛ 4	10		12,5		10	РТЛ-1014	7-10		
УХЛ 4	12,5	АЕ 2048М- 10РУЗ- Б	16	ПМЛ 2100;	12,5	РТЛ-1016	9,5-14		
УХЛ 4	16		20		ПКЛ 20	16	РТЛ-1021		
УХЛ 4	25		31,5	25		РТЛ-1022	18-25		
УХЛ 4	32		40	ПМА 3202; УХЛ4В	32	РЕЛЕ встроено в пускатель	27,2- 36,8		
УХЛ 4	40		50		40		34-46		
УХЛ 4	50		АЕ 2056М- 100УЗ- Б	63	ПМА 4200; УХЛ4В		50		
УХЛ 4	63	80		63			53,5- 72,3		

Примечание:

УХЛ4 – умеренно холодный климат 4 зоны.

I<sub>p</sub> – ток срабатывания тепловой уставки выключателя