

**Министерство общего и профессионального образования
Свердловской области**

ГБПОУ СО «Богдановичский политехникум»



Электротехника и электроника

Методические указания по дисциплине и задания для контрольных работ
для студентов – заочников по специальности
15.02.01 «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования
(по отраслям)»

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 15.02.01 «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)»

Пособие содержит тематическое планирование дисциплины вопросами для самопроверки, требования к выполнению и оформлению контрольных работ. В пособии также приведены примеры решения задач и варианты контрольных работ.

Пособие может быть использовано педагогическими работниками при преподавании общепрофессиональной дисциплины «Электротехника и электроника» для студентов специальности 15.02.01 «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)»

Рассмотрено на заседании Методического совета ГБПОУ СО «Богдановичский политехникум»

протокол № 1 от «29» августа 2016 г.

Председатель: _____ / Е.В. Снежкова

СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка	4
Общие методические указания	5
Содержание учебной дисциплины	9
Введение	9
Раздел 1. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА	9
Раздел 1. ЭЛЕКТРОНИКА	15
Методические указания к контрольной работе	18
Задания на контрольную работу	47

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Студенты специальности изучают общепрофессиональную дисциплину «Электротехника и электроника» на 1 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 и устройств.

Данное пособие состоит из двух разделов:

- Методические указания по дисциплине
- Задания для контрольных работ

Методические указания по дисциплине включают содержание дисциплины с вопросами для самопроверки по каждой теме, перечень лабораторных и практических работ, обязательных для выполнения, список рекомендуемой литературы

Задания для контрольных работ содержат методические указания и примеры решения типовых задач, а также варианты контрольных работ.

Контрольная работа составлена в 10 вариантах и состоит в решении задач расчетного и расчетно-графического характера.

Требования и указания по выполнению, оформлению и оцениванию контрольных работ приведены в разделе «методические указания по дисциплине»

К экзаменам допускаются студенты, получившие «зачет» по контрольной, лабораторным и практическим работам. Лабораторные и практические работы выполняются во время экзаменационных сессий под руководством преподавателя, а контрольная работа – в межсессионный период самостоятельно.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Для студента-заочника основным методом изучения предмета является самостоятельная работа с учебником. Учеба должна быть систематической и проводиться по индивидуальному плану, составленному самим заочником в соответствии с учебным графиком.

Изучая каждый раздел программы, необходимо понять физическую сущность явлений, усвоить основные понятия об электрических величинах, а так же закономерности, определяющие связь и зависимость между ними, научиться производить расчеты.

Нельзя ничего оставлять непонятным при изучении предмета; если самому преодолеть затруднения не удастся, необходимо обратиться за консультацией к преподавателю. Серьезное внимание должно быть уделено вопросам для самопроверки, а так же разбору решений типовых задач, помещенных в настоящем пособии (см. методические указания с примерами решения типовых задач)

Программой дисциплины предусмотрено выполнение лабораторных и практических работ. Лабораторные работы выполняются в сроки, предусмотренные учебным графиком. По каждой работе составляется отчет, по установленной форме.

Перечень лабораторных и практических работ приведен ниже.

Цель контрольной работы

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

Знание и понимание предмета, 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 контрольной работы следует приступать только после изучения соответственного раздела теоретического курса в объеме учебной программы.

Перед самостоятельным решением задачи контрольного 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.

Требования к выполнению и оформлению контрольной работы.

1. Студенты специальности 15.02.01 выполняют одну домашнюю контрольную работу.

2. Вариант контрольной работы определяется первой буквой фамилии и последней цифрой номера личного дела (шифра) студента. Например: студент Соколов И. П. имеет номер личного дела 356. Его вариант С/6. По первой букве фамилии в таблице 1 находит номера задач, которые он должен решать: для контрольной работы это будут задачи 2, 7, 12, 17, 21.

Таблица 1

Первая буква фамилии	Номера задач
А Е Л Р Х Э	1, 6, 11, 16, 21
Б Ж М С Ц Ю	2, 7, 12, 17, 21
В З Н Т Ч Я	3, 8, 13, 18, 21
Г И О У Ш	4, 9, 14, 19, 21 .
Д К П Ф Ц	5, 10, 15, 20, 21

3. Контрольная работа выполняется в отдельной ученической тетради в клетку или на листах формата А4 на обложке должны быть написаны: название контрольной работы, фамилия, имя, отчество студента

4. На каждой странице должны быть оставлены поля шириной не менее 3 см. для замечаний рецензента, а в конце работы 2-3 страницы для рецензии и работы над ошибками. При оформлении контрольной работы студент не должен пользоваться красными или зелеными чернилами или пастой.

5. Приступая к решению задачи, студент должен изучить ее условие; уяснить, какие величины являются заданными и какие искомыми; записать условие задачи полностью без сокращений; вычертить электрическую схему, соответствующую условию задачи, и показать на ней заданные и искомые величины, а также направление токов. Контрольное 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.

6. Решение задач должно сопровождаться краткими пояснениями.

7. 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. Все расчеты необходимо вести в системе СИ. Буквенные обозначения единиц измерения ставятся только возле окончательного результата и в скобки не заключаются, например, 120В, 13А, 100Вт.

8. В конце контрольной работы необходима подпись автора и дата выполнения работы и список литературы, которым пользовался студент при выполнении домашней контрольной работы.

9. Если контрольное задание не зачтено, студент обязан исправить ошибки, указанные преподавателем, и представить его на повторную рецензию. При возникновении затруднений при выполнении контрольной работы, студент может обратиться в техникум, для получения консультации.

10. Контрольная работа, выполненная не в полном объеме, не по заданному варианту, небрежно, неразборчивым почерком возвращаются студенту без рецензии, с указанием причин возврата на титульном листе.

11. Студенты, не сдавшие на проверку до начала сессии соответствующих решенных контрольных заданий и не имеющих зачет по лабораторным работам к сдаче экзамена не допускаются.

Таблица 2 - ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Тема	Наименование темы	Всего часов	Лабораторные работы	Практические занятия
	Введение			
Раздел 1 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА		14	6	2
1.1	Электрическое поле			
1.2	Электрические цепи постоянного тока	2		1
1.3	Электромагнетизм	1		
1.4	Цепи переменного тока	4,5	2	1
1.5	Электрические измерения и электроизмерительные приборы	2	2	
1.6	Трансформаторы.	0,5		
1.7	Электрические машины переменного тока	1		
1.8	Электрические машины постоянного тока	1		
1.9	Основы электропривода			
1.10	Передача и распределение электроэнергии	2	2	
Раздел 2 ЭЛЕКТРОНИКА		4		
2.1	Полупроводниковые приборы	2		
2.2	Электронные выпрямители	1		
2.3	Электронные усилители	1		
ИТОГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ:		18	6	2

Таблица 3 – Перечень лабораторных работ

№ п/п	Темы лабораторных работ	Кол-во часов
1.4	Проверка закона Ома при последовательном соединении R,L,C	2
1.5	Определение погрешностей измерения значения сопротивления методом амперметра и вольтметра	2
1.10	Определение необходимого сечения проводов и потерь напряжения в проводах	2
ИТОГО		6

Таблица 4 - Перечень практических занятий

№ п/п	Темы практических работ	Кол-во часов
1.2	Расчет электрических цепей постоянного тока.	1
1.4	Расчет трехфазной осветительной нагрузки	1
1.6	Определение основных параметров электрических машин переменного тока	0.5
1.7	Определение основных параметров электрических машин постоянного тока	0.5
2.1	Решение задач по теме: «Полупроводниковые приборы»	1
ИТОГО		4

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основные источники:

1. Горошков Б.И. Электронная техника: учебн. пособие для студ. сред. проф. образования / Б.И. Горошков, А.Б. Горошков. – М.: издательский центр «Академия», 2015.- 320с.
2. Евдокимов Ф.Е. Общая электротехника: учебн. пособие / Ф.Е. Евдокимов. - М.: Энергия, 2012. - 352с.
3. Немцов М.В. Электротехника и электроника: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования / М.В. Немцов, М.Л. Немцова. – М.: издательский центр «Академия», 2013.-432с.

Дополнительные источники:

1. Андреев А.В. Основы электроники: учебн. пособие / А.В. Андреев, М.И. Горлов. – Ростов н/Дону: Феникс, 2003. -416с.
2. Березкина Т.Ф. Задачник по общей электротехнике с основами электроники: учебн. пособие / Т.Ф. Березкина, Н.Г. Гусев, В.В. Масленников. - М.: Высшая школа, 1998. - 384с.
3. Гальперин М.В. Электронная техника: учебник / М.В. Гальперин. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. -304с.: ил.
4. ГОСТ 1494-77 Электротехника. Буквенное обозначение основных величин
4. Данилов И.А. Общая электротехника с основами электроники: учебн. пособие / И.А. Данилов, П.М. Иванов. - М.: Мастерство, 1998. - 752с.
5. Долин П.А. Действие электрического тока на человека и первая помощь пострадавшим /П.А. Долин. - М.: Энергия ,1976. - 126с.
6. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники: учебник / Ф.Е. Евдокимов. - М.: Академия, 2004. - 560с.
7. Иванов И.И.. Электротехника. Основные положения, примеры, задачи: учебное пособие / И.И. Иванов. - С-Пб – М - Краснодар. – 2004. - 193с.
8. Кацман М.М. Электрические машины, , М.: Академия, 2005, 367стр.
9. Кацман М.М. Электрические машины: справочник / М.М. Кацман. - М.: Академия, 2008. - 496с.
10. Кацман М.М. Сборник задач по электрическим машинам: учебн. пособие / М.М. Кацман. - М.: Академия, 2007. - 164с.
11. Панфилов В.А. Электрические измерения: учебн. пособие /В.А. Панфилов. - М.: Академия, 2008. - 288 с.
12. Панфилов Ю.И. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях./ Ю.И. Панфилов. - Издательство ДОДЭКА. М.: 1999. - 304с.
13. <http://elektroinf.narod.ru/> Библиотека электроэнергетики
14. <http://www.elektroshema.ru/> Электричество и схемы
15. <http://city-energi.ru/about.html> Все о силовом электрооборудовании - описание, чертежи, руководства по эксплуатации
www.ElectricalSchool.info Школа для электрика. Статьи, советы, полезная информация по устройству, наладке, эксплуатации и ремонту электрооборудования

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ВВЕДЕНИЕ

Определение электротехники как отрасли науки и техники, решающей задачи преобразования и передачи энергии и информации. Этапы развития электротехники.

Сведения о содержании предмета. Значение электротехнической подготовки в формировании материалистического мировоззрения специалистов среднего звена и в освоении ими современной техники и передовой технологии.

РАЗДЕЛ 1 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ТЕМА 1.1 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Основные свойства и характеристики электрического поля. Проводники и диэлектрики в электрическом поле. Электроизоляционные материалы

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется электрическим полем?
2. Что называется напряженностью электрического поля?
3. Что представляет собой электрический потенциал?
4. В чем отличие проводников от диэлектриков?

ТЕМА 1.2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электрическая цепь и её элементы. Электрический ток, электродвижущая сила и электрическое напряжение. Электрическое сопротивление и электрическая проводимость.

Закон Ома Электрическая энергия и мощность. Преобразование электрической энергии в тепловую.

Электрические цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединением электроприемников. Первый закон Кирхгофа. Второй закон Кирхгофа. Понятие о расчете сложных электрических цепей.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется электрическим током?
2. Что такое электрическая цепь?
3. Какие существуют источники питания?
4. Каково различие между ЭДС и напряжением источника?
5. Что называется мощностью электрического тока, в каких единицах она измеряется?
6. По каким формулам можно подсчитать работу электрического тока?
7. Что такое баланс мощностей в замкнутой электрической цепи?
8. Как читается и записывается закон Ома для участка и всей цепи?
9. Что называется электрическим сопротивлением?
10. От каких величин зависит сопротивление проводника?

11. От чего зависит количество тепла, выделяемое током в проводнике?
12. Какими свойствами характеризуется последовательное соединение сопротивлений?
13. Сформулируйте первый закон Кирхгофа.
14. Как определить эквивалентное сопротивление при параллельном соединении?
15. Что такое сложная цепь?
16. Сформулируйте второй закон Кирхгофа

ТЕМА 1.3 ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ ИНДУКЦИЯ

Магнитное поле электрического тока Изображение магнитного поля магнитными линиями. Зависимость между направлением линий и направлением тока

Правило буравчика

Электромагнитная сила, действующая на провод с током, помещенный в однородное магнитное поле. Магнитная индукция. Правило левой руки.

Магнитный поток. Магнитная проницаемость среды. Напряженность магнитного поля.

Намагничивание ферромагнитных материалов. Магнитный гистерезис. Величина и направление силы, действующей на электрон, движущийся в магнитном поле.

Перемещение прямолинейного проводника в магнитном поле под действием внешних сил. Явление электромагнитной индукции. ЭДС электромагнитной индукции Правило правой руки. Наведенный электрический ток в проводнике, сила торможения, действующая на проводник. Преобразование механической энергии в электрическую. Принцип действия электрического генератора Перемещение прямолинейного провода с электрическим током в магнитном поле под действием силы поля. Встречная ЭДС электромагнитной индукции. Преобразование электрической энергии в механическую. Принцип действия электродвигателя. ЭДС электромагнитной индукции в контуре. Закон Ленца Потокосцепление. Вихревые токи. Явление самоиндукции. Индуктивность. Взаимная индукция. Электромагниты. Применение электромагнитов.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется магнитным полем, как оно себя проявляет?
2. Что называется магнитной индукцией?
3. От чего зависит электромагнитная сила, действующая на проводник с током в магнитном поле?
4. Что такое абсолютная магнитная проницаемость среды?
5. Что такое напряженность магнитного поля?
6. Какие материалы относятся к ферромагнитным и как объясняется их намагничивание?
7. Что характеризует кривая намагничивания?
8. В чем сущность магнитного гистерезиса?
9. Чем отличается электромагнит от постоянного магнита?
10. В чем заключается сущность электромагнитной индукции?
11. В чем сущность явления самоиндукции?

12. Что такое вихревые токи?

ТЕМА 1.4 ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Переменный синусоидальный ток и его определение. Целесообразность технического использования синусоидального тока. Получение синусоидальной ЭДС. Величины, характеризующие переменный синусоидальный ток (мгновенное и максимальное значения, период, частота, угловая частота, фаза, начальная фаза, сдвиг фаз, действующее значение). Графическое изображение синусоидальных величин.

Особенности цепей переменного синусоидального тока. Напряжение, ток, сопротивление и мощность в простейших электрических цепях с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью. Закон Ома. Векторные диаграммы и графики мгновенных значений напряжений, токов, мощностей для этих цепей.

Электрическая цепь переменного синусоидального тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений. Ток; активное, индуктивное, емкостное и общее напряжение. Векторная диаграмма напряжений. Закон Ома. Активное, индуктивное, емкостное и полное сопротивление цепи. Треугольник сопротивлений. Активная, индуктивная, емкостная и полная мощность цепи. Треугольник мощностей. Коэффициент мощности. Анализ работы цепи при $X_L > X_C$, $X_L < X_C$ и $X_L = X_C$ (резонанс напряжений). Особенности работы и расчета цепи при отсутствии одного из реактивных сопротивлений.

Электрическая цепь переменного синусоидального тока с параллельным соединением активно-индуктивного и емкостного сопротивлений. Векторная диаграмма токов. Разложение токов на активные и реактивные составляющие. Общий ток цепи. Разность токов. Активная, реактивная и полная мощности цепи. Коэффициент мощности и пути его повышения.

Понятие о трехфазных цепях и сравнение их с однофазными. Основные элементы цепи. Устройство и принцип действия простейшего трехфазного генератора. Понятие о турбогенераторе.

Соединение обмоток генератора и потребителей звездой. Фазные и линейные напряжения. Соотношения между ними. Равномерная и неравномерная нагрузки. Фазные и линейные токи. Соотношение между ними. Векторная диаграмма напряжений и токов. Нейтральный (нулевой) провод и его значение. Мощность цепи.

Соединение обмоток генератора и потребителей треугольником. Фазные и линейные напряжения. Соотношения между ними. Равномерная и неравномерная нагрузки. Фазные и линейные токи. Соотношения между ними. Векторная диаграмма напряжений и токов. Мощность цепи.

Вопросы для самопроверки.

1. Что называется мгновенным и амплитудным значениям переменной величина?
2. Что называется периодом и частотой переменного тока?
3. Чем характеризуется синусоидальная величина?
4. Что называется начальной фазой?
5. В каком случае синусоидальные величины совпадают по фазе?
6. Что называется действующим значением переменной величины?
7. Что такое векторная диаграмма?
8. Какие сопротивления в цепи переменного тока Вам известны?'
9. От чего зависит индуктивное сопротивление?
10. От каких величин зависит емкостное сопротивление?

11. Что такое полное сопротивление неразветвленной цепи переменного тока?
12. Как определяются и в каких единицах измеряются активная, реактивная и полная мощности переменного тока?
13. Начертите векторную диаграмму для неразветвленной цепи с R и $X_L > X_C$.
14. Что такое коэффициент мощности?
15. При каких условиях в цепи возникает резонанс напряжений?
16. Как определить общий ток в разветвленной цепи переменного тока?
17. Каковы условия возникновения резонанса токов?
18. Что называется трехфазной системой переменного тока?
19. Начертите схему соединения обмоток генератора звездой.
20. Какие существуют соотношения между линейными и фазными напряжениями и токами при соединении в звезду?
21. Начертите схему соединения обмоток генератора треугольником.
22. В чем заключается роль нулевого провода?
23. Как определяются линейные токи при равномерной и неравномерной нагрузках соединенных треугольником?
24. Напишите формулы для определения активной, реактивной и полной мощностей трехфазного тока

ТЕМА 1.5 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Основные понятия. Классификация измерительных приборов. Основные требования, предъявляемые к измерительным приборам. Относительная и приведенная погрешность. Измерительные приборы магнитоэлектрической системы, применение их для измерения тока и напряжения. Расширение пределов измерений амперметров и вольтметров. Шунты и добавочные сопротивления. Достоинства и недостатки приборов магнитоэлектрической системы.

Измерительные приборы электромагнитной, электродинамической и ферродинамической систем, применение их для измерения тока и напряжения. Измерение мощности. Электродинамический и ферродинамический ваттметры и схемы их включения.

Измерение электрической энергии. Индукционные счетчики. Цифровые измерительные приборы. Измерение сопротивлений, мост для измерения сопротивлений, омметры, мегомметры.

Понятие об измерении не электрических величин электрическими методами.

Вопросы для самопроверки

1. Как работают и устроены приборы магнитоэлектрической системы?
2. Как работают и устроены приборы электромагнитной системы?
3. Какую мощность показывает электродинамический ваттметр при включении в цепь переменного тока?
4. Как устроены приборы электродинамической и ферродинамической систем?
5. Какие способы измерения сопротивлений вы знаете?
6. Какими приборами измеряется электрическая энергия?
7. Каково назначение датчика при измерении не электрических величин?

ТЕМА 1.6 ТРАНСФОРМАТОРЫ

Назначение трансформаторов и их применение. Устройство и принцип действия однофазного трансформатора.

Холостой ход трансформатора. Ток холостого хода коэффициент трансформации.

Работа трансформатора под нагрузкой. Саморегулируемость трансформатора Внешняя характеристика трансформатора и процентное измерение вторичного напряжения. Номинальные параметры трансформатора Потери мощности и коэффициент полезного действия трансформатора Опыт холостого хода и короткого замыкания.

Трехфазные трансформаторы. Автотрансформаторы. Измерительные трансформаторы. Трансформаторы для дуговой электросварки.

Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение трансформаторов?
2. Что будет, если трансформатор включить в цепь постоянного тока?
3. Что называется номинальной мощностью трансформатора?
4. Почему магнитный поток в сердечнике остается практически неизменным при изменении нагрузки?
5. Какие потери мощности возникают в трансформаторе при работе под нагрузкой?
6. Какие схемы соединения обмоток трехфазных трансформаторов Вы знаете?
7. Для чего в бак трансформатора заливается масло?
8. Чему равен КПД мощных силовых трансформаторов?

ТЕМА 1.7 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Назначение и область применения машин переменного тока. Получение вращающегося магнитного поля. Устройство и принцип действия асинхронного двигателя. Обозначение выводов обмоток статора и определение их "начал" и "концов". Схема включения обмоток.

Число пар полюсов вращения магнитного поля статора, частота вращения ротора, скольжение. Влияние скольжения на электрические величины ротора в процессе работы двигателя. Вращающийся момент и его зависимость от скольжения и напряжения на зажимах двигателя. Перегрузочная способность и кратность пускового момента. Механическая характеристика двигателя. Пуск в ход асинхронных двигателей. Регулирование частоты вращения и реверсирование асинхронного двигателя.

Потери мощности и коэффициент полезного действия асинхронного двигателя. Коэффициент мощности двигателя.

Однофазные асинхронные электродвигатели. Включение трехфазного электродвигателя в однофазную сеть. Синхронные машины, устройство, принцип действия, область применения.

Вопросы для самопроверки

1. Как в трехфазном асинхронном двигателе создается вращающееся магнитное поле?
2. От каких величин зависит частота вращения магнитного поля?
3. Почему при включения статорной обмотки в сеть трехфазного переменного тока ротор двигателя приходит во вращение?

4. Что такое скольжение?
5. Чему равно скольжение в момент пуска?
6. Почему пусковой ток асинхронного двигателя велик?
7. Чем отличается асинхронный двигатель с фазным ротором от асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
8. От каких величин зависит вращающий момент асинхронного двигателя?
9. Что называется перегрузочной способностью двигателя?
10. Какие потери энергии возникают при работе асинхронного двигателя?
11. Как меняется частота вращения асинхронного двигателя при увеличении нагрузки?

ТЕМА 1.8 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Двигатели постоянного тока: схемы возбуждения, характеристики; пуск, регулирование частоты вращения, реверсирование и торможение.

Потери мощности и коэффициент полезного действия машина постоянного тока.

Вопросы для самопроверки'

1. Каков принцип действия генератора, двигателя?
2. Зачем нужен коллектор в машинах постоянного тока?
3. Какая существует связь между ЭДС и напряжением на зажимах в генераторе и двигателе?
4. В чем заключается обратимость машины постоянного тока?
5. От каких величин зависит ЭДС обмотки якоря?
6. От каких величин зависит электромагнитный момент машин постоянного тока?
7. В чем заключается принцип самовозбуждения генераторов постоянного тока?
8. Начертите схемы генераторов параллельного, смешанного и независимого возбуждения.
9. Почему напряжение на зажимах генератора параллельного возбуждения с ростом нагрузки уменьшается?
10. Какие потери мощности возникают при работе в машинах постоянного тока?
11. От каких величин зависит частота вращения двигателя постоянного тока?
12. Каково назначение пускового реостата?
13. Начертите схему двигателя параллельного возбуждения, объясните его работу.
14. Где применяются двигатели постоянного тока?

ТЕМА 19. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Понятие об электроприводе.

Уравнение движения электропривода. Механические характеристики нагрузочных устройств. Расчет мощности и выбор двигателя при продолжительном, кратковременном и повторно - кратковременном режимах. Аппаратура для управления электроприводом.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы преимущества электропривода?
2. Как влияет повышение температуры на ее работу? Что влияет на рост температуры?
3. Каковы условия выбора мощности двигателя при различных режимах работы?
4. Перечислите и поясните действие аппаратов ручного и дистанционного управления?
5. Какие виды защит используются в схемах управления электропривода?
6. С помощью каких аппаратов реализуются различные виды защит электропривода?
7. Какие виды тормозных устройств применяются в электроприводе?
8. Пояснить схему управления трехфазным асинхронным короткозамкнутым двигателем с помощью реверсивного магнитного пускателя?

ТЕМА 1.10 ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Электроснабжение промышленных предприятий от электрической системы. Назначение и устройство трансформаторных подстанций и распределительных пунктов.

Электрические сети промышленных предприятий: воздушные линии, кабельные линии, внутренние электрические сети и распределительные пункты, электропроводки.

Электроснабжение цехов и электросетей. Графики электрических нагрузок. Выбор сечений проводов и кабелей по допустимому нагреву с учетом защитных аппаратов, по допустимой потере напряжения. Эксплуатация электрических установок. Защитное заземление.

Вопросы для самопроверки

1. Объяснить схему распределения электрической энергии через распределительный пункт предприятия?
2. Назначение трансформаторной подстанции и распределение щитов?
3. Преимущество, недостатки и применение во ВЛЭП и КЛЭП?
4. В чем различие изоляторов на низкое и высокое напряжение?
5. Расшифровать ПРД, АППВ, ВРГ, ШР. Объяснить устройство и способ прокладки и область применения данных проводов и шнуров?
6. Объяснить порядок определения сечения провода по допустимому нагреву?

РАЗДЕЛ 2 ЭЛЕКТРОНИКА

ТЕМА 2.1 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Электронные приборы. Электрофизические свойства полупроводников. Собственная и примесная электропроводность полупроводников.

Выпрямительные диоды и стабилитроны: условное обозначение устройство, принцип действия, вольт-амперные характеристики параметры, маркировка.

Биполярные транзисторы: типы, условные обозначения устройство, принцип действия, схемы включения, характеристики параметры, маркировка, область

применения.

Тиристоры: устройство, принцип действия, характеристики, параметры, условные обозначения, маркировка, область применения.

Полевые транзисторы: устройство, принцип действия, область применения.

Вопросы для самопроверки

1. Какие носители заряда, перемещаясь, образуют ток в полупроводниках с n -проводимостью, с p -проводимостью?
2. Как образуется p - n переход, каково его основное свойство?
3. Чем объяснить наличие тока в полупроводниковом диоде при подаче обратного напряжения?
4. Где применяются полупроводниковые диоды?
5. Как устроен транзистор?
6. Поясните принцип работы транзистора типа p - n - p .
7. Какие схемы включения транзисторов существуют?
8. Чем объяснить отсутствие усиления по току в схеме включения транзистора с общей базой?
9. Укажите область практического применения транзисторов.
10. Как устроен тиристор и для чего он применяется?
11. Объясните принципиальное различие между биполярными и полевыми транзисторами.

ТЕМА 2.2 ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Назначение, основные элементы и структурная схема выпрямителя. Однофазные одно- и двухполупериодные выпрямителя: схемы, принцип действия, графики напряжений и токов, основные соотношения между электрическими величинами в рассматриваемой схеме, выбор диодов.

Трехфазные выпрямители. Управляемые выпрямители. Работа выпрямителя на встречный источник ЭДС /зарядка аккумуляторной батареи/. Сглаживание выпрямленного напряжения. Стабилизатор напряжения и тока.

Вопросы для самопроверки

1. Как работает однополупериодный выпрямитель с полупроводниковым диодом?
2. Каковы отличия двухполупериодного выпрямителя от однополупериодного?
3. В каких случаях необходимо последовательное, параллельное и смешанное соединение полупроводниковых диодов в выпрямительных схемах?
4. Как работает выпрямитель трехфазного тока?
5. Каково назначение фильтров в выпрямителях?

ТЕМА 2.3 ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Назначение, элементы, структурная схема и основные параметры усилителя.

Схема и принцип действия полупроводникового усилительного каскада с общим эмиттером. Напряжение смещения базы. Температурная стабилизация режима работы транзистора.

Многокаскадные транзисторные усилители и связь между каскадами.

Усилители мощности. Согласование сопротивления нагрузки с выходным сопротивлением транзистора.

Понятие об усилителях постоянного тока, импульсных и избирательных усилителях.

Вопросы для самопроверки

1. Как классифицируются электронные усилители? Приведите основные показатели работы усилителей.
2. Дайте определение коэффициенту усиления по напряжению, току и
3. Поясните принцип усиления напряжения.
4. Что показывает частотная характеристика?
5. Для чего применяются многокаскадные усилители?
6. Как осуществляются межкаскадные связи в схемах усилителей?
7. В чем отличие предварительного каскада усиления от оконечного каскада?
8. Приведите примеры применения усилителей постоянного тока.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Методические указания к решению задач 1...5

Эти задачи относятся к теме 2 "Электрические цепи постоянного тока". Решение их требует знания закона Ома, формул мощности, первого закона Кирхгофа, свойств последовательного и параллельного, соединения резисторов.

Краткие сведения о перечисленных выше понятиях

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).

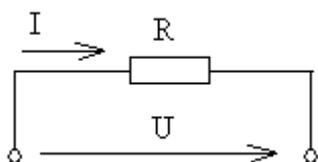


Рисунок 1 - Электрическая схема

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 (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).

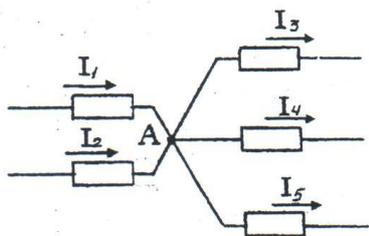


Рисунок 2 - Электрическая схема

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:

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

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

Последовательное соединение резисторов (рис. 3)

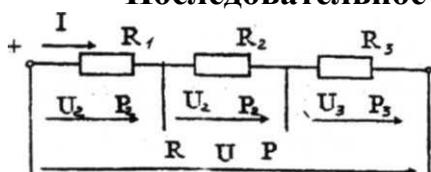


Рисунок 3 - Электрическая схема

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): $R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3$
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:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{U_1}{R_1} & I_2 &= \frac{U_2}{R_2} & I_3 &= \frac{U_3}{R_3} & I &= \frac{U}{R} \\ P_1 &= U_1 \cdot I & P_2 &= U_2 \cdot I & P_3 &= U_3 \cdot I & P &= U \cdot I \\ P_1 &= I^2 \cdot R_1 & P_2 &= I^2 \cdot R_2 & P_3 &= I^2 \cdot R_3 & P &= I^2 \cdot R \\ P_1 &= \frac{U_1^2}{R_1} & P_2 &= \frac{U_2^2}{R_2} & P_3 &= \frac{U_3^2}{R_3} & P &= \frac{U^2}{R} \end{aligned}$$

Параллельное соединение резисторов (рисунок 4)

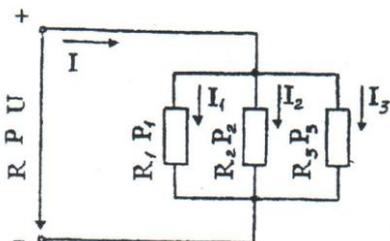


Рисунок 4 - Электрическая схема

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 применять формулу: $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

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:

$$\begin{array}{cccc} I_1 = \frac{U}{R_1} & I_2 = \frac{U}{R_2} & I_3 = \frac{U}{R_3} & I = \frac{U}{R} \\ P_1 = U \cdot I_1 & P_2 = U \cdot I_2 & P_3 = U \cdot I_3 & P = U \cdot I \\ P_1 = I_1^2 \cdot R_1 & P_2 = I_2^2 \cdot R_2 & P_3 = I_3^2 \cdot R_3 & P = I^2 \cdot R \\ P_1 = \frac{U^2}{R_1} & P_2 = \frac{U^2}{R_2} & P_3 = \frac{U^2}{R_3} & P = \frac{U^2}{R} \end{array}$$

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 примера 1 необходимо внимательно прочитать общие методические указания к решению задач 1... 5 и только после этого приступить к решению.

В этом примере и в задачах 1...5 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.

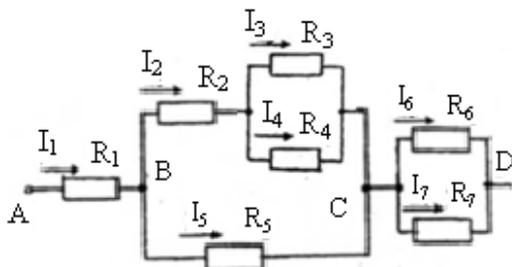


Рисунок 5 - Электрическая схема

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.

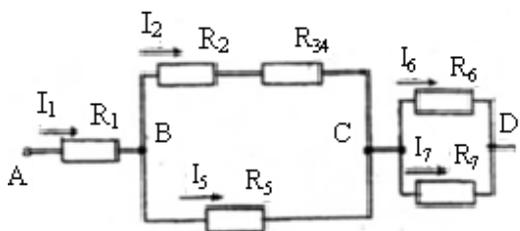


Рисунок 6 - Электрическая схема

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: $R_{2-4} = R_2 + R_{34} = 20 + 40 = 60$ Ом. Соответствующая схема приведена на рис. 7

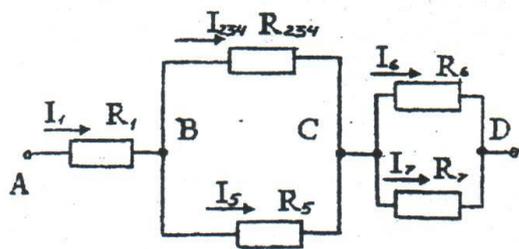


Рисунок 7 - Электрическая схема

3. Резисторы R_{2-4} 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.

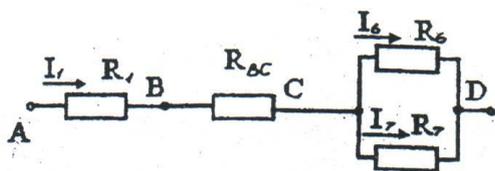


Рисунок 8 - Электрическая схема

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.

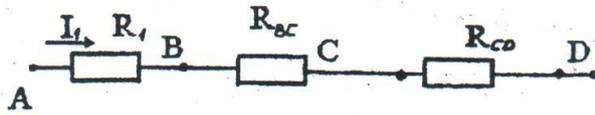


Рисунок 9 - Электрическая схема

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

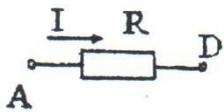


Рисунок 10 - Электрическая схема

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

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

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

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

$$U_{AB} = U_1 = I \cdot R_1 = 5 \cdot 14 = 70 \text{ В}$$

$$U_{BC} = I \cdot R_{BC} = 5 \cdot 24 = 120 \text{ В}$$

$$U_{CD} = I \cdot R_{CD} = 5 \cdot 12 = 60 \text{ В}$$

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_5 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:

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

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

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

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: $I = I_1 = I_{2-4} + I_5 = 2 + 3 = 5A$ и $I = I_1 = I_6 + I_7 = 4 + 1 = 5A$

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

11. Для определения токов резисторов R_3 и R_4 предварительно найдем напряжение на резисторе R_{34} (рисунок 6), которое эквивалентно им $U_{34} = I_{34} \cdot R_{34} = 2 \cdot 40 = 80B$

Так как резисторы R_3 и R_4 на реальной схеме (см. рисунок 5) соединены параллельно

и $U_{34} = U_3 = U_4 = 80B$, то: $I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{80}{50} = 1.6A$; $I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{80}{200} = 0.4A$

Проверка: $I_2 = I_3 + I_4 = 1.6 + 0.4 = 2A$ (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 $U_2 = I_2 \times R_2 = 2 \cdot 20 = 40 B$ 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 $U_2 = U_{BC} - U_{34} = 120 - 80 = 40 B$. Переходим к определению мощности, потребляемой цепью и каждым резистором в отдельности.

13. Мощность, потребляемая цепью $P = U \times I = 250 \times 5 = 1250Bm$

Мощности, потребляемые каждым резистором

$$P_1 = U_1 \times I_1 = 70 \times 5 = 350 Bm \quad P_2 = U_2 \times I_2 = 40 \times 2 = 80 Bm$$

$$P_3 = U_3 \times I_3 = 80 \times 1.6 = 128 Bm \quad P_4 = U_4 \times I_4 = 80 \times 0.4 = 32 Bm$$

$$P_5 = U_5 \times I_5 = 120 \times 3 = 360 Bm \quad P_6 = U_6 \times I_6 = 60 \times 4 = 240 Bm$$

$$P_7 = U_7 \times I_7 = 60 \times 1 = 60 Bm$$

14 Проверим правильность решения задачи на основании баланса мощностей, а это значит, что $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7$

$$1250 = 350 + 80 + 128 + 32 + 360 + 240 + 60$$

$$1250 Bm = 1250 Bm$$

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:

$$I = \frac{U}{R_{экв}} = \frac{250}{50} = 5A$$

б) Ток, потребляемый цепью, ;

Методические указания к решению задач 6...10

Эти задачи относятся к теме "Однофазные электрические цепи переменного синусоидального тока". 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° , U_C — отстает от тока на 90° .

Результирующее напряжение U представляет геометрическую сумму напряжений U_R , U_L и U_C . На рисунке 11 представлена векторная диаграмма этих напряжений.

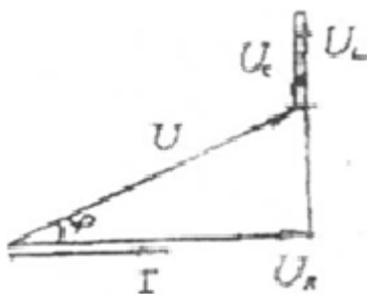


Рисунок 11 - Векторная диаграмма

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.11) разделить на ток I , то получится фигура, подобная векторной диаграмме, которая будет называться треугольником сопротивлений (рис 12) т.к.

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

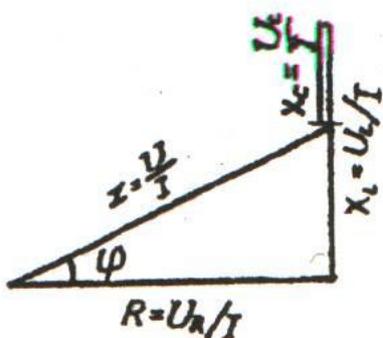


Рисунок 12 - Диаграмма сопротивлений

Из треугольника сопротивлений следует, что

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

Если каждое из напряжений на векторной диаграмме (рис. 11) умножить на ток I , то получится фигура, подобная векторной диаграмме, которая будет называться треугольником мощностей (рис 13), т. к. $P = U_R \cdot I$; $Q_L = U_L \cdot I$;

$$Q_C = U_C \cdot I$$

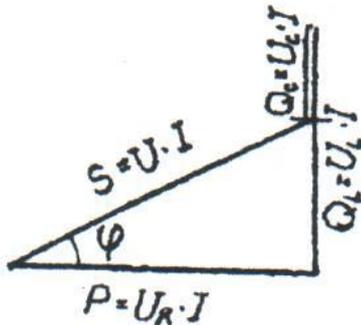


Рисунок 13 - Диаграмма мощностей

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 13) 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. 11), треугольник сопротивлений (рисунок 4), треугольник мощностей (рис. 13), 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 φ . $\cos \varphi = P/S$ - 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.

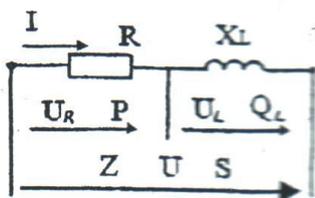


Рисунок 14 - Электрическая схема

На рисунке 6 изображена цепь с последовательным соединением R и X_L , элемент X_C отсутствует, поэтому $U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$; $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$;

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

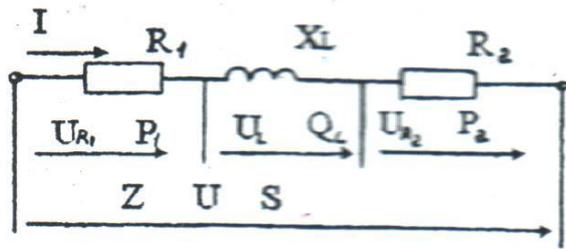


Рисунок 15 - Электрическая схема

$$U = \sqrt{(U_{R1} + U_{R2})^2 + U_L^2}; \quad Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + X_L^2}; \quad S = \sqrt{(P_1 + P_2)^2 + Q_L^2};$$

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

Векторная диаграмма, треугольник сопротивлений и треугольник мощностей будут иметь вид, изображенный на рисунке 16

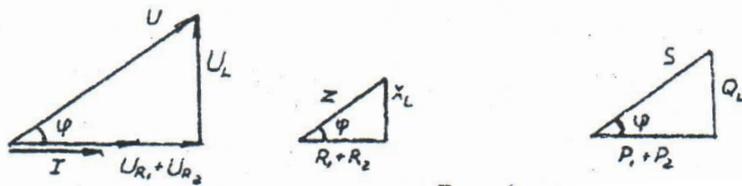


Рисунок 16 - Векторная диаграмма

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

Пример 2

На рисунке 17 в однофазную электрическую цепь переменного синусоидального тока напряжением $U=50\text{В}$ включены активные $R_1=9\text{Ом}$ и $R_2=11\text{Ом}$ и реактивные элементы, обладающие сопротивлениями $X_L=12\text{Ом}$, $X_C=27\text{Ом}$.

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.

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

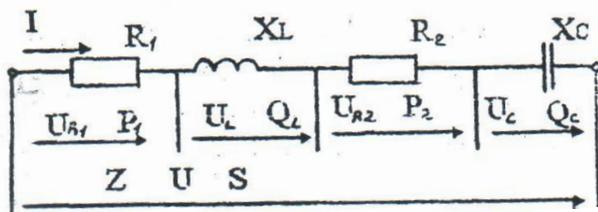


Рисунок 17 - Электрическая схема

Решение

1. Определяем полное сопротивление цепи

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

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

2. Определяем ток цепи

3. Определяем падение напряжения:

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

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

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

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

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

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

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

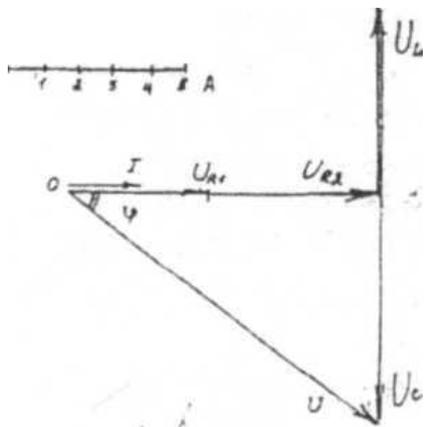
7. Определяем полную мощность цепи $S = I \cdot U = 2 \cdot 50 = 100VA$

8. Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для тока и напряжения. Задаем масштаб по току и по напряжению $m_I = 1A/cm$; $m_U = 10V/cm$

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. 18).

Порядок построения

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



$$l_I = \frac{I}{m_I} = \frac{2}{1} = 2cm$$

Рисунок 18 - Векторная диаграмма

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

Цепь с параллельным соединением электроприемников, содержащих 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. 19)

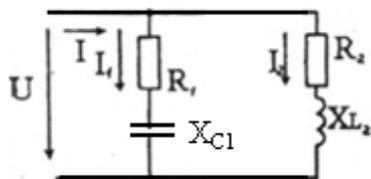


Рисунок 19 - Параллельное соединение реальной индуктивной катушки и реального конденсатора

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

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

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 φ_1 и φ_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. 20 представлена векторная диаграмма этих токов.

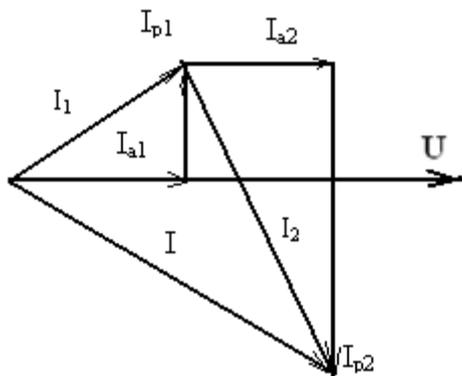


Рисунок 20 – Векторная диаграмма токов

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

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 φ между общим током и напряжением можно определить из вы-

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

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

Пример 3

В электрической цепи (рис. 21) к источнику однофазного переменного синусоидального тока напряжением $U=540$ В подключена катушка, обладающая активным $R_1=28,8$ Ом и индуктивным сопротивлениями $X_L=21,6$ 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 φ (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.

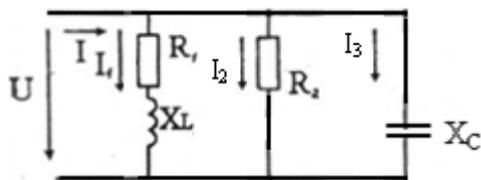


Рисунок 21 – Электрическая схема

Решение

$$1 \text{ Полное сопротивление первой ветви } Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_L^2} = \sqrt{28,8^2 + 21,6^2} = 36 \text{ Ом}$$

Косинус и синус угла сдвига фаз φ_1 между напряжением и током второй ветви

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{28,8}{36} = 0,8. \quad \sin \varphi_1 = \frac{X_L}{Z_1} = \frac{21,6}{36} = 0,6$$

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

Ток второй ветви

Активная и реактивная составляющие тока второй ветви

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

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

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

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:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 540 \cdot 30 \cdot 0,8 = 12960 \text{ Вт} \quad Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 540 \cdot 30 \cdot (-0,6) = -972 \text{ ВАр}$$

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

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.22.

8 Измеряем вектор суммарного тока $l_I = 6 \text{ см}$, тогда $I = l_I \cdot m_I = 7,1 \cdot 0,28 = 2 \text{ А}$ и убеждаемся в том, что с учетом масштаба его величина равна току, определенному математическим путём.

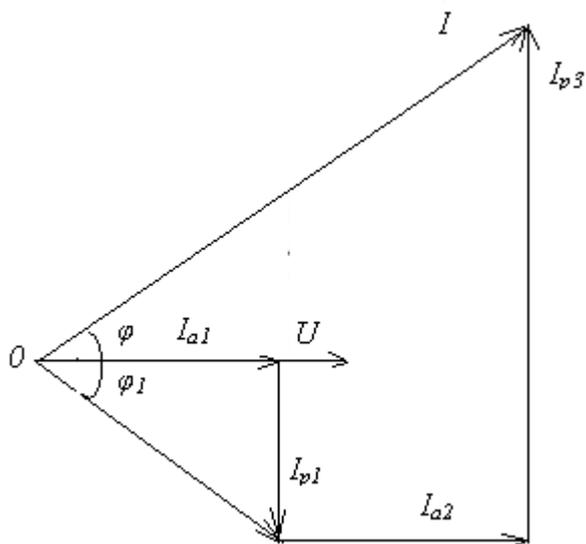


Рисунок 22 – Векторная диаграмма токов

Методические указания к решению задачи 11 15

Эти задачи относятся к трехфазным электрическим цепям переменного синусоидального тока

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_ϕ

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_ϕ . 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. 23) 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 .

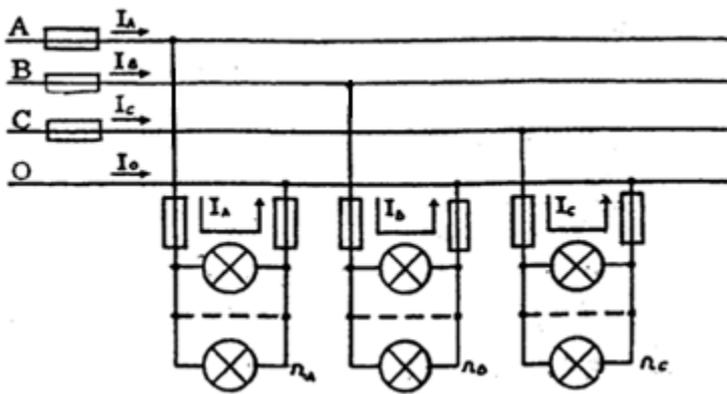


Рисунок 23 – Электрическая схема

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

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

5. Мощности, потребляемые каждой фазой.

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

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

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

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

6. Фазные токи

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

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

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

7. Мощность, потребляемая цепью,

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

8. Векторная диаграмма напряжений и токов (рис. 24).

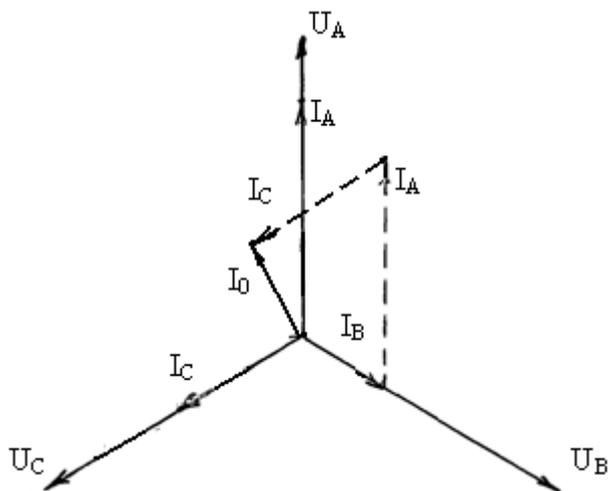
Порядок построения

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°

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 24 – Векторная диаграмма

Геометрически складываем токи $\vec{I}_A, \vec{I}_B, \vec{I}_C$ и получаем ток в нулевом проводе:

$\vec{I}_0 = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$ На диаграмме к концу вектора \vec{I}_B путем параллельного переноса пристроен вектор \vec{I}_A , к концу вектора \vec{I}_A , пристроен путем параллельного переноса вектор \vec{I}_C . Точка 0 соединена с концом вектора \vec{I}_C - это и есть ток в нулевом проводе \vec{I}_0 . Величина токов в нулевом проводе $I_0 = \ell_{I_0} \cdot M_I = 1.8 \cdot 10 = 18 \text{ А}$

Т.е. ток в нулевом проводе определен графически.

Пример 5

В трехпроводную сеть трехфазного тока (рис. 25) с линейным напряжением $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$, 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.

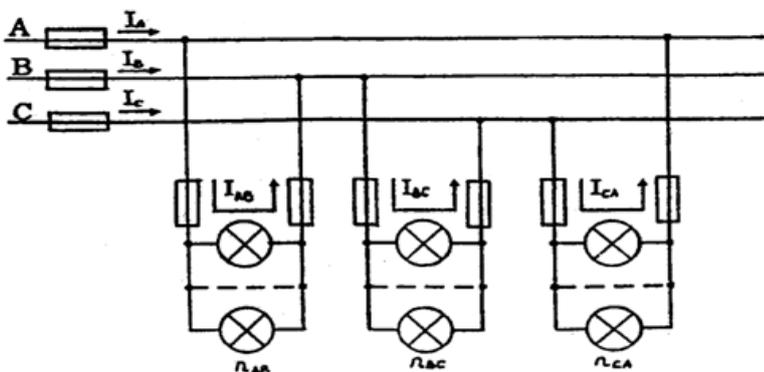


Рисунок 25 – Электрическая схема

Решение

1. По условию задачи $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 220 \text{ В}$. При соединении "треугольником" линейное напряжение равно фазному, поэтому $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$.
2. Все лампы цепи включены на фазное напряжение, поэтому

$$U_{\text{л}} = U_{\phi} = 220 \text{ В}$$

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

4. Фазные токи

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

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

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

5. Мощность лампы

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

6. Мощности, потребляемые фазами (они активные).

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

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

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

7. Мощность, потребляемая цепью,

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

9. Векторная диаграмма напряжений и токов (рис. 26).

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°

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

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:

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

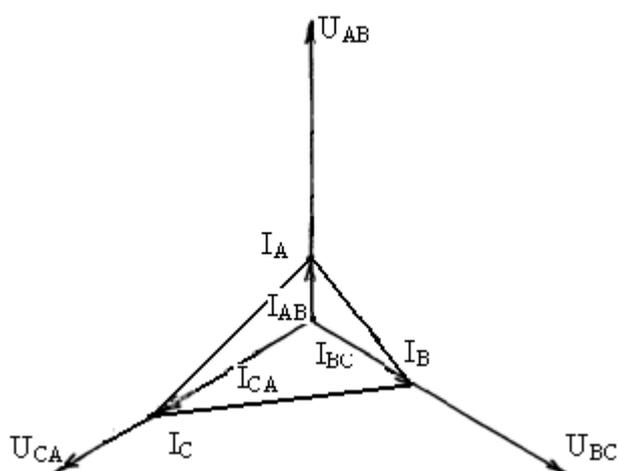


Рисунок 26 – Векторная диаграмма

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

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

$$I_B = M_I \cdot I_{IB} = 10 \cdot 2,6 = 26 \text{ A}$$

$$I_C = M_I \cdot I_{IC} = 10 \cdot 4,4 = 44 \text{ A}$$

Методические указания к решению задачи 16 17

Эти задачи относятся к теме «Трансформаторы». Для их решения необходимо знать устройство, принцип действия, основные соотношения между электрическими величинами для однофазных и трехфазных трансформаторов.

Каждый трансформатор рассчитывается на номинальный режим работы, который соответствует загрузке 100 %. Величины, относящиеся к этому режиму, называются номинальными и указываются в паспорте и на специальной табличке на корпусе трансформатора. К таким величинам относятся:

$S_{ном}$ — номинальная мощность - это полная мощность, которую трансформатор, установленный на открытом воздухе, может непрерывно отдавать в течение всего срока службы (20-25 лет) при номинальном напряжении и при максимальной и среднегодовой температуре окружающего воздуха, равных соответственно 40 и 5°C.

$U_{1ном}$ - номинальное напряжение, на которое рассчитана первичная обмотка трансформатора.

$U_{2ном}$ - номинальное напряжение на вторичной обмотке трансформатора, это напряжение на выводах вторичной обмотки при холостом ходе и номинальном первичном напряжении, (у трехфазных трансформаторов $U_{1ном}$ и $U_{2ном}$ - линейные напряжения).

$I_{1ном}$, $I_{2ном}$ - первичный и вторичный токи. Это токи полученные по номинальной мощности и номинальным напряжениям (у трехфазных трансформаторов $I_{1ном}$ и $I_{2ном}$ -линейные токи).

Определение номинальных токов для однофазного трансформатора

$$I_{1ном} = \frac{S_{ном}}{U_{1ном}}; \quad I_{2ном} = \frac{S_{ном}}{U_{2ном}}$$

Для трехфазного трансформатора

$$I_{1ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{1ном}}; \quad I_{2ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{2ном}};$$

Трансформатор обычно работает с нагрузкой меньше номинальной, определяемой коэффициентом нагрузки $K_{нг}$. Если трансформатор с $S_{ном} = 400$ кВА отдает мощность $S_2 = 320$ кВА, то $K_{нг} = S_2 / S_{ном} = 320/400 = 0,8$.

Значения отдаваемых трансформатором активной и реактивной мощностей зависят от коэффициента мощности потребителя $\cos\varphi_2$ например, при $S_{ном} = 400$ кВ А, $K_{нг} = 0,8$ и $\cos\varphi_2 = 0,85$ отдаваемая активная и реактивная мощности составят

$$P_2 = K_{нг} \cdot S_{ном} \cdot \cos\varphi_2 = 0,8 \cdot 400 \cdot 0,85 = 272 \text{ кВт},$$

$$Q_2 = K_{нг} \cdot S_{ном} \cdot \sin\varphi_2 = 0,8 \cdot 400 \cdot 0,53 = 169 \text{ кВАр}.$$

В трехфазных трансформаторах отношение линейных напряжений называют линейным коэффициентом трансформации, который равен отношению чисел витков обмоток, если они имеют одинаковые схемы соединения (Y/Y и Δ/Δ). При других схемах коэффициент трансформации находят по формулам:

$$K = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}} = \frac{W_1}{\sqrt{3} \cdot W_2} \quad \text{при соединении } \Delta/Y; \quad K = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}} = \frac{\sqrt{3} \cdot W_1}{W_2} \quad \text{при соединении } Y/\Delta$$

Пример 6

К электрической сети напряжением 220В необходимо подключить через понижающий однофазный трансформатор 5 ламп накаливания мощностью по 60 Вт каждая, рассчитанные на пониженное напряжение 24В. Коэффициент мощности ламп $\cos\varphi=1$. Используя таблицу 6, подобрать необходимый для работы трансформатор. Определить рабочие и номинальные токи обмоток трансформатора, коэффициент трансформации и коэффициент нагрузки. Потерями в трансформаторе пренебречь. Схема подключения ламп к трансформатору изображена на рисунке 27

Таблица 4 - Технические данные трансформаторов серии ОСМ

Тип трансформатора	Номинальная мощность S, кВА	Номинальное напряжение		Ток холостого хода I ₀ , %	Напряжение короткого замыкания U _к , %
		первичное U _{1ном} , В	вторичное U _{2ном} , В		
ОСМ - 0,063	0,063	220, 360, 660	12, 24, 36, 42, 110, 220	24	12,0
ОСМ -0,100	0,100			24	9,0
ОСМ -0,160	0,160			23	7,0
ОСМ -0,250	0,250			22	5,5
ОСМ -0,400	0,400			20	4,5

Примечание:

1. ОСМ - 0,25 - трансформатор однофазный, сухой, многоцелевого назначения, номинальная мощность 0,250 кВ А. Номинальное первичное напряжение может быть 220, 380 или 660 В. Номинальное вторичное напряжение может быть 12, 24, 36, 42, 110 или 220 В.

2. Возможно сочетание любого первичного напряжения с любым вторичным.

Решение

1. Активная мощность, отдаваемая трансформатором нагрузке (лампам накаливания):

$$P_2 = P_{\text{лампы}} n_{\text{ламп}} = 60 \cdot 5 = 300 \text{ Вт}$$

2. Так как нагрузка на трансформатор чисто активная ($\cos\varphi_2=1$), то поэтому полная мощность трансформатора должна быть не менее

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos\varphi_2} = \frac{300}{1} = 300 \text{ ВА}$$

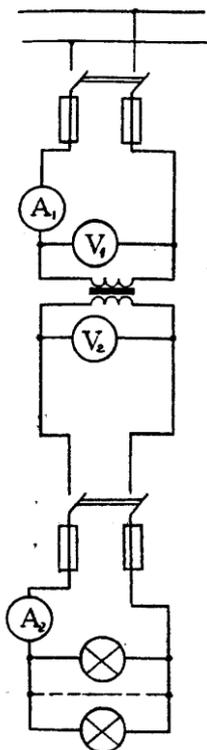


Рисунок 27 - Схема подключения ламп к трансформатору

Пользуясь таблицей 4 выбираем трансформатор ОСМ-0,4, с номинальной мощностью 400ВА. Его технические данные:

Номинальная мощность $S_{ном} = 400\text{ВА}$

Номинальное первичное напряжение трансформатора $U_{1ном} = 220\text{В}$.

Номинальное вторичное напряжение $U_{2ном} = 24\text{В}$.

Ток холостого хода $I_0 = 20\%$ от $I_{1ном}$

Напряжение короткого замыкания $U_k = 4,5\%$ от $U_{1ном}$

3. Так как потерями в трансформаторе пренебрегаем, то коэффициент трансформатора: $K = U_{1ном}/U_{2ном} = 220/24 = 9,17$

4. Номинальный ток в первичной, обмотке трансформатора

$$I_{1ном} = S_{ном} / U_{1ном} = 400/220 = 1,82 \text{ А},$$

номинальный ток во вторичной обмотке трансформатора

$$I_{2ном} = S_{ном} / U_{2ном} = 400/24 = 16,7 \text{ А}$$

5. Коэффициент нагрузки: $K_{нз} = S_2/S_{ном} = \frac{S_2}{S_{ном}} = \frac{P_2}{S_{ном} \cdot \cos \varphi_2} = \frac{300}{400 \cdot 1} = 0,75$

6. Рабочие токи в обмотках трансформатора при фактической нагрузке в первичной обмотке: $I_1 = K_{нз} \times I_{1ном} = 0,75 \times 1,82 = 1,36 \text{ А}$,

во вторичной обмотке: $I_2 = K_{нз} \times I_{2ном} = 0,75 \times 16,7 = 12,5 \text{ А}$.

Пример 7

Трехфазный трансформатор имеет следующие данные: $S_{ном} = 100 \text{ кВА}$ - номинальная мощность, $U_{1ном} = 660 \text{ В}$ - номинальное напряжение на зажимах первичных обмоток, $U_{2ном} = 230 \text{ В}$ - номинальное напряжение на зажимах вторичных обмоток, $P_{ст} = 500 \text{ Вт}$ - потери мощности в стали трансформатора, $P_{о. ном} = 1500 \text{ Вт}$ — потери мощности в обмотках при номинальном токе в них.

Первичные и вторичные обмотки трансформатора соединены в звезду. От трансформатора потребляется активная мощность $P_2 = 60 \text{ кВт}$ при коэффициенте мощности $\cos \varphi = 0,8$.

K — линейный коэффициент трансформации;

$I_{1ном}, I_{2ном}$ — номинальные токи в первичных и вторичных обмотках трансформатора;

$K_{нз}$ — коэффициент нагрузки;

I_1, I_2 — токи в первичных и вторичных обмотках трансформатора при фактической нагрузке;

$\Sigma P_{ном}$ — суммарные потери мощности при номинальной нагрузке трансформатора;

ΣP — суммарные потери мощности при фактической нагрузке трансформатора;

$\eta_{ном}$ — коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке трансформатора;

η — коэффициент полезного действия при фактической нагрузке трансформатора

Решение

1. Линейный коэффициент трансформации

$$K = U_{1ном}/U_{2ном} = 660/230 = 2,87.$$

2. Номинальные токи в обмотках трансформатора

- в первичных обмотках $I_{1ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{1ном}} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 660} = 87,5 \text{ А}$

- во вторичных обмотках $I_{2ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{2ном}} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 230} = 251 \text{ A}$

3. Коэффициент нагрузки: $K_{нз} = \frac{P_2}{S_{ном} \cdot \cos \varphi_2} = \frac{60}{100 \times 0.8} = 0.75$

4. Токи в обмотках трансформатора при фактической нагрузке:

- в первичных обмотках $I_1 = K_{нз} \cdot I_{1ном} = 0.75 \times 87.5 = 65.6 \text{ A}$.

- во вторичных обмотках $I_2 = K_{нз} \cdot I_{2ном} = 0.75 \times 251 = 188 \text{ A}$.

5. Суммарные потери мощности при номинальной нагрузке трансформатора

$$\sum P_{ном} = P_{ст} + P_{о.ном} = 500 + 1500 = 2000 \text{ Вт.}$$

6. Суммарные потери мощности при фактической нагрузке трансформатора

$$\sum P = P_{ст} + K_{нз}^2 \times P_{о.ном} = 500 + 0.75^2 \times 1500 = 1344 \text{ Вт,}$$

7. Коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке трансформатора:

$$\eta_{ном} = \frac{P_2 \cdot 100\%}{P_2 + \sum P_{ном}} = \frac{S_{ном} \cdot \cos \varphi_2 \cdot 100\%}{S_{ном} \cdot \cos \varphi_2 + P_{ст} + P_{о.ном}} = \frac{100 \cdot 0.8 \cdot 100\%}{100 \cdot 0.8 + 0.5 + 1.5} = 97.56\%$$

8. Коэффициент полезного действия при фактической нагрузке трансформатора

$$\eta = \frac{P_2 \cdot 100\%}{P_2 + \sum P_{ном}} = \frac{K_{нз} \cdot S_{ном} \cdot \cos \varphi_2 \cdot 100\%}{K_{нз} \cdot S_{ном} \cdot \cos \varphi_2 + P_{ст} + K_{нз}^2 \cdot P_{о.ном}} = \frac{0.75 \cdot 100 \cdot 0.8 \cdot 100\%}{0.75 \cdot 100 \cdot 0.8 + 0.5 + 0.75^2 \cdot 1.5} = 97.8\%$$

Методические указания к решению задач 18,19

Эти задачи относятся 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.

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

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

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

Пример 8

На рис.28 представлена схема генератора постоянного тока с параллельным возбуждением, работающего в режиме номинальной нагрузки. Его технические данные: $P_{ном} = 16000 \text{ Вт}$ - номинальная мощность; $U_{ном} = 230 \text{ В}$ - номинальное напряжение; $R_{я} = 0,13 \text{ Ом}$ - сопротивление якоря; $R_{\epsilon} = 164 \text{ Ом}$ - сопротивление возбуждения; $\eta = 90,1\%$ - номинальный коэффициент полезного действия.

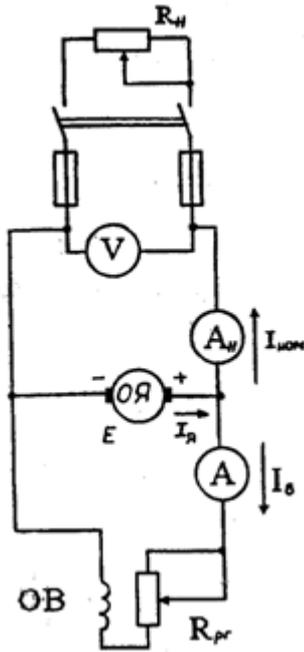


Рисунок 28 - Схема генератора постоянного тока с параллельным возбуждением

Определить:

$I_{ном}$ - номинальный ток нагрузки;

I_{ϵ} - ток возбуждения

$I_{я}$ - ток якоря генератора;

$P_{я}$ - потери мощности в якоре;

P_{ϵ} - потери мощности в обмотке возбуждения;

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

$P_{доб}$ - добавочные потери мощности;

P_x - потери холостого хода.

Решение

$$1. \text{ Ток нагрузки } I_{ном} = \frac{P_{ном}}{U_{ном}} = \frac{16000}{230} = 69,6 \text{ А}$$

$$2. \text{ Ток возбуждения } I_{\epsilon} = \frac{U_{ном}}{R_{\epsilon}} = \frac{230}{164} = 1,4 \text{ А}$$

$$3. \text{ Ток якоря } I_{я} = I_{ном} + I_{\epsilon} = 69,6 + 1,4 = 71 \text{ А}$$

$$4. \text{ Потери мощности в обмотке якоря } P_{я} = I_{я}^2 \cdot R_{я} = 71^2 \cdot 0,13 = 655 \text{ Вт}$$

$$5. \text{ Потери мощности в обмотке возбуждения } P_{\epsilon} = I_{\epsilon}^2 \cdot R_{\epsilon} = 1,4^2 \cdot 164 = 321 \text{ Вт}$$

$$6. \text{ Потери мощности в щеточном контакте } P_{щ} = \Delta U_{щ} \cdot I_{я} = 2 \cdot 71 = 142 \text{ Вт}$$

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

8. Мощность, потребляемая генератором от первичного двигателя

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

9. Суммарные потери мощности в генераторе

$$\sum P = P_1 - P_{ном} = 17758 - 16000 = 1758 \text{ Вт}$$

10. Потери холостого хода

$$P_x = \sum P - (P_{\text{я}} + P_{\text{с}} + P_{\text{ш}} + P_{\text{доб}}) = 1758 - (655 + 321 + 142 + 160) = 480 \text{ Вт}$$

Пример 9

На рис.29 представлена схема двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением, работающего в номинальном режиме. Двигатель рассчитан на номинальную мощность на валу $P_{2\text{ном}} = 2000 \text{ Вт}$. Номинальное напряжение, подведенное к двигателю $U_{\text{ном}} = 27 \text{ В}$. Частота вращения якоря $n_{\text{ном}} = 8000 \text{ об/мин}$. Двигатель потребляет из сети ток $I_{\text{ном}} = 100 \text{ А}$. Сопротивление обмотки якоря, добавочных полюсов и последовательной обмотки возбуждения $\sum R = R_{\text{я}} + R_{\text{оп}} + R_{\text{с}} = 0,01433 \text{ Ом}$. Сопротивление параллельной обмотки возбуждения $R_{\text{ш}} = 6,75 \text{ Ом}$

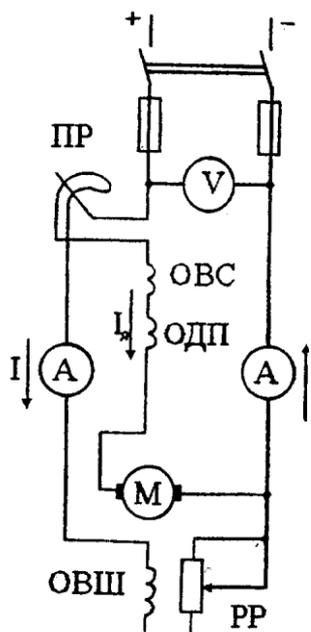


Рисунок 29 - Схема двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением

ПР - пусковой реостат.

РР - регулировочный реостат.

ОВШ - параллельная (шунтовая) обмотка возбуждения.

ОДС - последовательная (серийная) обмотка возбуждения.

ОП — обмотка добавочных полюсов.

Определить:

P_1 - потребляемую из сети мощность;

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

M - полезный вращающийся момент;

$I_{\text{я}}$ - ток якоря;

E - противо-ЭДС в обмотке якоря;

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

$P_{\text{э}}$ - электрические потери мощности;

$P_{\text{доб}}$ - добавочные потери мощности;

P_x - потери холостого хода

Решение

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

2. Номинальный коэффициент полезного действия двигателя:

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

3. Полезный вращающийся момент на валу двигателя

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

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

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

6. Против-ЭДС в обмотке якоря

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

где $\Delta U_{щ} = 2B$ - 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

$$P_{э} = P_{я} + P_{дп} + P_{щ} + P_{ш} + P_{с} = 158 + 42 + 6,88 + 16,42 + 96,8 = 320,1 \text{ Вт}$$

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

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

$P_{с} = I_{я}^2 \cdot R_{с}$ - 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.

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

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: $P_x = \Sigma P - (P_{э} + P_{доб}) = 700 - (433 + 20) = 247 \text{ Вт}$

Методические указания к решению задачи 20

Эта задача относится к теме "Электрические машины переменного тока". Для ее решения надо знать принцип действия асинхронного двигателя и зависимости между электрическими величинами, характеризующими его работу.

Трехфазный ток, протекающий по обмотке статора двигателя создает вращающееся магнитное поле, частота вращения которого зависит от числа пар полюсов и частоты тока f_1 , в статоре, $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$

Возможные частоты вращения магнитного поля статора при частоте тока f_1 и различном числе пар полюсов приведены в таблице 5

Таблица 5- Возможные частоты вращения магнитного поля статора при частоте тока $f_1 = 50$ Гц и различном числе пар полюсов

p (число пар полюсов)	1	2	3	4	5	6
n_1 , об/мин	3000	1500	1000	750	600	500

Частота вращения ротора n_2 всегда меньше частоты вращения магнитного поля статора. Это отставание характеризуется скольжением S , равным $S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$

При работе двигателя под нагрузкой скольжение составляет несколько процентов, в момент пуска - 100 %.

Полезный вращающий момент на валу двигателя определяется по формуле

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

где: $P_2, Вт$ - полезная механическая мощность;
 $n_2, об/мин.$ - частота вращения вала ротора двигателя.

В настоящее время промышленность выпускает асинхронные двигатели серии 4А мощностью от 0,06 до 400 кВт.

Обозначение типа двигателя расшифровывается так:

- 4 - порядковый номер;
- А - наименование вида двигателя - асинхронный;
- Н - обозначение двигателя защищенного исполнения; отсутствие знака означает закрытое обдуваемое исполнение;
- А - станина и щиты из алюминия; Х - станина алюминиевая, щиты чугунные; отсутствие знаков означает, что станина и щиты чугунные или стальные;
- 50... 355 - высота оси вращения;
- S, L, M - установочные размеры по длине станины (S - самая короткая станина; M - промежуточная; L - самая длинная);
- 2,4,6,8, 10,12 - число полюсов;
- У - климатическое исполнение двигателя (для умеренного климата);
- 3 - категория размещения (3 — для закрытых неотапливаемых помещений; I - для работы на открытом воздухе).

Пример 10

Расшифровать условное обозначение двигателя типа 4АН200М4УЗ. Это двигатель четвертой серии, асинхронный, защищенного исполнения, станина и щиты из чугуна, с высотой оси вращения 200 мм, с установочным размером М по длине станины (промежуточный), четырехполюсный, для районов умеренного климата, третья категория размещения.

Пример 11

Расшифровать условное обозначение двигателя типа 4А100L8УЗ. Это двигатель четвертой серии, асинхронный, закрытый обдуваемого исполнения, станина и щиты из чугуна, с высотой оси вращения 100 мм, с установочным размером L по длине станины (самая длинная станина), восьмиполюсный, для районов умеренного климата, третья категория размещения.

Пример 12

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором изготовлен на номинальное напряжение 220/380В. Двигатель подключен к сети с напряжением $U_{1ном} = 380В$, нагрузка на его валу номинальная. Известны величины:

- $I_{1ном} = 9,15 А$ - номинальный ток, потребляемый двигателем из сети;

- $\eta_{ном} = 82\%$ - номинальный коэффициент полезного действия;

- $\cos \varphi = 0,81$ - номинальный коэффициент мощности;

- $S_{ном} = 5\%$ - номинальное скольжение;

- $p = 3$ — число пар полюсов;

- $f_1 = 50 Гц$ - частота тока сети;

$$K_M = \frac{M_{max}}{M_{ном}} = 2,5$$

- способность двигателя к перегрузке;

$$K_M = \frac{M_n}{M_{ном}} = 2,5$$

- кратность пускового момента;

$$K_M = \frac{I_{1n}}{I_{ном}} = 2,5$$

- кратность пускового тока.

Определить:

- схему включения обмоток статора двигателя;
- $P_{1ном}$ — мощность, потребляемую двигателем из сети;
- $P_{2ном}$ - номинальную мощность на валу двигателя;
- $\sum P_{ном}$ — суммарные потери мощности в двигателе при номинальном режиме;
- n_1 - частоту вращения магнитного поля статора;
- $n_{2ном}$ - номинальную частоту вращения ротора;
- f_2 - частоту тока в роторе;
- $M_{ном}, M_{пуск}, M_{max}$ - номинальный, пусковой и максимальный моменты на валу двигателя;
- I_{1n} - пусковой ток, потребляемый двигателем из сети.

Подсчитать при номинальной нагрузке на валу величину номинального $I'_{1ном}$ и пускового I'_{1n} тока при напряжении сети $U'_{1ном} = 220 В$. Какова будет схема включения обмоток статора двигателя в этом случае?

Решение

1. Двигатель изготовлен на номинальное напряжение 220/380 В. Это значит, что при подключении к сети с $U_{1ном} = 220 В$ обмотки его статора должны быть соединены по схеме "треугольник"

2. Номинальная мощность, потребляемая двигателем из сети.

$$P_{1ном} = \sqrt{3} I_{1ном} \cdot U_{1ном} \cdot \cos \varphi = 1,73 \cdot 9,15 \cdot 380 \cdot 0,81 = 4878 Вт$$

3. Номинальная мощность на валу двигателя: $P_{2ном} = P_{1ном} \cdot \eta_{ном} = 4878 \cdot 0,82 = 4000 Вт$

4. Суммарные потери мощности в двигателе при номинальном режиме работы:

$$\sum P = P_{1ном} - P_{2ном} = 4878 - 4000 = 878 Вт$$

5. Частота вращения магнитного поля статора: $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 об / мин$

6. Частота вращения ротора при номинальном режиме работе:

$$n_{2ном} = n_1 (1 - S_{ном}) = 1000 (1 - 0,05) = 950 об / мин$$

7. Частота тока в роторе: $f_2 = f_1 \cdot S_{ном} = 50 \cdot 0,05 = 2,5 Гц$

8. Номинальный момент на валу двигателя: $M_{ном} = \frac{60 \cdot P_{2ном}}{2\pi \cdot n_{ном}} = \frac{60 \cdot 4000}{2 \cdot 3,14 \cdot 950} = 40,2 Н \cdot м$

9. Пусковой момент на валу двигателя: $M_n = K_n \cdot M_{ном} = 2 \cdot 40,2 = 80,4 Н \cdot м$.

10. Максимальный момент на валу двигателя:

$$M_{max} = K_M \cdot M_{ном} = 2,5 \cdot 40,2 = 100,5 Н \cdot м.$$

11. Пусковой ток двигателя: $I_{1n} = K_I \cdot I_{1ном} = 6 \cdot 9,15 = 54,9 А$.

12. При номинальном напряжении сети $U'_{1ном} = 220 В$ обмотки двигателя для работы в номинальном режиме работы должны быть соединены по схеме "треугольник". В этом случае номинальный ток будет: $I'_{1ном} = \frac{P_{1ном}}{\sqrt{3} \cdot U'_{1ном} \cdot \cos\varphi_{1ном}} = \frac{4878}{1,73 \cdot 220 \cdot 0,81} = 15,8 А$

13. Значение пускового тока: $I'_{1п} = K_I \cdot I'_{1ном} = 6 \cdot 15,8 = 94,8 А$.

Можно заметить, что токи $I'_{1ном}$ и $I'_{1п}$ возросли по сравнению с токами $I_{1ном}$ и $I_{1п}$ в $\sqrt{3}$ раз, т.к. напряжение, подводимое к двигателю стало в $\sqrt{3}$ раз меньше

Методические указания к решению задачи 21

Перед выполнением задачи следует проработать материал [1], §§ 16-1 -16-5 к теме Полупроводниковые приборы. Приведите таблицу со своим вариантом задания.

Порядок решения задачи

1. Начертите «слепую» структурную схему полупроводникового диода.
2. В соответствующей части диода (слева или справа от $p-n$ перехода в зависимости от варианта) изобразите в виде кружочка заданный носитель заряда с его знаком и направлением перемещения.
3. С учетом заданного носителя заряда укажите проводимость левой к правой областей: p - область - та, для которой дырки являются основными носителями (о.н.), а электроны неосновными носителями (н.н.); n - область- та, для которой дырки являются неосновными носителями (н.н.), а электроны - основными носителями (о.н.).
4. Отметьте, в каком направлении включен $p-n$ переход (в прямом или обратном).
5. Изобразите схему включения диода с использованием его условного изображения
6. Приведите часть вольт-амперной характеристики, соответствующей полученному включению диода для двух разных температур

Пример 13

Перед выполнением задания следует проработать материал темы и методические указания к задаче.

Приведите таблицу с вариантом задания.

Номер варианта	Тип носителей	Знак перемещающихся носителей заряда	Направление перемещения
Z	н.н.	-	слева направо

Изобразите $p-n$ переход. Над изображением перехода сделайте запись "о.н." или "н.н.", в зависимости от условия своего варианта. Нанесите заданный носитель заряда (+ или -) в той части $p-n$ перехода, откуда начинается его движение. Покажите вектором направление перемещения заданных: зарядов, например, $\oplus \rightarrow$

В соответствии с заданием обратите внимание еще раз, какими для области, откуда начинается перемещение, являются изображенные заряды - основными или неосновными. Далее надо указать проводимости левой и правой областей, т.е. где p -, где n - области: p - область та, для которой дырки являются основными носителями (о.н.), а электроны – неосновными (н.н.); n -область - та, в которой электроны о.н., а дырки - н.н.

Теперь укажите полярность подключенного к $p-n$ переходу источника питания. По-

нятно, что дырки, имеющие положительный заряд, будут двигаться в сторону той области, к которой подключен отрицательный полюс источника, а электроны - в область, к которой подключен положительный полюс.

Отметьте теперь на своем рисунке, какое Вы получили включение источника литания: $U_{пр}$ или $U_{обр}$

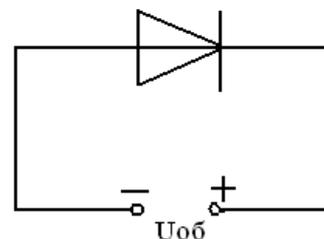
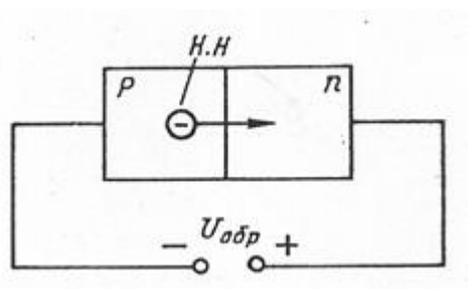


Рисунок 30

Приведите график с изображением той части вольт-амперной характеристики p-n перехода, которая соответствует полученному направлению его включения. Проработав далее материал темы, приведите на том же графике еще одну характеристику для большей температуры.

Текст при решении примера не приведен. Пишите его в соответствии с пунктами 1... 6 методических указаниях к решению задачи 21.

ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задача 1 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 1...5 и пример 1)

На рисунке 30 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.

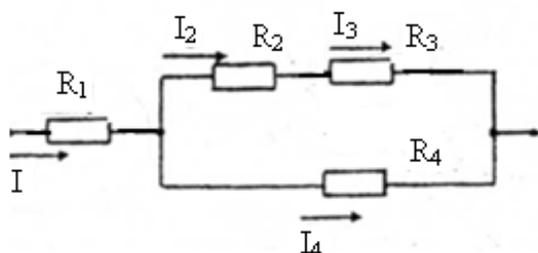


Рисунок 30 - Схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

Таблица 6 - Исходные данные к задаче 1

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U, В$	120	125	150	160	180	200	225	240	270	200
$R_1, Ом$	8	28	6	24	25	16	34	16	10	16
$R_2, Ом$	20	60	110	140	120	25	28	100	40	25
$R_3, Ом$	16	120	100	60	180	35	20	140	20	35
$R_4, Ом$	18	120	15	50	60	40	24	60	30	40

Задача 2 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 1...5 и пример 1)

На рисунке 31 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 7.

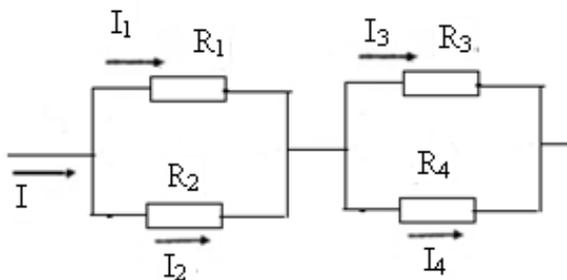


Рисунок 31 - Схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

Таблица 7 - Исходные данные к задаче 2

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U, В$	90	130	156	180	210	234	240	260	360	260
$R_1, Ом$	36	100	30	24	300	24	60	400	40	20

продолжение таблицы 7

$R_2, \text{ Ом}$	18	25	45	12	60	36	40	100	120	30
$R_3, \text{ Ом}$	45	10	300	30	60	240	48	40	100	200
$R_4, \text{ Ом}$	30	15	75	20	30	60	24	60	150	50

Задача 3 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 1...5 и пример 1)

На рисунке 32 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 8.

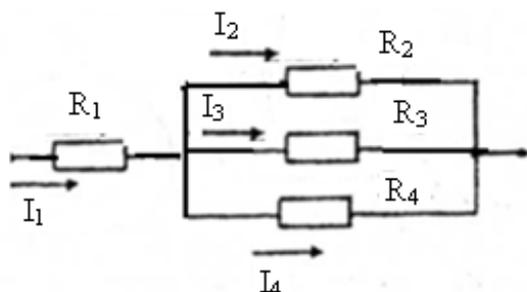


Рисунок 32 - Схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

Таблица 8 - Исходные данные к задаче 3

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U, \text{ В}$	60	90	120	150	165	195	200	220	225	240
$R_1, \text{ Ом}$	3.2	4	8	5.6	2	32	4	20	3	15
$R_2, \text{ Ом}$	12	60	200	40	30	100	25	300	36	10
$R_3, \text{ Ом}$	40	24	50	60	15	150	100	75	30	15
$R_4, \text{ Ом}$	10	240	60	36	40	30	30	40	45	30

Задача 4 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 1...5 и пример 1)

На рисунке 33 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 9.

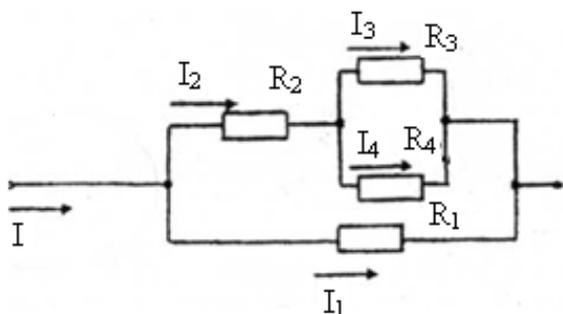


Рисунок 33 - Схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

Таблица 9 - Исходные данные к задаче 4

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U, В	48	75	90	120	180	240	120	180	300	120
R ₁ , Ом	8	10	45	20	15	48	40	20	200	40
R ₂ , Ом	4	12,6	12	24	22	24	48	10	14	20
R ₃ , Ом	10	4	40	10	24	180	30	100	60	50
R ₄ , Ом	40	6	60	15	12	120	20	25	90	200

Задача 5 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 1...5 и пример 1)

На рисунке 34 приведена схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов R₁, R₂, R₃ и R₄ к которым подведено напряжение U. Определить эквивалентное сопротивление R этой цепи, ток I и мощность P, потребляемые цепью, а также токи I₁, I₂, I₃, I₄, напряжения, U₁, U₂, U₃, U₄ и мощности P₁, P₂, P₃, P₄ на каждом из резисторов. Проверить, что P = P₁ + P₂ + P₃ + P₄. Данные для своего варианта взять из таблицы 10.

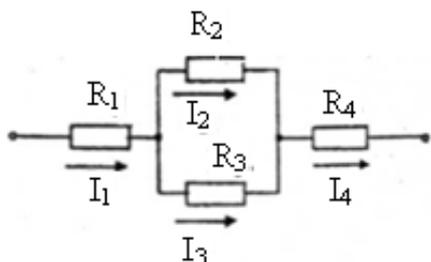


Рисунок 34 - Схема электрической цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

Таблица 10 - Исходные данные к задаче 5

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U, В	90	120	156	220	195	200	120	160	180	100
R ₁ , Ом	8	10	20	12	14	8	10	16	12	3
R ₂ , Ом	40	15	45	40	60	150	24	50	24	20
R ₃ , Ом	60	10	30	60	30	100	48	200	12	30
R ₄ , Ом	4	14	40	8	18	12	14	8	10	5

Задача 6 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 6... 10 и пример 2)

На рис. 35 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; угол сдвига фаз φ между напряжением и током. По результатам расчета построить в масштабе векторную диаграмму напряжений. После построения диаграммы измерить вектор суммарного напряжения и убедиться в том, что с учетом

масштаба его величина равна показаниям вольтметра. Данные для своего варианта взять из таблицы 11.

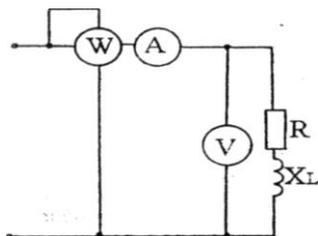


Рисунок 35 – Электрическая схема

Таблица 11 - Исходные данные к задаче 6

Показания приборов	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
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 7 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 6... 10 и пример 2)

На рисунке 36 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 сопротивления; угол сдвига фаз φ 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 12.

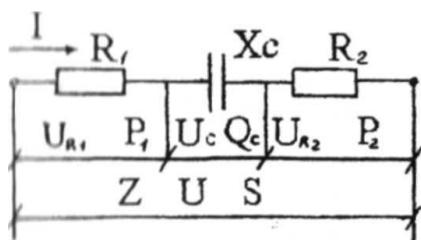


Рисунок 36 – Электрическая схема

Таблица 12 - Исходные данные к задаче 7

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
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 8 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 6... 10 и пример 2)

На рис.37 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 φ 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 13.

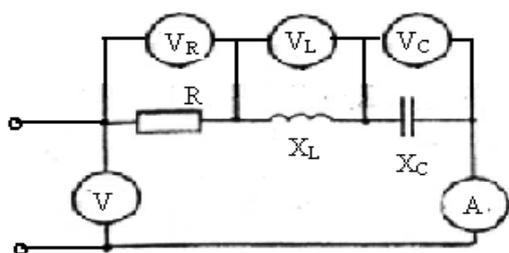


Рисунок 37 – Электрическая схема

Таблица 13 - Исходные данные к задаче 8

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$S, \text{ВА}$	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

Задача 9 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 6... 10 и пример 3).

На рис.38 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} .

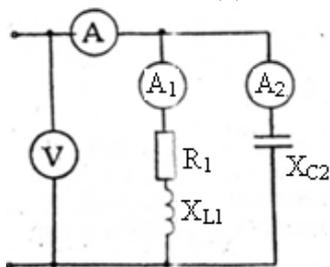


Рисунок 38 – Электрическая схема

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 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 показанию амперметра, включенного в неразветвленную часть цепи.

Данные для своего варианта взять из таблицы 14.

Таблица 14 - Исходные данные к задаче 9

Известная величина	Последняя цифра шифра.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
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 10 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 6... 10 и пример 3).

На рис. 39 приведена схема электрической цепи переменного синусоидального тока с параллельным соединением двух ветвей. В первой параллельной ветви включен потребитель с активным сопротивлением R₁. Во второй параллельной ветви включена катушка, обладающая активным R₂ и индуктивным X_L сопротивлениями. Напряжение, подведенное к зажимам цепи U

Определить: ток I₁ потребителя первой ветви, ток I₂ катушки; ток I, потребляемый цепью; угол сдвига фаз φ /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.

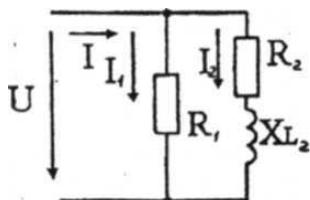


Рисунок 39 – Электрическая схема

Таблица 15 - Исходные данные к задаче 10

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U, В	336	105	252	315	168	189	126	210	315	84
R ₁ , Ом	30	150	12	225	30	45	9	60	45	30
R ₂ , Ом	8,4	42	3,36	63	8,4	12,6	2,52	16,8	12,6	8,4
X _{L2} , Ом	11,2	56	4,48	84	11,2	16,8	3,36	22,4	16,8	11,2

Задача 11 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 11... 15 и пример 4).

В четырехпроводную сеть трехфазного тока (рис. 23) включены по схеме "звезда" три группы ламп накаливания одинаковой мощности. В каждой фазе (группе) лампы соединены параллельно.

Известны:

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

Определить:

- U_{ϕ} (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 16

Таблица 16 - Исходные данные к задаче 11

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_{л}, В$	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220
$P_{лампы}, Вт$	40	100	500	60	200	25	100	40	75	150
$n_A, шт.$	44	42	11	17	66	36	22	54	50	44
$n_B, шт.$	44	42	22	51	22	142	66	108	12	11
$n_C, шт.$	88	14	33	51	44	36	88	54	12	11
$M_I, А/см$	4	11	25	8	20	7	10	8,5	4	13
$M_U, В/см$	44	25,4	55	25,4	55	25,4	44	25,4	44	25,4

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

Задача 12 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 11... 15 и пример 5).

В трехпроводную сеть трехфазного тока (рисунок 25), включены по схеме "треугольник" три группы электрических ламп накаливания одинаковой мощности. В каждой фазе (группе) лампы соединены параллельно.

Известны:

- $U_{л} (U_{AB}; U_{BC}; U_{CA})$ - 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 17

Таблица 17 - Исходные данные к задаче 12

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_{л}, В$	127	220	127	220	127	220	127	220	127	220
$I_{лампы}, А$	0,472	0,909	0,591	0,455	0,118	0,341	0,315	0,1136	0,787	0,682
$n_{AB}, шт.$	19	33	56	77	170	47	127	44	14	88
$n_{BC}, шт.$	74	66	22	33	85	12	108	176	14	44
$n_{CA}, шт.$	36	33	56	33	254	47	86	44	56	132
$M_U, В/см$	25,4	44	25,4	55	25,4	44	25,4	44	25,4	55
$M_I, А/см$	10	15	10	10	10	4	10	5	11	30

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

Задача 13 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 11... 15 и пример 4).

В четырехпроводную сеть трехфазного тока (рис. 23) 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;
- $P_{лампы}$ - 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 18

Таблица 18 - Исходные данные к задаче 13

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_L, В$	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220
$P_A, Вт$	13200	1280	900	5600	15840	900	6600	9900	1980	2800
$P_B, Вт$	26400	3440	3750	2800	15840	3550	4400	3300	2640	5600
$P_C, Вт$	6600	5080	900	5600	3960	900	8800	3300	660	4200
$P_{лампы}, Вт$	150	40	75	400	60	25	100	300	15	200
$M_U, В/см$	44	25,4	44	25,4	44	25,4	44	25,4	44	25,4
$M_I, А/см$	30	10	4	11	18	7	10	26	3	11

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

Задача 14 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 11... 15 и пример 5).

В трехпроводную сеть трехфазного тока (рисунок 25), 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;
- $P_{лампы}$ - ток одной лампы;
- $n_{AB}; n_{BC}; n_{CA}$ - число ламп в каждой фазе (группе);

Определить:

- $I_{AB}; I_{BC}; I_{CA}$ - 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 14

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_{л}, В$	220	127	220	127	220	127	220	127	220	127
$P_{лампы}, Вт$	150	25	60	40	15	100	400	200	40	300
$n_{AB}, шт.$	44	71	55	54	88	28	22	28	154	33
$n_{BC}, шт.$	44	142	55	108	132	42	33	14	77	44
$n_{CA}, шт.$	66	36	220	54	176	28	11	7	154	22
$M_U, В/см$	44	25,4	44	25,4	44	25,4	55	25,4	44	25,4
$M_I, А/см$	10	7	15	8,5	3	11	20	11	7	26

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

Задача 15 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 11... 15 и пример 4).

В четырехпроводную сеть трехфазного тока (рис. 23) включены по схеме "звезда" три группы электрических 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;
- $I_A; I_B; I_C$ - фазные (они же линейные)токи;

Определить:

- $U_{\phi} (U_A; U_B; U_C)$ - фазные напряжения;
- $n_A; n_B; n_C$ - число ламп в каждой фазе (группе).
- $P_A; P_B; P_C$ - 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 тока в нулевом проводе I_0 .

Данные для своего варианта взять из таблицы 20

Таблица 20 - Исходные данные к задаче 15

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_{л}, В$	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380
$P_{лампы}, Вт$	300	150	15	25	400	500	200	40	150	300
$I_A, А$	26	60	13	15	44	25	33	20	13	45
$I_B, А$	78	90	26	5	44	50	44	30	26	30
$I_C, А$	26	120	13	10	22	75	11	10	52	15
$M_U, В/см$	25,4	44	25,4	55	25,4	55	25,4	55	25,4	55
$M_I, А/см$	26	30	6,5	5	11	25	11	10	13	15

Указание: при определении числа ламп, в каждой фазе полученные значения округлите до целой величины

Задача 16 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 16, 17 и пример 6).

Для освещения рабочих мест применили в целях безопасности лампы накаливания одинаковой мощности, рассчитанные на пониженное напряжение. Для их питания установили однофазный понижающий трансформатор. Схема присоединения ламп к трансформатору приведена на рис.40.

Известны:

- $S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора;
- $U_{1ном}, U_{2ном}$ - номинальные напряжения на зажимах первичной и вторичной обмоток трансформатора;
- $P_{лампы}$ - мощность одной лампы;
- $n_{лампы}$ - количество ламп подключенных к трансформатору;

Определить:

- $I_{1ном}, I_{2ном}$ - номинальные токи, на которые рассчитаны первичная и вторичная обмотки трансформатора;
- I_1, I_2 - фактическое значение токов в обмотках трансформатора при заданной нагрузке;
- $K_{нг}$ - коэффициент нагрузки трансформатора;
- K - коэффициент трансформации трансформатора

Данные для своего варианта взять из таблицы 21

Таблица 21 - Исходные данные к задаче 16

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$S_{ном}, \text{ВА}$	400	250	160	100	400	250	160	100	400	250
$U_{1ном}, \text{В}$	220	380	660	220	380	660	220	380	660	220
$U_{2ном}, \text{В}$	36	24	12	24	12	35	12	36	24	12
$P_{лампы}, \text{Вт}$	25	40	15	25	40	60	25	40	60	25
$n_{лампы}, \text{штук}$	12	5	8	3	8	3	5	2	6	8

Указание: при решении задачи потерями в трансформаторе пренебречь. Считать, что лампы рассчитаны на вторичное напряжение трансформатора, а их коэффициент мощности $\cos\varphi = 1$

Задача 17 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 16, 17 и пример 7).

Для трехфазного трансформатора известны:

- тип трансформатора
- $S_{ном}$ - номинальная мощность;
- $U_{1ном}, U_{2ном}$ - номинальные напряжения на зажимах первичных и вторичных обмоток;
- $P_{ст}$ - потери мощности в стали трансформатора;
- $P_{о.ном}$ - потери мощности в обмотках трансформатора при номинальном токе в них.

Первичные и вторичные обмотки соединены в "звезду".

Трансформатор работает с коэффициентом нагрузки $K_{нг}$ и коэффициентом мощности $\cos\varphi_2$

Определить:

- K - линейный коэффициент трансформации;

- $I_{1ном}, I_{2ном}$ - номинальные токи в первичных и вторичных обмотках трансформатора;
- I_1, I_2 - рабочие токи в первичных и вторичных обмотках трансформатора;
- P_2, Q_2 - активную и реактивную мощности, отдаваемые трансформатором
- $\sum P_{ном}$ - суммарные потери мощности при номинальной нагрузке;
- $\sum P$ - суммарные, потери мощности при заданном коэффициенте нагрузки;
- $\eta_{ном}$ - К.П.Д. трансформатора при номинальной нагрузке;
- η - К.П.Д. трансформатора при заданном коэффициенте нагрузки.

Данные для своего варианта взять из таблицы 22

Таблица 22 - Исходные данные к задаче 17

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип трансформатора	ТМ-160	ТСЗ-250	ТМ-400	ТСЗ-630	ТМ-1000	ТСЗ-160	ТМ-250	ТСЗ-400	ТМ-630	ТСЗ-1000
$S_{ном}, \text{ВА}$	160	250	400	630	1000	160	250	400	630	1000
$U_{1ном}, \text{В}$	6	10	10	13,8	35	10	6	10	10	15,75
$U_{2ном}, \text{В}$	0,4	0,23	0,69	0,4	0,4	0,69	0,4	0,69	0,69	0,4
$P_{ст}, \text{кВт}$	0,565	1,00	1,05	2,30	2,75	0,70	0,82	1,30	1,66	3,20
$P_{о.ном}, \text{кВт}$	2,65	3,8	5,5	8,7	12,2	2,7	3,7	5,4	7,6	12,0
$K_{нг}$	0,75	0,84	0,9	0,85	0,75	0,8	0,82	0,75	0,87	0,72
$\cos\varphi_2$	0,9	0,9	0,85	0,803	0,94	0,86	0,927	0,8	0,913	0,85

Задача 18 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 18, 19 и пример 8).

На рис.28 представлена схема генератора постоянного тока с параллельным возбуждением, работающего в режиме номинальной нагрузки, для которого известны:

- $P_{ном}$ - номинальная мощность;
- $U_{ном}$ - номинальное напряжение;
- $R_{я}$ - сопротивление якоря;
- $I_{в}$ - ток возбуждения;
- P_x - 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 $\Delta U_{щ} = 2\text{В}$ 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 23

Таблица 23 - Исходные данные к задаче 18

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_{нрм}, \text{кВт}$	50	70	42	27	35	55	32	42	65	70
$U_{ном}, \text{В}$	230	115	230	115	115	230	230	460	460	230
$R_{я}, \text{Ом}$	0,04	0,01	0,05	0,03	0,04	0,04	0,07	0,1	0,07	0,02

Продолжение таблицы 23

$I_{в}, A$	4,3	12	3,6	7	6	2,4	4,2	2,7	2,8	6
$P_x, Вт$	1500	2100	1260	1080	1400	1650	1280	1080	1950	1400

Задача 19 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задач 18, 19 и пример 9).

На рис.29 представлена схема двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением, работающего в номинальном режиме, для которого 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;
- $R_{доб}$ - сопротивление обмотки добавочных полюсов;
- R_c - сопротивление последовательной /серийной/ обмотки возбуждения;
- $R_{ш}$ - 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;
- $I_{ш}$ - 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;
- $P_{доб}$ - электрические потери мощности в обмотке дополнительных полюсов;
- P_c - электрические потери мощности в последовательной обмотке возбуждения;
- $P_{ш}$ - 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 24

Задача 20 (Перед решением задачи изучите методические указания к решению задачи 20 и примеры 10, 11, 12).

Трехфазный асинхронный, двигатель с короткозамкнутым ротором серии 4А, работает в номинальном режиме. Используя технические данные двигателя, приведенные в таблице 25 расшифровать условное обозначение двигателя

Определить:

- n_1 - частоту вращения магнитного поля статора;
- $S_{ном}$ - скольжение при номинальной нагрузке на валу двигателя;
- f_2 - частоту тока в роторе;
- $P_{1ном}$ - мощность, потребляемую двигателем из сети при номинальной нагрузке на валу;
- $\sum P_{ном}$ - суммарные потеря мощности в двигателе при номинальной нагрузке на валу;
- $M_{ном}$, $M_{пуск}$ $M_{мах}$ - номинальный, пусковой и максимальный моменты на валу двигателя;

- $I_{ном}$, $I_{пн}$ - номинальный и пусковой ток при заданной схеме включения обмоток статора.

Данные для своего варианта взять из таблицы 25

Задача 21

Решение задачи ведется по этапам в соответствии с методическими указаниями к ней, разберите пример 13.

1. Начертите "слепую" схему структурного изображения полупроводникового диода с $p-n$ переходом и подключенным к нему источником внешнего напряжения (рис. 40).

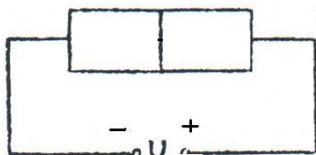


Рисунок 40 - Структурное изображение полупроводникового диода с $p-n$ переходом и источником питания

2. Нанесите на схему заданный носитель заряда с указанием направления его перемещения /см. табл. 26/.

3. Обозначьте на рисунке проводимость обеих областей диода / p или n /.

4. Ответьте, в каком направлении включен $p-n$ переход /в прямом или обратном/ диода

5. Изобразите схему включения диода с использованием его условного обозначения.

6. Приведите часть вольтамперной характеристики, соответствующей полученному включению диода для двух разных температур.

Пример 13

Решить задачу 21, если задан неосновной носитель, его знак - "минус" перемещается он слева на право.

Решение /без пункта 6, в контрольной работе его выполните обязательно/.

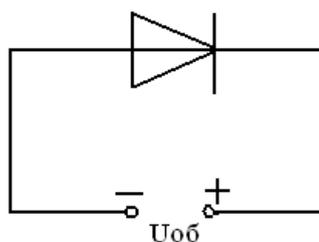
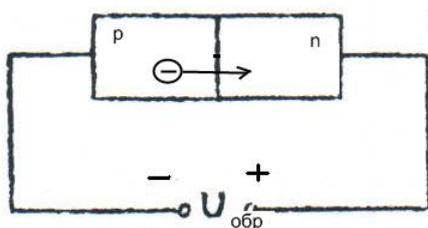


Рисунок 41

Текст при решении примера не приведен. Пишите его в соответствии с пунктами 1... 6 методических указаниях к решению задачи 21.

Таблица 24 - Исходные данные к задаче 19

Известная величина	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_{2ном}, \text{кВт}$	1,5	6,2	6,0	8,0	11,0	19,0	25,0	55,0	100,0	200,0
$U_{ном}, \text{В}$	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
$\eta_{ном}, \%$	78,8	79,0	82,0	84,5	83,4	84,67	86,7	88,8	90,69	92,2
$n_{ном}, \text{об/мин}$	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
$R_{я}, \text{Ом}$	2,344	0,912	0,459	0,265"	0,203	0,140	0,09314	0,0275	0,0122	0,00426
$R_{дп}, \text{Ом}$	0,623	0,331	0,139	0,094	0,0886	0,0485	0,0351	0,0135	0,00544	0,00188
$R_{с}, \text{Ом}$	0,102	0,0826	0,0371	0,0263	0,0,256	0,00683	0,00451	0,00272	0,000815	0,000522
$R_{ш}, \text{Ом}$	500	220	174	137,5	164	100	ПО	88	73,3	44,1

Таблица 25 - Исходные данные к задаче 19

Последняя цифра шифра	Тип двигателя	$P_{2ном}, \text{кВт}$	$n_{2ном}, \text{об/мин}$	$\eta_{ном}, \%$	$\cos\varphi_{1ном}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$	$U_{1ном}, \text{В}$	Схема соединения обмоток статора
1	4A200M6Y3	22,0	975	90,0	0,90	2,4	1,3	6,5	220/380	Δ
2	4A355M10Y	110,0	590	93,0	0,83	1,8	1,0	6,0	380/660	Y
3	4A250S2Y3	75,0	2960	91,0	0,89	2,5	1,2	7,5	220/380	Y
4	4A315S12Y3	45,0	490	90,5	0,75	1,8	1,0	6,0	380/660	Δ
5	4A180M4Y3	30,0	1470	91,0	0,90	2,0	1,4	6,5	220/380	Δ
6	4A315S8Y3	90,0	740	93,0	0,85	2,3	1,2	6,5	380/660	Y
7	4A250M6Y3	53,0	985	91,5	0,89	2,1	1,2	6,5	220/380	Δ
8	4A132M2Y3	11,0	2900	88,0	0,90	2,8	1,7	7,5	380/660	Y
9	4A180M8Y3	15,0	730	87,0	0,82	2,0	1,2	6,0	220/380	Y
10	4A315S4Y3	15,0	730	87,0	0,82	2,0	1,3	6,0	380/660	Δ

Таблица 26 - Исходные данные к задаче 21

Последняя цифра шифра	Тип носителей заряда	Знак носителей заряда	Направления носителей заряда
1	о.н.	+	Слева направо
2	н.н.	+	Слева направо
3	о.н.	-	Справа налево
4	н.н.	+	Справа налево
5	о.н.	+	Справа налево
6	н.н.	-	Справа налево
7	о.н.	-	Слева направо
8	н.н.	+	Слева направо
9	о.н.	+	Слева направо
0	н.н.	-	Справа налево

Примечание: о.н - основные носители заряда, н.н. - неосновные носители заряда.