МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

и контрольные задания
для студентов специальностей 1-36 08 01 «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания» и 1-36 01 01 «Технология машиностроения» заочной формы обучения

ВИТЕБСК
2012

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор УО
«ВГТУ»
_____ С.И. Малашенков

«____»_____2012 г.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

и контрольные задания
для студентов специальности: 1-36 08 01 «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания» и 1-36 01 01 «Технология машиностроения»

РЕКОМЕНДОВАНО
Редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ»
«____»_____2012 г.

протокол №_____

ВИТЕБСК
2012

УДК 621.3(07)

Электротехника, электрические машины и аппараты: методические указания и контрольные задания для студентов специальностей 1-36 08 01 «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания» и 1-36 01 01 «Технология машиностроения» заочной формы обучения.

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО "ВГТУ", 2012.

Составители: к.т.н., доц. Попов Ю.В.,
к.т.н., доц. Новиков Ю.В.

Методические указания содержат учебную программу и рекомендации по изучению курса. Приведены требования к выполнению и оформлению контрольных работ, варианты заданий.

Одобрено кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» УО "ВГТУ" 29.06.2012 г., протокол № 11.

Рецензент: доц. Ильющенко А.В.
Редактор: доц. Иванова Л.В.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом
УО "ВГТУ" 26 сентября 2012 г., протокол № 6.

Ответственный за выпуск: Букин Ю.А.

Учреждение образования "Витебский государственный технологический университет"

Подписано к печати_____. Формат_____. Уч.-изд. лист._____.
Печать ризографическая. Тираж_____экз. Заказ №_____. Цена_____руб.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».
Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.
210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

Приложение 2

ПАСПОРТ - ХАРАКТЕРИСТИКА
документа (издания) на электронном носителе

1. Автор или составитель_____ доц. Новиков Ю.В., доц. Попов Ю.В._____
2. Название____Электротехника, электрические машины и аппараты: методические указания и контрольные задания для студентов специальностей 1-36 08 01 и 1-36 01 01заочной формы обучения_____
3.Дата создания_____2012_____
4.Вид документа (электронный учебник, учебное пособие, УМК, курс лекций, учебно-методическое издание, рабочая программа, обучающая программа и т. п. Аналог печатного издания или компьютерная разработка)_____ учебно-методическое издание _____
5. Вид машиночитаемого носителя (оптический диск или дискета)_____СД_____
6. Объем (Кб)_____6335_____
7. Используемые форматы (doc, rtf,, pdf, tif, jpeg или др.)_____doc_____
8. Рекомендательный гриф (если есть)_____
9. Рекомендовано к изданию (да/нет)_____Да_____
дата прохождение через РИО_____26 сентября_____ 2012_____
10. Целевое назначение (код специальности)_1-36 08 01, 1-36 01 01_____
_____
студентам заочного отделения, курс ___3, 4_____семестр_____6, 8_____
основной (ое) документ (издание)_____
11. Дисциплина____Электротехника, электрические машины и аппараты_____
12. Кафедра_____АТПП_____
13. Факультет_____Механический_____

Зав. кафедрой _____ Кузнецов А. А.

27.12.2012 г.

Директор библиотеки _____ Быцкая Л. И.

27.12.2012 г.

Содержание

Введение…….…….……. 4

1 Содержание курса…….…….…….. 5

1.1 Тематика лабораторных занятий……. 7

1.2 Темы контрольных работ…… 7

2. Методические указания к изучению теоретических вопросов курса. …….…… 8

2.1 Электрические цепи постоянного тока…….. 8

2.2 Электрические цепи синусоидального тока …… 9

2.3 Цепи трехфазного тока …….. 9

2.4 Трансформаторы и электродвигатели …… 10

3 Выполнение контрольных работ …… 14

3.1 Общие методические указания к контрольным работам ……..…….. 14

3.2 Контрольная работа 1 …….…… 15

3.3 Контрольная работа 2 ….…….. 27

3.4. Примеры решения контрольных задач …… 29

4 Литература …….…… 43

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Электротехника, электрические машины и аппараты» относится к числу общепрофессиональных дисциплин и базируется на теоретическом и практическом материале, излагаемом в курсах физики и высшей математики. Данный курс имеет существенное значение в общеинженерной подготовке для изложения последующих профилирующих дисциплин на современном научном уровне. Знание дисциплины даст возможность будущим специалистам свободно разбираться в устройстве и принципе действия разнообразной электротехнической аппаратуры, электрических машин и оборудования, грамотно использовать их на практике. Целью изучения дисциплины является формирование знаний у инженеров в области электротехники для эффективного выбора необходимых электротехнических и электроизмерительных устройств, умения их правильно эксплуатировать и составлять совместно с инженерами-электриками технические задания на разработку автоматизированных систем управления производственными процессами. В результате освоения курса "Электротехника, электрические машины и аппараты" студент должен

знать:

– электротехнические законы;

– методы анализа электрических, магнитных и электронных цепей;

– принципы действия, конструкции, свойства, области применения и возможности основных электротехнических устройств и электроизмерительных приборов;

– проблемы энергосбережения при производстве, передаче, распределении и потреблении электроэнергии;

уметь:

– читать структурные и электрические схемы;

– производить измерения электрических и некоторых неэлектрических величин;

приобрести навыки:

– экспериментально определять параметры и характеристики типовых элементов и устройств;

– включать электротехнические приборы, аппараты и машины, управлять ими и контролировать их эффективную и безопасную работу.

1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

ВВЕДЕНИЕ

Цель, задачи, структура и объем дисциплины. Значение и роль электротехники и электроники в развитии технологического оборудования машиностроительного производства, оборудования и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов.

ТЕМА 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Структура электрической цепи. Элементы электрических цепей и их характеристики. Основные соотношения в линейных цепях постоянного тока. Режимы работы электрической цепи. Методы расчета простых и сложных электрических цепей постоянного тока. Энергетический баланс в электрических цепях. Понятие о цепях с нелинейными элементами и их расчете.

ТЕМА 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Получение переменного синусоидального тока. Основные параметры и соотношения в цепях переменного синусоидального тока. Векторные диаграммы. Представление электрических величин в комплексной форме. Активный, индуктивный и емкостной элементы в цепи синусоидального тока. Методы расчета неразветвленной и разветвленной цепей переменного тока. Явления резонанса токов и напряжений. Простейшие электрические фильтры.

ТЕМА 3. ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Основные понятия и схемы трехфазных цепей. Соотношения между токами и напряжениями в трехфазных цепях при соединении звездой и треугольником. Симметричный и несимметричный режимы работы трехфазной цепи. Мощность трехфазных цепей.

ТЕМА 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Виды и методы измерений электрических величин. Принцип действия и устройство основных типов электроизмерительных приборов.

ТЕМА 5. ТРАНСФОРМАТОРЫ

Назначение, устройство, принцип действия и области применения трансформаторов. Режимы работы. Уравнения электромагнитного состояния трансформатора. Понятие о трехфазных и измерительных трансформаторах, КПД трансформатора.

ТЕМА 6. ДВИГАТЕЛИ АСИНХРОННЫЕ И ПОСТОЯННОГО ТОКА

Устройство и принцип действия трехфазного асинхронного двигателя (АД). Механическая характеристика АД. Пуск, торможение и регулирование частоты вращения двигателя. Кпд АД.

Устройство и принцип действия машин постоянного тока. Способы возбуждения машин постоянного тока. Механические характеристики двигателя постоянного тока. Пуск, торможение и регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока.

ТЕМА 7. АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

Аппаратура управления и защиты технологических устройств. Контакторы, конечные выключатели и реле. Условные графические обозначения аппаратуры на схемах. Общие принципы релейно-контакторного управления электротехническими устройствами. Простейшие схемы управления асинхронными двигателями. Устройство и принцип действия перспективных разработок оборудования.

1.1 Тематика лабораторных занятий

Таблица 1 – Краткое содержание лабораторных занятий

№	Тема	К-во часов	Цели и задачи темы	Формы контроля
1	Исследование основных режимов работы электрической цепи	2	Анализ распределения напряжений и мощностей на элементах цепи в различных режимах	Опрос Защита
2	Исследование цепи синусоидального тока с последовательным соединением элементов	2	Исследование процессов в цепи. Анализ условий возникновения резонанса напряжений	Опрос Защита
3	Исследование трехфазной цепи при соединении звездой	2	Изучение свойств трехфазной цепи при соединении звездой	Опрос Защита
4	Исследование асинхронного трехфазного двигателя	2	Экспериментальное снятие рабочих характеристик	Опрос Защита

1.2. Темы контрольных работ

1. Расчет электрических цепей синусоидального тока.
2. Расчет и построение статических характеристик электропривода постоянного тока.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ КУРСА

2.1 Электрические цепи постоянного тока

После изучения данного раздела студенты должны:

- знать виды источников постоянного тока, их внешние характеристики, области применения электротехнических устройств постоянного тока, способы соединения электрических устройств, методику составления уравнений электрического состояния линейных цепей, примеры нелинейных элементов и их вольт-амперные характеристики;
- понимать эквивалентность схем источников э.д.с. и тока, возможность эквивалентных преобразований схем соединений пассивных элементов, проведения анализа линейных электрических цепей методами пропорциональных величин, суперпозиции и контурных токов;
- уметь проводить анализ линейных электрических цепей методом свертывания, непосредственного применения законов Кирхгофа и узлового напряжения, составлять уравнения баланса электрической мощности, применять метод пересечения характеристик для определения тока в нелинейной цепи.

Приступая к расчету цепи, необходимо иметь в виду, что цепи бывают простые и сложные. Цепь называется простой, если, не производя ее расчета, можно указать действительные направления всех токов. В противном случае цепь считается сложной. К простым цепям относятся цепи с одним источником, в которых пассивные элементы соединены последовательно, параллельно и смешанно. К сложным цепям относятся цепи с несколькими источниками, а также цепь с одним источником, где пассивные элементы соединены в схему треугольника и звезды.

Расчет простых цепей обычно производят методом свертывания схемы, по которому постепенным преобразованием с использованием формул для последовательного и параллельного соединений приводят схему к одному эквивалентному пассивному элементу с сопротивлением $R_{экв.}$ Определяют ток в ветви, содержащей источник, а затем, поэтапно возвращаясь к исходной схеме, находят все остальные токи.

Расчет сложных цепей постоянного тока производится следующими методами:

1) метод непосредственного применения законов Кирхгофа;
2) метод наложения (суперпозиции);
3) метод двух узлов и другие.

Особое внимание уделить на метод двух узлов, т. к. аналогичный метод широко используется при расчете трехфазных цепей синусоидального тока.

2.2 Электрические цепи синусоидального тока

В результате изучения данной темы студенты должны:

- знать содержание терминов: резистор, резистивный элемент, активное сопротивление, индуктивная катушка, индуктивный элемент, индуктивность, индуктивное сопротивление, конденсатор, емкостной элемент, емкость, емкостное сопротивление; фаза, начальная фаза, угол сдвига по фазе, период, частота, круговая частота, мгновенное, амплитудное, действующее и среднее значения синусоидальных величин; полное, активное, реактивное, комплексные сопротивления и проводимости, мгновенная, полная, активная, реактивная, комплексная мощности; параметры элементов схем замещения цепей однофазного тока; условия и способы получения резонансов напряжений и токов;
- понять особенности электромагнитных процессов и энергетические состояния в простейших цепях синусоидального тока, экономическое значение коэффициента мощности;
- уметь составлять дифференциальные и комплексные уравнения электрического состояния линейных цепей; представлять синусоидально изменяющиеся величины тригонометрическими функциями, графиками, вращающимися векторами и комплексными числами; строить векторные диаграммы простейших цепей; используя символический метод, рассчитывать простые и сложные цепи синусоидального тока.

Расчет цепей синусоидального тока при использовании символического метода (метода комплексных чисел) производится аналогично расчету цепей постоянного тока. Отличие состоит в том, что э.д.с., напряжения, токи, сопротивления и мощности выражаются в комплексной форме. Зная комплексные значения величин, легко определить действующие значения, начальные фазы и все необходимые мощности. Пример расчета такой цепи рассмотрен в разделе 3 (контрольные работы).

2.3 Цепи трехфазного тока

В результате изучения данной темы студенты должны:

- знать основные элементы трехфазных цепей, способы соединения фаз обмотки генератора и включения в трехфазную цепь приемников; способы изображения трехфазной симметричной системы э.д.с.;
- понимать роль нейтрального провода; принципы построения векторных диаграмм; влияние рода и схемы включения нагрузки на величину тока в нейтральном проводе;

- уметь анализировать различные режимы симметричных и несимметричных цепей; читать схемы соединения трехфазных однофазных приемников.

При изучении этой темы особое внимание необходимо обратить на преимущества, которые дает трехфазная система по сравнению с однофазной. Рассматривая схемы соединения, нужно уяснить связь между фазными и линейными напряжениями в схеме соединения звездой, а также связь между фазными и линейными токами в схеме соединения треугольником.

Необходимо четко представлять, что в трехфазной цепи могут быть два режима: симметричный и несимметричный. Расчет трехфазной цепи в симметричном режиме сводится к расчету для одной фазы (т. к. действующие значения токов во всех фазах будут равны) и производится аналогично расчету однофазной цепи с одним источником. Трехфазная цепь является частным случаем сложной цепи синусоидального тока. Поэтому в несимметричном режиме при отсутствии нулевого провода, когда не обеспечивается независимая работа фаз, для расчета трехфазной цепи можно применить метод узлового напряжения в комплексной форме. Примеры расчета трехфазных цепей приведены в разделе 3 (контрольные работы).

2.4 Трансформаторы и электродвигатели

После изучения настоящего раздела студенты должны:

- знать основные элементы конструкции трансформатора, выражение для коэффициента трансформации; знать значения терминов для асинхронного двигателя: скольжение, синхронная скорость, круговое вращающееся магнитное поле, короткозамкнутый ротор, фазный ротор; способы изменения направления вращения магнитного поля; устройство и области применения двух типов трехфазных асинхронных двигателей, их условные обозначения на схемах; вид механических характеристик и способы регулирования частоты вращения двигателя; знать основные конструктивные элементы машин постоянного тока: статор (станину), обмотку возбуждения, якорь, обмотку якоря, щеточно-коллекторный узел; классификацию двигателей по способу возбуждения; механические характеристики двигателей постоянного тока, способы пуска и регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока;
- понимать принцип действия трансформатора; причины, вызывающие изменение напряжения на вторичной обмотке трансформатора; понимать принцип действия трехфазного асинхронного двигателя; факторы, влияющие на частоту вращения ротора трехфазного асинхронного двигателя; понимать назначение основных конструктивных элементов двигателя постоянного тока; принцип действия и уравнения электрического состояния двигателя; назначение пусковых и регулировочных реостатов;

- уметь анализировать различные режимы работы трансформатора; включать приемники и электроизмерительные приборы для определения напряжений, токов и мощностей; уметь осуществлять пуск и реверс асинхронного двигателя; измерять скольжение и частоту вращения; оценивать величины номинального, пускового и максимального моментов пускового тока и номинальной скорости по данным каталога; уметь включать в сеть, регулировать скорость и реверсировать двигатель постоянного тока; ориентироваться в паспортных данных машин и определять номинальные моменты и ток; выбирать двигатель к заданным техническим условиям.

Рассматривая физические процессы, возникающие в трансформаторе, необходимо обратить особое внимание на то положение, что при изменении нагрузки трансформатора в широком диапазоне (от холостого до номинального режима) магнитный ток может считаться практически постоянным и равным магнитному потоку в режиме холостого хода. Исключение представляют трансформаторы тока, у которых ток в первичной обмотке определяется нагрузкой, включенной последовательно. Поэтому при размыкании цепи вторичной обмотки магнитный поток сильно возрастает, возникает повышенная э.д.с., которая представляет опасность для обслуживающего персонала и изоляции трансформатора.

При изучении асинхронного двигателя необходимо обратить внимание на электромагнитные процессы, возникающие в двигателе, как при его пуске, так и в процессе работы. Эксплуатационные параметры асинхронного двигателя демонстрируются механическими и рабочими характеристиками. Механическая характеристики двигателя $\omega = f(\mathrm{M})$ может быть построена по данным каталога с использованием следующих формул:

$$M = \frac{2M_к}{\frac{S_к}{S} + \frac{S}{S_к}},$$

$$M_{кр} = \lambda_m M_н,$$

$$M_н = \frac{\mathrm{P}_н}{\omega_н},$$

$$\omega_н = \frac{2\pi f_1}{P}(1 - S_н),$$

где M, $M_н$, $M_к$ – текущее, номинальное и максимальное (критическое) значения вращающегося момента двигателя сответственно;

S, $S_н$, $S_к$ – текущее, номинальное и критическое значения скольжения;
f_1, p – частота напряжения питания обмотки статора и число пар полюсов двигателя;
λ_m – отношение критического момента к номинальному.

Значения $P_н$, λ_m, f_1, p, $S_н$, $S_{кр}$ приводятся в каталоге.

Построенная по этим данным зависимость ω(M) представлена на рисунке 2.1.

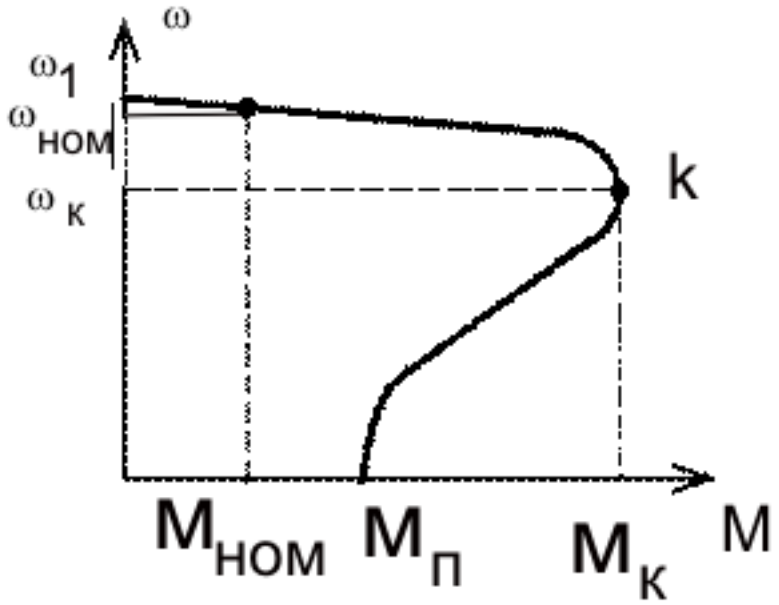


Рисунок 2.1 – Механическая характеристика асинхронного двигателя

Механическая характеристика двигателей определяет свойства двигателя в системе электропривода: пусковые свойства ($M_п$ – пусковой момент), перегрузочную способность ($M_к$), устойчивость работы.

Изучение двигателей постоянного тока надо начинать с их принципа работы и устройства. Необходимо обратить особое внимание на режим работы, пуск, регулирование скорости вращения и торможение двигателя. Процессы в двигателе в установившемся режиме описываются уравнениями:

$$U_я = R_{яц} I_я + E,$$

$$E = K\Phi\omega, \qquad (1)$$

$$M = K\Phi I_я,$$

где $U_я$, $I_я$, E – напряжение, ток и противо э.д.с. двигателя;

M, ω, Ф – вращающий момент, угловая скорость и магнитный поток двигателя;
К, $R_{яц}$ – конструктивная постоянная и сопротивление якорной цепи двигателя.

Используя формулы (1), можно получить выражения для механической $\omega = f(M)$ и электромеханической $\omega = f(I_я)$ характеристик двигателя:

$$\omega = \frac{U_я}{K\Phi} - \frac{R_{яу}}{(K\Phi)^2} M , \qquad (2)$$

$$\omega = \frac{U_я}{K\Phi} - \frac{R_{яу}}{K\Phi} I_я . \qquad (3)$$

Вид этих статических характеристик для наиболее часто применяемого двигателя постоянного тока с независимым возбуждением при разных значениях напряжения показан на рисунке 2.2.

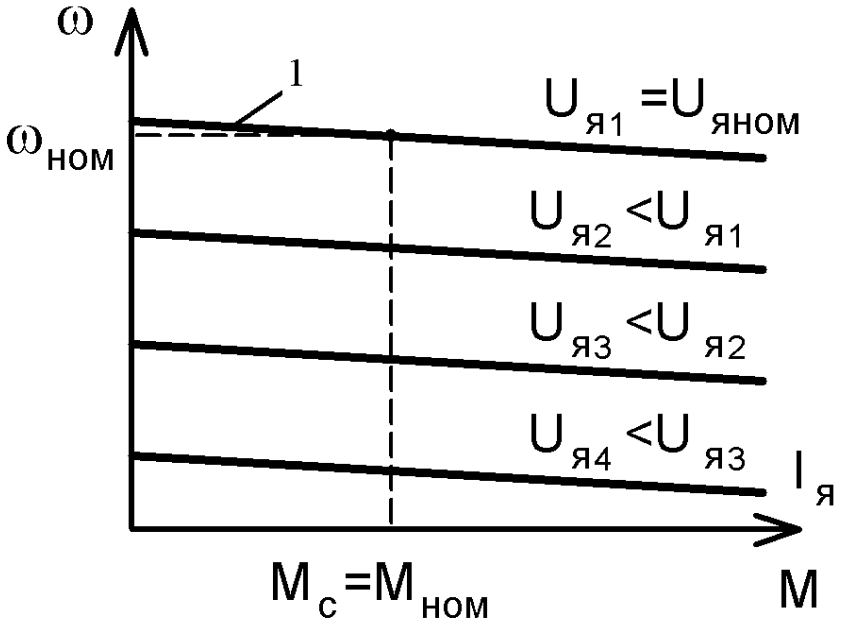


Рисунок 2.2 – Статические характеристики двигателя постоянного тока

Характеристики двигателя дают наглядное представление об регулировочных свойствах двигателя.

3 ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

3.1 Общие методические указания к контрольным работам

Рабочей программой курса предусмотрено выполнение двух контрольных работ. Приступить к выполнению очередной работы следует после изучения необходимого учебного материала. При оформлении каждой задачи следует приводить исходную схему с принятыми буквенными обозначениями и числами заданных значений. Схемы и графики должны быть выполнены аккуратно с помощью чертежных инструментов и с использованием стандартных графических обозначений элементов и буквенных обозначений величин, на осях координат должны быть указаны откладываемые значения и единицы их измерения. Решения необходимо сопроводить краткими пояснениями. При использовании справочных материалов необходимо назвать источник, делая ссылку на перечень литературы, приведенной в конце работы. Перечень литературы должен быть оформлен в полном соответствии с требованиями библиографического описания документов.

Все расчеты производятся в абсолютных единицах с использованием системы СИ. Решения следует выполнять сначала в общем виде, затем подставлять числовые величины. При наличии значительных однотипных вычислений, приводя два-три расчета в качестве примера, результаты внести в таблицу. Результаты вычислений записывать с точностью до третьей значащей цифры. Арифметическая правильность вычислений и указание размерности является обязательным.

Графики и схемы необходимо приводить в контрольной работе по ходу расчета. Выводы формул и уравнений, имеющихся в литературе, приводить в тексте контрольных работ не следует. Текстовая часть работы должна быть написана аккуратно, четким почерком (или отпечатана). Листы должны быть пронумерованы, слова не сокращать.

Если преподаватель предложит переписать какой-то раздел работы, то в этом случае исправления вносятся в текст с тем расчетом, чтобы исправленная работа представляла единое целое. Листы с большим числом исправлений следует переписать. Замечания рецензента не разрешается ни стирать, ни заклеивать.

В конце выполненного контрольного задания студент проставляет дату и подписывается.

Задачи контрольных работ сделаны 50-вариантными. Вариант определяется двумя последними цифрами шифра – номера дела студента. Если две последние цифры более 50, то для определения номера варианта необходимо вычесть 50.

3.2 Контрольная работа 1

Расчет цепей синусоидального тока

Задача 1. Для электрической цепи, схема которой изображена на рисунках 3.1 – 3.50, по заданным в таблице 3.1 параметрам и э.д.с. источника определить действующие значения и начальные фазы токов во всех ветвях цепи и напряжений на отдельных участках. Рассчитать активные, реактивные и полные мощности отдельных участков и всей цепи. Составить уравнения баланса активных и реактивных мощностей. Указать показания приборов, изображенных на рисунке.

Таблица 3.1 – Значения параметров элементов цепи и э.д.с. источника

Номера												
Варианта	Рисунков	E, В	f, Гц	C_1, мкФ	C_2, мкФ	C_3, мкФ	L_1, мГн	L_2, мГн	L_3, мГн	R_1, Ом	R_2, Ом	R_3, Ом
0	*3. 1*	150	50	637	300	---	---	---	15,9	2	3	4
1	*3. 2*	100	50	---	---	100	15,9	9	15,9	8	3	4
2	*3. 3*	120	50	637	---	---	---	15.9	15,9	8	3	4
3	*3. 4*	200	50	---	300	---	15,9	---	15,9	8	3	4
4	*3. 5*	220	50	637	---	100	---	47,7	---	8	-	4
5	*3. 1*	50	50	100	159	---	---	---	115	10	4	100
6	*3. 6*	100	50	100	300	---	15,9	---	115	10	-	100
7	*3. 7*	120	50	---	---	100	15,9	---	115	---	4	100
8	*3. 8*	200	50	---	159	---	---	---	115	10	4	100
9	*3. 9*	220	50	---	318	---	15,9	---	---	10	4	100
10	*3. 10*	50	50	---	637	---	15,9	6,37	115	5	---	8
11	*3. 11*	100	50	637	---	100	---	---	115	---	10	8
12	*3. 12*	120	50	---	300	100	31,8	---	---	5	---	8
13	*3. 13*	200	50	---	---	100	31,8	---	---	5	10	8
14	*3. 14*	220	50	637	---	200	---	15,9	---	5	10	8
15	*3. 15*	150	50	100	---	200	---	15,9	---	10	2	10
16	*3. 16*	100	50	---	1600	200	31,8	---	---	---	8	10
17	*3. 17*	120	50	100	---	200	---	15,9	---	10	8	10
18	*3. 18*	200	50	637	---	200	---	31,8	---	---	8	10
19	*3. 19*	220	50	---	1600	---	31,8	---	95	10	8	-
20	*3. 20*	50	50	---	159	---	31.8	---	95	15	10	10

Окончание таблицы 3.1

21	*3. 21*	100	50	---	159	200	15,9	---	---	15	---	10
22	*3. 22*	120	50	---	159	200	15,9	---	---	---	10	20
23	*3. 23*	200	50	637	159	200	---	31,8	95	15	10	20
24	*3. 24*	220	50	637	159	---	---	---	95	---	10	20
25	*3. 25*	150	50	---	159	---	25	---	95	6	10	20
26	*3. 26*	100	50	637	159	637	---	---	95	6	---	20
27	*3. 27*	100	50	---	159	---	25	---	95	6	4	---
28	*3. 28*	200	50	---	159	637	25	---	95	6	---	20
29	*3. 29*	220	50	637	---	637	---	9	---	6	---	20
30	*3. 30*	50	50	318	637	---	---	---	31,8	---	10	40
31	*3. 31*	100	50	318	---	300	---	---	31,8	---	10	10
32	*3. 32*	120	50	---	---	300	19,1	15,9	31,8	40	---	10
33	*3. 33*	200	50	318	---	300	---	15,9	31,8	10	10	40
34	*3. 34*	220	50	318	---	300	---	15,9	31,8	---	---	10
35	*3. 35*	50	50	---	318	---	19,5	---	31,8	8	10	4
36	*3. 36*	100	50	637	---	200	---	31,8	95	8	---	4
37	*3. 37*	150	50	637	---	200	---	31,8	---	8	10	4
38	*3. 38*	200	50	---	318	200	15,9	---	95	8	---	4
39	*3. 39*	220	50	---	---	200	15,9	31,8	95	8	---	4
40	*3. 40*	50	50	637	---	200	---	31,8	95	4	40	40
41	*3. 41*	100	50	---	318	200	9,55	---	---	4	40	4
42	*3. 42*	120	50	500	---	---	---	15,9	95	4	---	4
43	*3. 43*	200	50	500	---	159	---	15,9	---	40	10	40
44	*3. 44*	220	50	---	318	159	9,55	---	95	---	10	40
45	*3. 45*	50	50	500	159	159	---	---	31.8	35	20	40
46	*3. 46*	100	50	500	---	---	---	15.9	31.8	35	---	40
47	*3. 47*	120	50	---	159	---	15.9	---	31.8	35	20	80
48	*3. 48*	200	50	318	318	159	---	---	31.8	35	20	80
49	*3. 49*	220	50	318	---	159	---	31.8	31.8	35	20	80
50	*3. 50*	50	50	---	318	---	15.9	---	31.8	5	10	80

Схемы (рис. 3.1 – 3.50).

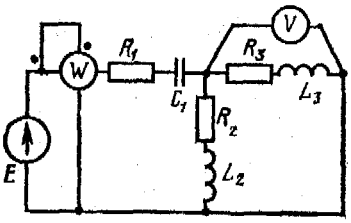


Рисунок 3.1

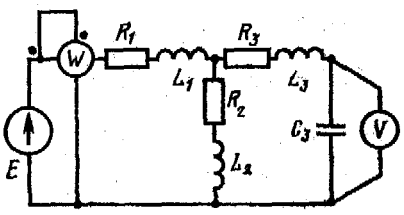


Рисунок 3.2

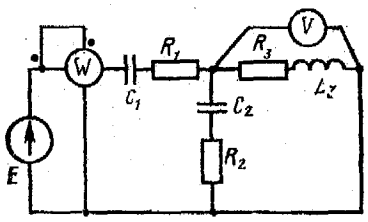


Рисунок 3.3

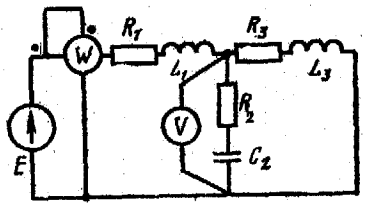


Рисунок 3.4

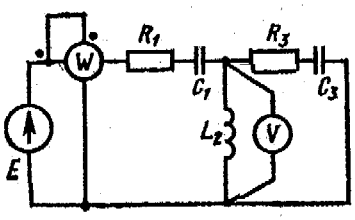


Рисунок 3.5

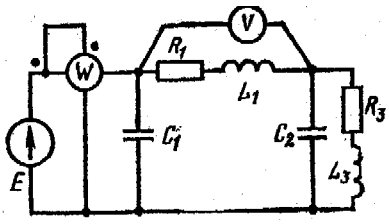


Рисунок 3.6

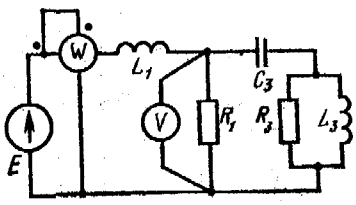


Рисунок 3.7

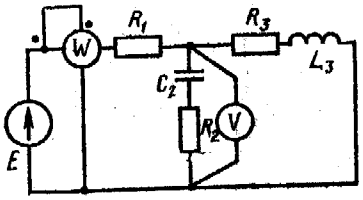


Рисунок 3.8

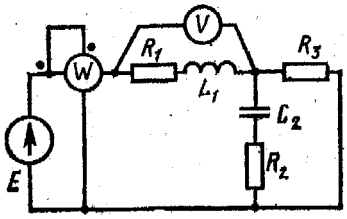


Рисунок 3.9

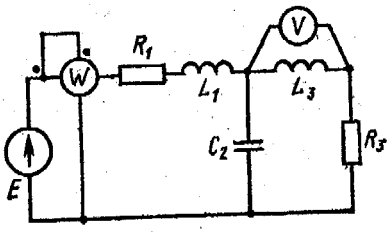


Рисунок 3.10

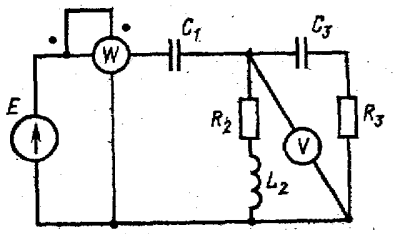


Рисунок 3.11

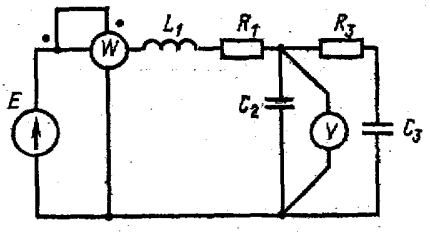


Рисунок 3.12

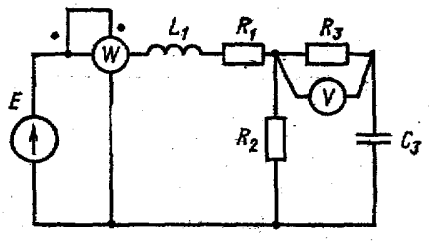


Рисунок 3.13

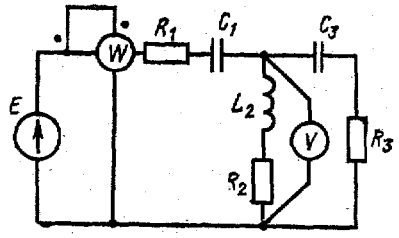


Рисунок 3.14

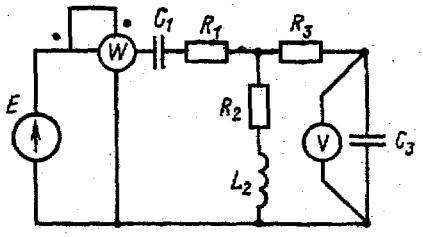


Рисунок 3.15

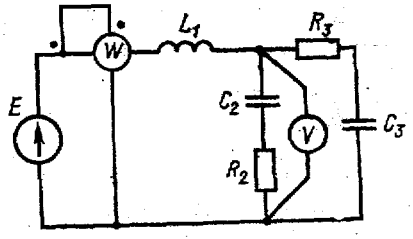


Рисунок 3.16

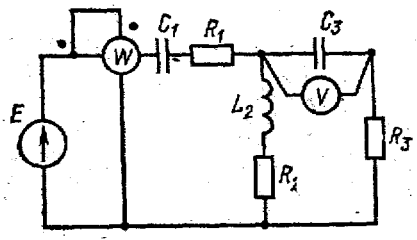


Рисунок 3.17

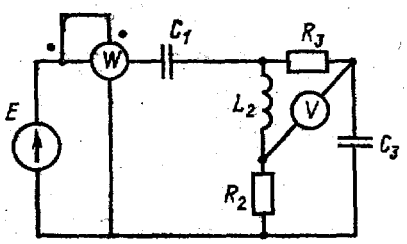


Рисунок 3.18

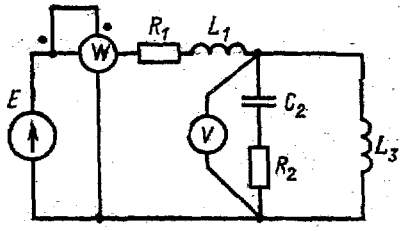


Рисунок 3.19

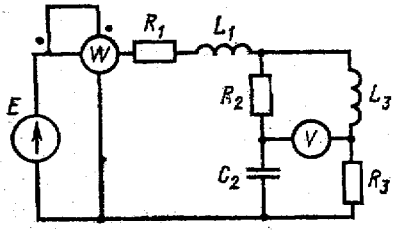


Рисунок 3.20

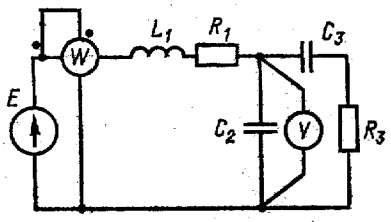


Рисунок 3.21

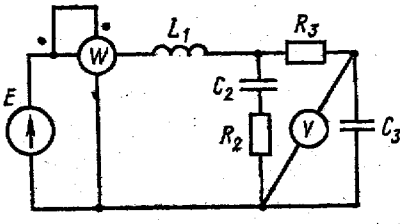


Рисунок 3.22

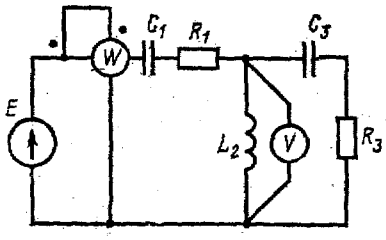


Рисунок 3.23

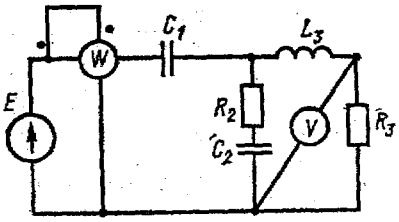


Рисунок 3.24

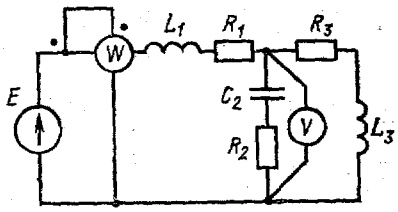


Рисунок 3.25

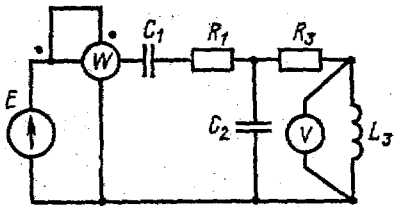


Рисунок 3.26

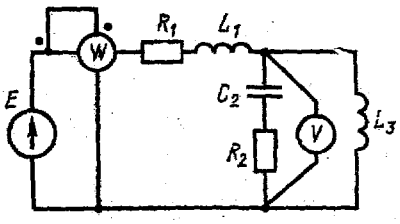


Рисунок 3.27

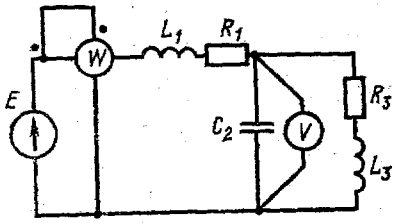


Рисунок 3.28

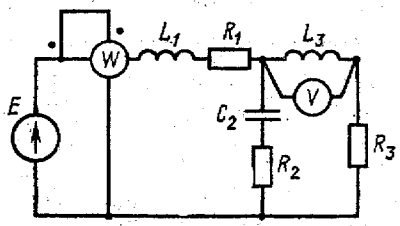


Рисунок 3.29

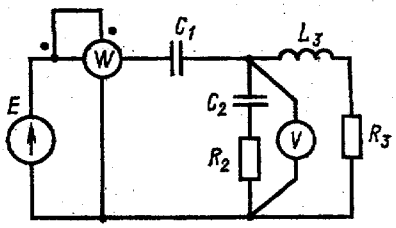


Рисунок 3.30

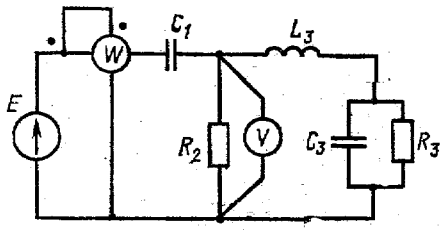


Рисунок 3.31

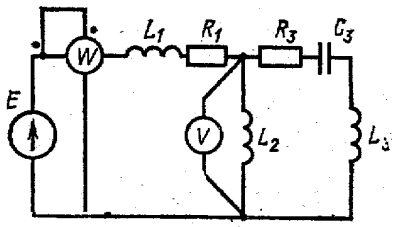


Рисунок 3.32

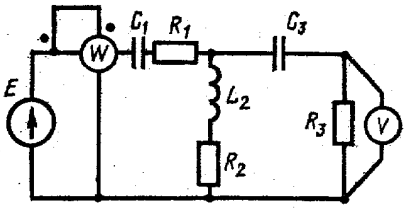


Рисунок 3.33

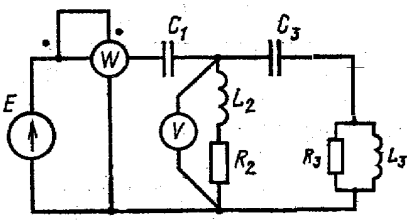


Рисунок 3.34

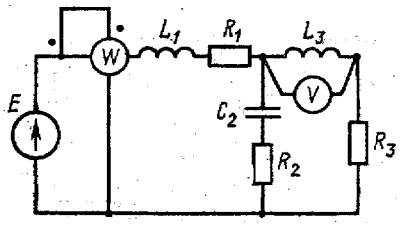


Рисунок 3.35

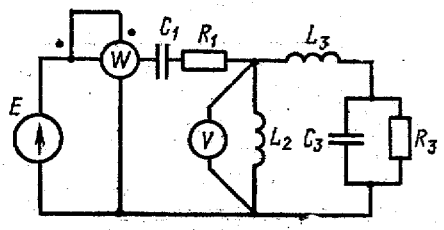


Рисунок 3.36

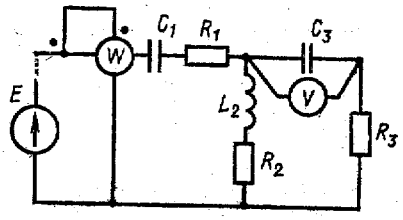


Рисунок 3.37

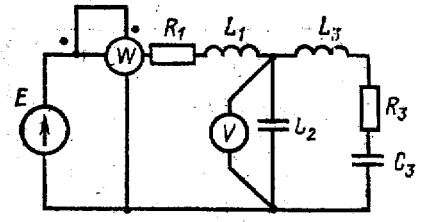


Рисунок 3.38

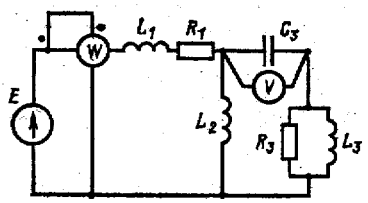


Рисунок 3.39

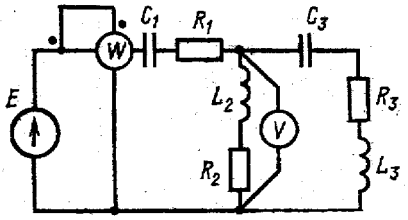


Рисунок 3.40

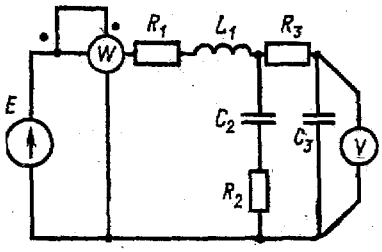


Рисунок 3.41

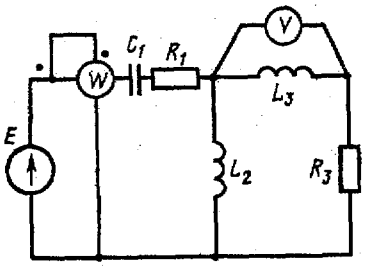


Рисунок 3.42

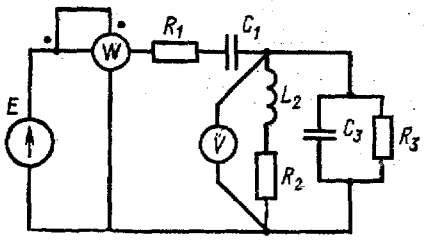


Рисунок 3.43

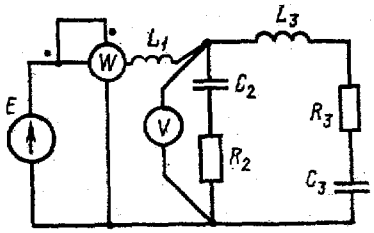


Рисунок 3.44

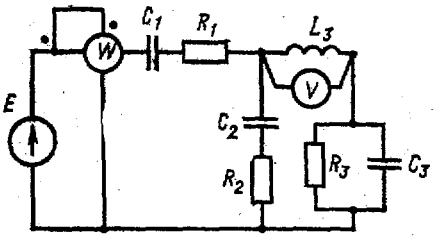


Рисунок 3.45

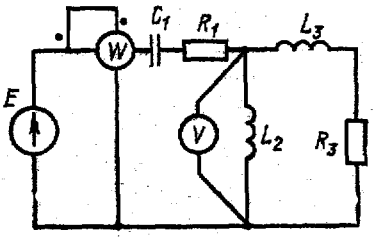


Рисунок 3.46

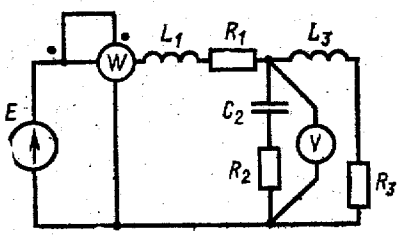


Рисунок 3.47

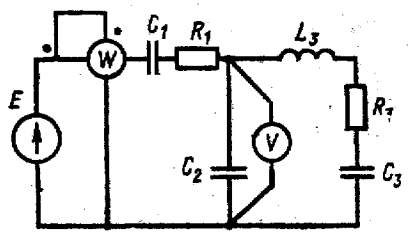


Рисунок 3.48

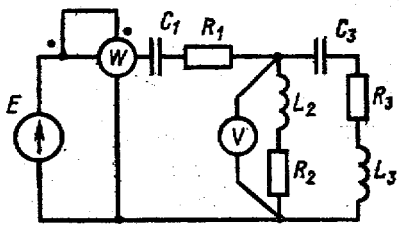


Рисунок 3.49

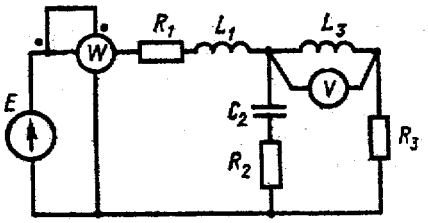


Рисунок 3.50

Задача 2. Для трехфазной электрической цепи, схема которой изображена на рис. 3.51 – 3.67, по заданным в табл. 3.2 параметрам и линейному напряжению определить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе (для четырехпроводной схемы), активную мощность всей цепи и каждой фазы отдельно. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Таблица 3.2 – Значение параметров элементов цепи

Номера		Uл, В	R_a, Ом	R_b, Ом	R_c, Ом	X_a, Ом	X_b, Ом	X_c, Ом	R_{ab}, Ом	R_{bc}, Ом	R_{ca}, Ом	X_{ab}, Ом	X_{bc}, Ом	X_{ca}, Ом
Варианта	Рисунков													
0	3.51	127	8	8	8	6	6	6	---	---	---	---	---	---
1	3.51	220	8	8	8	6	6	6	---	---	---	---	---	---
2	3.51	380	8	8	8	6	6	6	---	---	---	---	---	---
3	3.52	127	8	4	6	4	3	8	---	---	---	---	---	---
4	3.52	220	8	4	6	4	3	8	---	---	---	---	---	---
5	3.52	380	8	4	6	4	3	8	---	---	---	---	---	---
6	3.53	127	4	8	6	3	4	8	---	---	---	---	---	---

Продолжение таблицы 3.2

7	3.53	127	4	8	6	3	4	9	---	---	---	---	---	---
8	3.53	127	4	8	6	3	4	8	---	---	---	---	---	---
9	3.54	127	16,8	8	8	14,2	6	4	---	---	---	---	---	---
10	3.54	220	16.8	8	8	14.2	6	4	---	---	---	---	---	---
11	3.54	380	16.8	8	8	8	6	4	---	---	---	---	---	---
12	3.55	127	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
13	3.55	220	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
14	3.55	380	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
15	3.56	127	---	---	---	---	---	---	8	8	8	6	6	6
16	3.56	220	---	---	---	---	---	---	8	8	8	6	6	6
17	3.56	380	---	---	---	---	---	---	8	8	8	6	6	6
18	3.57	127	---	---	---	---	---	---	8	4	6	4	3	8
19	3.57	220	---	---	---	---	---	---	8	4	6	4	3	8
20	3.57	380	---	---	---	---	---	---	8	4	6	4	3	8
21	3.58	127	---	---	---	---	---	---	4	8	6	3	4	8
22	3.58	220	---	---	---	---	---	---	4	8	6	3	4	8
23	3.58	380	---	---	---	---	---	---	4	8	6	3	4	8
24	3.59	127	---	---	---	---	---	---	16.8	8	3	14.2	6	4
25	3.59	220	---	---	---	---	---	---	16.8	8	3	14.2	6	4
26	3.59	380	---	---	---	---	---	---	16.8	8	3	14.2	6	4
27	3.50	127	---	---	---	---	---	---	10	---	---	---	10	10
28	3.60	220	---	---	---	---	---	---	10	---	---	---	10	10
29	3.60	380	---	---	---	---	---	---	10	---	---	---	10	10
30	3.61	127	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
31	3.61	220	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
32	3.61	380	10	---	---	---	10	10	---	---	---	---	---	---
33	3.62	127	15	---	---	---	5	5	---	---	---	---	---	---
34	3.62	220	15	---	---	---	5	5	---	---	---	---	---	---
35	3.62	380	15	---	---	---	5	5	---	---	---	---	---	---
36	3.63	127	---	---	---	---	---	---	---	3	8	4	6	8
37	3.63	220	---	---	---	---	---	---	---	3	8	4	6	8
38	3.63	380	---	---	---	---	---	---	---	3	8	4	6	8

Окончание таблицы 3.2

39	3.64	127	---	---	---	---	---	---	8	4	8	---	6	10
40	3.64	220	---	---	---	---	---	---	8	4	8	---	6	10
41	3.64	220	---	---	---	---	---	---	8	4	8	---	6	10
42	3.65	127	---	---	---	---	---	---	---	5	6	5	8	4
43	3.65	220	---	---	---	---	---	---	---	5	6	5	8	4
44	3.65	380	---	---	---	---	---	---	---	5	6	5	8	4
45	3.66	127	---	---	---	---	---	---	5	---	6	10	8	4
46	3.66	220	---	---	---	---	---	---	5	---	6	10	8	4
47	3.66	380	---	---	---	---	---	---	5	---	6	10	8	4
48	3.67	127	---	3	---	15	---	10	---	---	---	---	---	---
49	3.67	220	---	3	---	15	---	10	---	---	---	---	---	---
50	3.67	220	---	3	---	15	---	10	---	---	---	---	---	---

Схемы электрических цепей (рисунки 3.51 – 3.67).

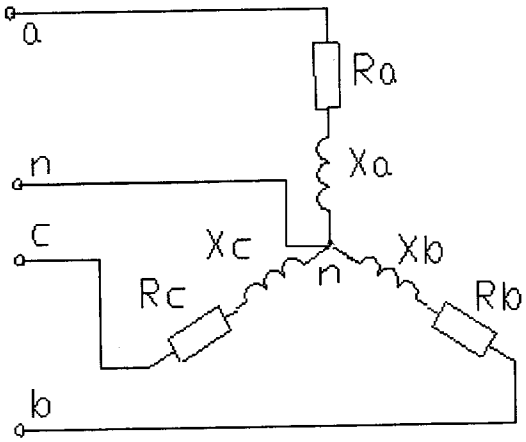


Рисунок 3.51

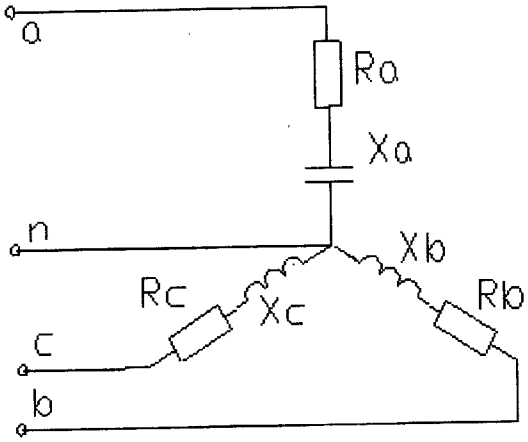


Рисунок 3.52

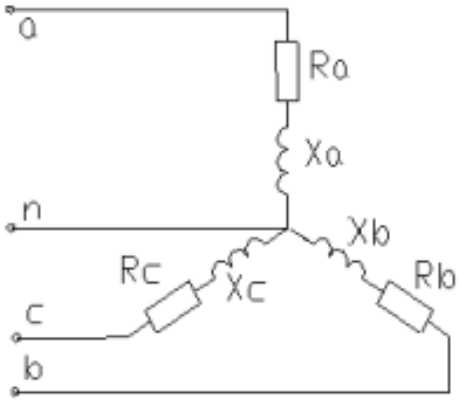


Рисунок 3.53

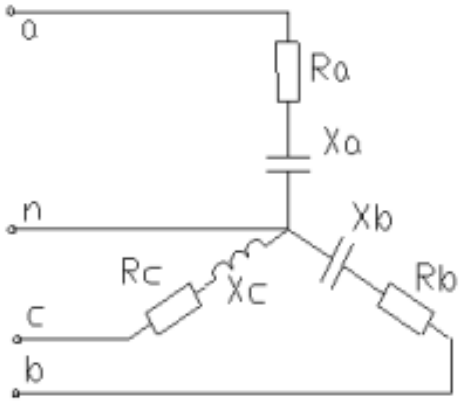


Рисунок 3.54

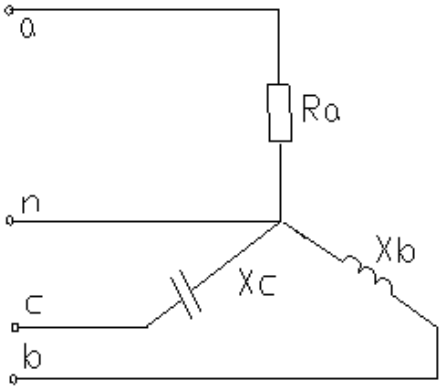


Рисунок 3.55

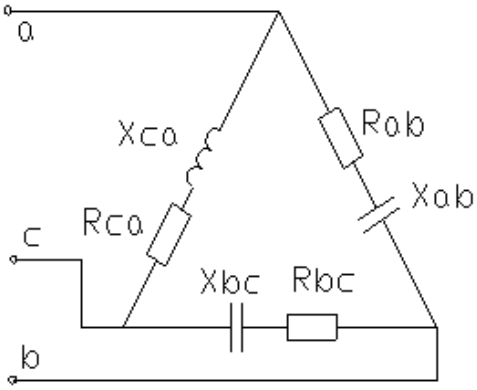


Рисунок 3.56

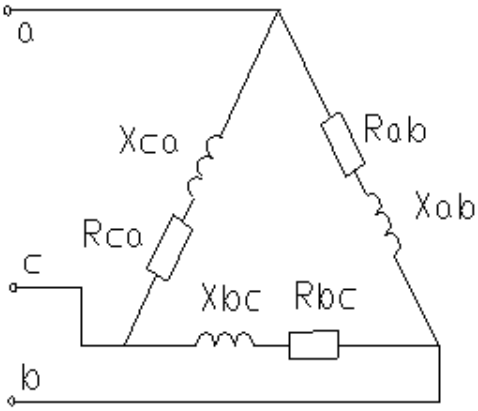


Рисунок 3.57

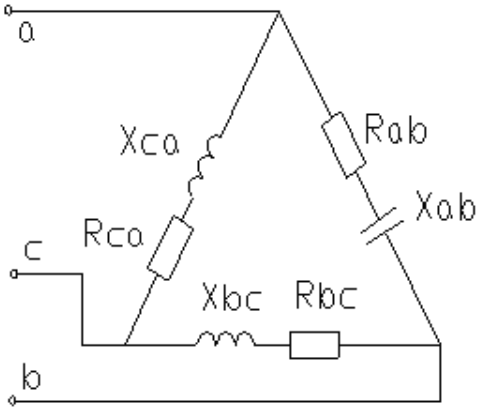


Рисунок 3.58

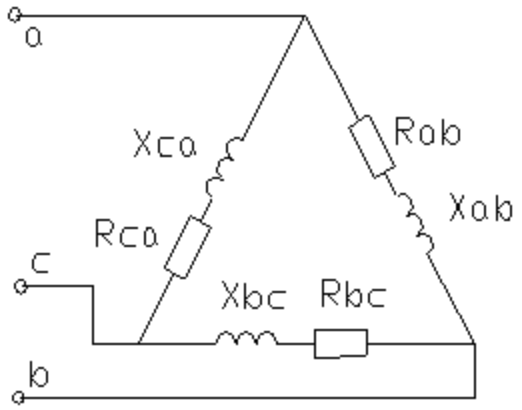


Рисунок 3.59

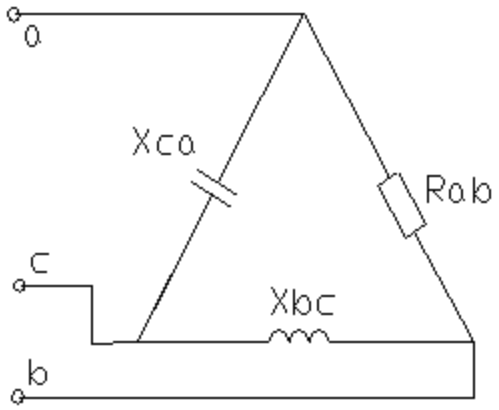


Рисунок 3.60

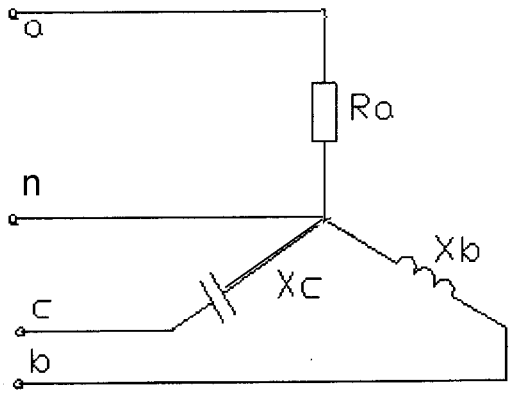


Рисунок 3.61

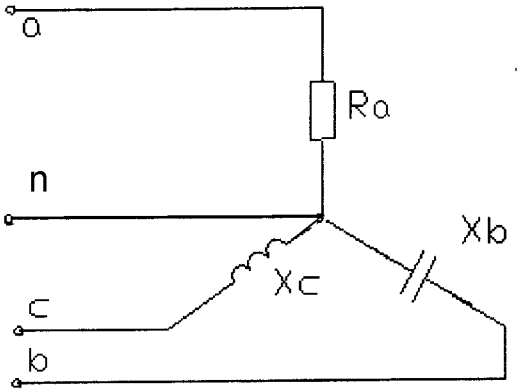


Рисунок 3.62

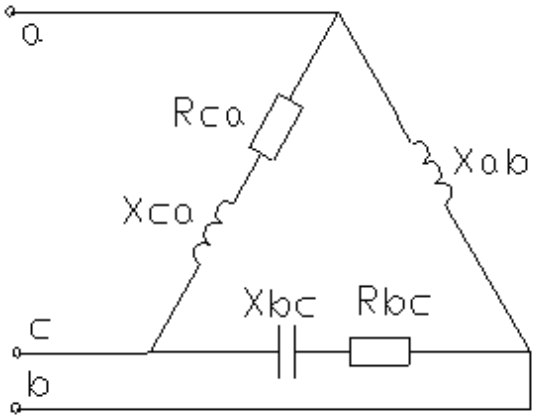


Рисунок 3.63

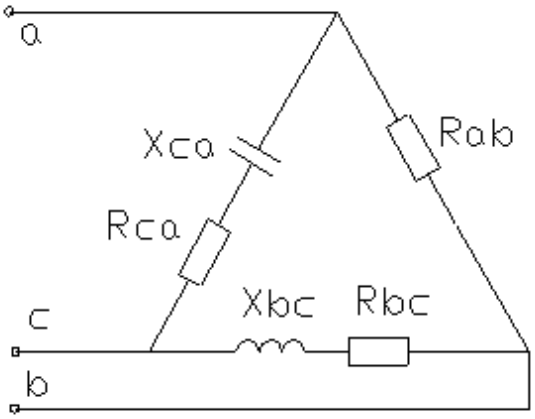


Рисунок 3.64

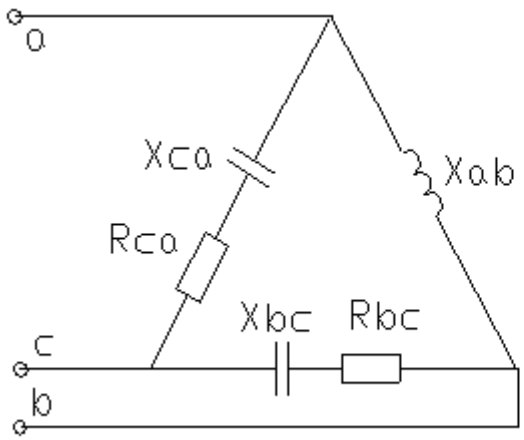


Рисунок 3.65

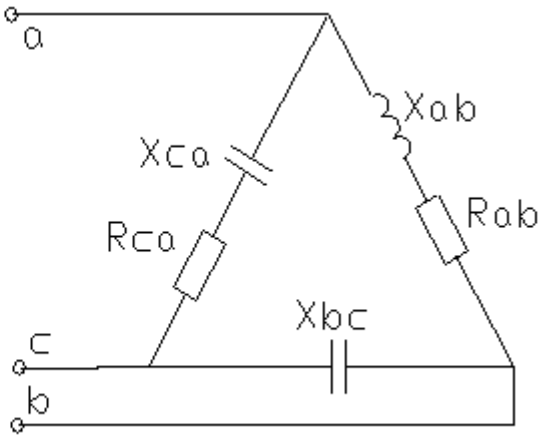


Рисунок 3.66

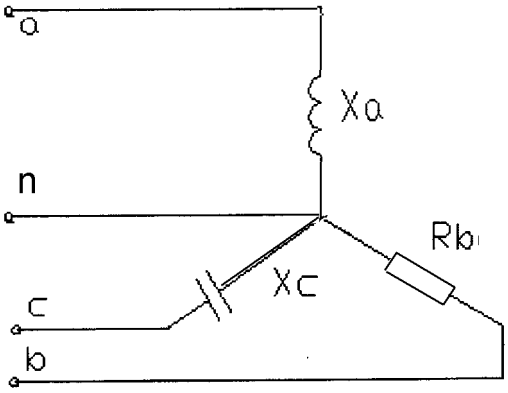


Рисунок 3.67

3.3 Контрольная работа 2

Расчет и построение статических характеристик двигателя постоянного тока

Задание. Для двигателя постоянного тока с заданным электродвигателем, параметры которого приведены в табл. 3.3, необходимо:

1) считая источник питания идеальным, построить механические характеристики ω(M) для следующих случаев:

а) при номинальном магнитном потоке ($\Phi = \Phi_{ном}$) и напряжениях на якорной цепи, равных: $U_я = -U_{яном}$; $-0{,}5\ U_{яном}$; $-0{,}25\ U_{яном}$; 0; $0{,}25\ U_{яном}$; $0{,}5\ U_{яном}$; $U_{яном}$;

в) при магнитном потоке $\Phi = \frac{3}{4}\Phi_{ном}$ и напряжениях на обмотке якоря, равных значениям пункта 1.а.

2) рассчитать жесткость механических характеристик двигателя;

3) построить электромеханические характеристики $\omega(I_я)$ для тех же случаев, что и в пункте 1;

4) полагая, что момент нагрузки, создаваемый рабочей машиной M_c, равен номинальному моменту двигателя, определить скорости вращения привода при работе в первом квадранте.

Таблица 3.3 – Параметры электродвигателя

№ варианта	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения (номинальная)	КПД, %	Сопротивление обмотки при 15 ºС, Ом		
					Якоря	Добавочных полюсов	Возбуждения
1	2	3	4	5	6	7	8
Тип 2ПБ112МГУХА4							
0	0,45	110	1060	64,5	1,29	1,12	111
1	0,45	220	1060	66	5,07	4,5	403
2	0,75	110	1500	70	0,565	0,565	84,3
3	0,75	220	1500	71	2,48	2,13	303
4	1,1	110	2200	74	0,308	0,304	84,3
5	1,1	220	2200	75	1,29	1,12	303
6	1,4	110	3000	78,5	0,196	0,134	111
7	1,4	220	3000	78,5	0,788	0,682	403
Тип 2ПБ112LГУХА4							
8	0,5	110	800	65	1,18	0,892	80
9	0,5	220	800	65,5	4,74	3,79	303
10	0,5	110	1000	68,5	0,74	0,74	80
11	0,63	220	1060	68,5	3,13	3,16	303
12	1	110	1600	74	0,378	0,378	80
13	1	220	1500	75	1,66	1,45	303
14	1,5	110	2240	79	0,139	0,128	80
15	1,5	220	2240	80	0,74	0,74	303
16	2	110	3000	81	0,103	0,11	80
17	2	220	3150	81	0,413	0,411	303
Тип 2ПН132МГУХЛ-4							
18	1,6	110	750	68	0,472	0,308	35
19	1,6	220	750	68,5	1,88	1,39	134
20	2,5	110	1000	72	0,271	0,204	35
21	2,5	220	1000	73,5	1,08	0,763	134
22	4	110	1500	77,5	0,14	0,094	35
23	4	220	1500	79	0,564	0,336	134
24	7	110	2200	81	0,067	0,049	25,6
25	7	220	2240	83	0,226	0,166	111
26	10,5	220	3000	84	0,14	0,094	111

Окончание таблицы 3.3

Тип 2ПН132LГУХЛ-4							
27	1,9	110	750	71	0,322	0,27	37,5
28	1,9	220	750	72	1,28	1	138
29	3	110	950	74,5	0,22	0,196	37,5
30	10,5	220	1000	75,5	0,88	0,64	138
31	5,5	110	1500	80	0,08	0,066	27,8
32	5,5	220	1500	80,5	0,322	0,27	101
33	8,5	220	2200	84	0,167	0,124	89
34	14	220	3150	86	0,08	0,066	76
Тип 2ПБ160МГУХЛ4							
35	2,1	110	800	77	0,235	0,151	46,4
36	2,1	220	750	76,5	0,99	0,72	177
37	2,5	110	1000	80,5	0,145	0,101	46,4
38	2,5	220	1000	80	0,59	0,43	177
39	4,2	110	1500	83,5	0,081	0,056	46,4
40	4,2	220	1500	84,5	0,326	0,208	177
41	6	220	2120	86,5	0,145	0,101	177
42	7,1	220	3000	85,5	0,081	0,056	201
Тип 2ПБ160LГУХЛ4							
43	2,5	110	750	78,5	0,171	0,131	49,4
44	2,5	220	800	79,5	0,609	0,526	181
45	3,2	110	1060	82	0,096	0,073	49,4
46	3,2	220	1060	82,5	0,385	0,364	181
47	5,3	220	1500	85,5	0,216	0,175	181
48	7,5	220	2240	88	0,096	0,073	181
49	8,1	220	3350	86,5	0,044	0,031	181
Тип 2ПО160МГУХЛ4							
50	2,5	110	750	75	0,235	0,151	40,7

3.4 Примеры решения контрольных задач

Задача № 1

Для электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 3.68, по заданным параметрам и э.д.с. источника определить действующие значения и начальные фазы токов во всех ветвях цепи и напряжений на отдельных участках. Рассчитать активные, реактивные и полные мощности отдельных участков и всей

цепи. Составить уравнение баланса активных и реактивных мощностей. Указать показания приборов, изображенных на рисунке.

Дано: E = 100 В, f = 50 Гц, C_2 = 318 мкф, L_3 = 15,9 мГн, R_1 = 2 Ом, R_2 = 10 Ом, R_3 = 4 Ом.

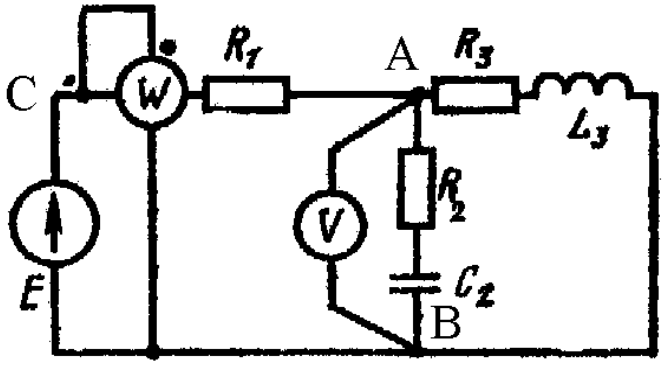


Рисунок 3.68 – Схема цепи синусоидального тока

Решение:

1. Указывают направления токов в ветвях.
2. Определяют сопротивления реактивных элементов.

$X_{L3} = \omega \cdot L_3 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_3 = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 15{,}9 \cdot 10^{-3} = 5$ Ом

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega \cdot C_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_2} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 318 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ Ом.}$$

3. Выражают э.д.с. источника и сопротивление ветвей в комплексной форме.

$$\dot{E} = E \cdot e^{j\alpha} = 100 \cdot e^{j0^o} = 100B,$$

$$\underline{Z_1} = R_1 + j \cdot 0 = 2 = 2 \cdot e^{j0^0} \text{ Ом,}$$

$$\underline{Z_2} = R_2 + j \cdot (x_L - x_{C_2}) = 10 - j \cdot 10 = \sqrt{10^2 + 10^2} \cdot e^{-j45^0} = 10\sqrt{2} \cdot e^{-j45^o} = 14 \cdot e^{-j45^0} \text{ Ом,}$$

$\underline{Z_3} = R_3 + j\cdot(x_{L_3} - x_{C_3}) = 4 + j\cdot(5-0) = 10 - j\cdot 10 = \sqrt{10^2+10^2}\cdot e^{-j45^0} = 10\sqrt{2}\cdot e^{-j45^o} = 14\cdot e^{-j45^0}$ Ом.

4. Рассчитывают эквивалентное комплексное сопротивление цепи:

$$\underline{Z_{23}} = \frac{\underline{Z_2}+\underline{Z_3}}{\underline{Z_2}+\underline{Z_3}} = \frac{10\sqrt{2}\cdot e^{-j45^0}\cdot\sqrt{41}\cdot e^{j51^o}}{10 - j\cdot 10 + 4 + j5} = \frac{10\sqrt{82}\cdot\cdot e^{j51^o - j45^o}}{14 - j5} = \frac{10\sqrt{82}\cdot\cdot e^{j6^o}}{\sqrt{14^2+5^2}\cdot e^{-j20^o}} =$$

$$\frac{10\sqrt{82}\cdot\cdot e^{j6^o}}{\sqrt{221}\cdot e^{-j20^o}} = 10\sqrt{\frac{82}{221}}\cdot e^{j6^0+j20^o} = 10\sqrt{\frac{82}{221}}\cdot e^{j26^0} = 6{,}09\cdot\cos 26^o + j6{,}09\cdot\sin 26^o =$$

$6{,}09\cdot 0{,}9 + j\cdot 6{,}09\cdot 0{,}44 = 5{,}48 + j\cdot 2{,}6814$ Ом,

$$\underline{Z_{ЭКВ}} = \underline{Z_1} + \underline{Z_{23}} = 2 + 5{,}48 + j\cdot 2{,}68 = 7{,}48 + j\cdot 2{,}68 = \sqrt{7{,}48^2 + 2{,}68^2}\cdot e^{j19{,}7^0} =$$

$\sqrt{55{,}95 + 7{,}18}\cdot e^{j19{,}7^o} = 7{,}95\cdot e^{j19{,}7^0}$ Ом.

5. Определяют ток в ветви, содержащей источник, а затем напряжения и токи других ветвей:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{\underline{Z_{ЭКВ}}} = \frac{100}{7{,}95\cdot e^{j19{,}7^o}} = 12{,}6\cdot e^{-j19{,}7^o} \text{ А},$$

$$\dot{U}_{AB} = \dot{I}_1\cdot\underline{Z}_{23} = 12{,}6\cdot e^{-j19{,}7^0}\cdot 6{,}09\cdot e^{j26^0} = 76{,}9\cdot e^{j6{,}3^o} \text{ В},$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z_2}} = \frac{76{,}9\cdot e^{j6{,}3^o}}{14\cdot e^{-j45^o}} = 5{,}5\cdot e^{j51{,}3^o} \text{ А},$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z_3}} = \frac{76{,}9\cdot e^{j6{,}3^o}}{6{,}4\cdot e^{j51^o}} = 12\cdot e^{-j44{,}7^o} \text{ А},$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 = 12{,}6 \cdot e^{-j19{,}7^0} \cdot 2 \cdot e^{j0^0} = 25{,}2 \cdot e^{-j19{,}7^0} \text{ В.}$$

6. Зная комплексные значения токов и напряжений, определяют их действующие значения и начальные фазы:

$$I_1 = 12{,}6 \text{ А}, \quad \alpha_{I_1} = 19{,}7^o,$$

$$I_2 = 5{,}5 \text{ А}, \quad \alpha_{I_2} = 51{,}3^o,$$

$$I_3 = 12 \text{ А}, \quad \alpha_{I_3} = -44{,}7^o,$$

$$U_{AB} = 76{,}9 \text{ В}, \quad \alpha_{U_{AB}} = 6{,}3^o,$$

$$U_{CA} = 25{,}2 \text{ В}, \quad \alpha_{U_{AC}} = -19{,}7^o.$$

7. Рассчитывают мощности отдельных участков и всей цепи:

$$\underline{S_1} = \dot{U}_{CA} \cdot \overset{*}{I}_1 = 25{,}2 \cdot e^{-j19{,}7^0} \cdot 12{,}6 \cdot e^{j19{,}7^o} = 318 \cdot e^{j0^0} = 318 \quad B \cdot A,$$

$$P_1 = 318 Bò, Q_1 = 0, S_1 = 318 \quad B \cdot A,$$

$$\underline{S_2} = \dot{U}_{AB} \cdot \overset{*}{I}_2 = 76{,}9 \cdot e^{j6{,}3^0} \cdot 5{,}5 \cdot e^{-j51{,}3^o} = 423 \cdot e^{-j45^0} = 423 \cdot \cos 45^0 - j \cdot 423 \cdot \sin 45^0 = 299 - j \cdot 299$$

$$B \cdot A,$$

$$P_2 = 299 Вт, Q_2 = -299 вар, S_2 = 423 B \cdot A,$$

$$\underline{S_3} = \dot{U}_{AB} \cdot \overset{*}{I}_3 = 76{,}9 \cdot e^{j6{,}3^0} \cdot 12{,}6 \cdot e^{j44{,}7^o} = 923 \cdot \cos 51^0 + j \cdot 923 \cdot \sin 51^0 = 581 + j \cdot 717 \quad B \cdot A,$$

$$P_3 = 581 Вт, Q_3 = 717 вар, S_3 = 923 B \cdot A,$$

$$\underline{S} = \dot{E} \cdot \overset{*}{I}_1 = 100 \cdot 12{,}6 \cdot e^{j19{,}7^0} = 1260 \cdot e^{j19{,}7^o} = 1260 \cdot \cos 19{,}7^0 + j \cdot 1260 \cdot \sin 19{,}7^0 = 1198 + j \cdot 418 \ B \cdot A,$$

$$P = 1198 Вт, Q_3 = 418 вар, S_3 = 1260 B \cdot A$$

8. Составляют уравнения баланса активных и реактивных мощностей цепи. Из закона сохранения энергии следует, что должны выполняться равенства:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \ ,$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 ,$$

$$1198 = 318 + 299 + 581 = 1198 \text{ Вт},$$

$$418 = 0 - 299 + 717 = 418 \text{ вар}.$$

Баланс активных мощностей и баланс реактивных мощностей соблюдается. Включенный ваттметр измеряет активную мощность всей цепи. Его показание равно 1198 Вт. Вольтметр измеряет действующее значение напряжения на участке ав. $U_{AB} = 76{,}9$ В.

Задача № 2

Для трехфазной электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 3.69, по заданным параметрам и линейному напряжению необходимо определить фазные и линейные токи, ток в нейтральном проводе (для четырех проводной схемы), активную мощность всей цепи и каждой фазы отдельно. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Дано: $U_Л$ = 220 В, $R_а$ = 3 Ом, $R_в$ = 3 Ом, $R_с$ = 4 Ом, $X_а$ = 4 Ом, $X_в$ = 5,2 Ом, $X_с$ = 3 Ом.

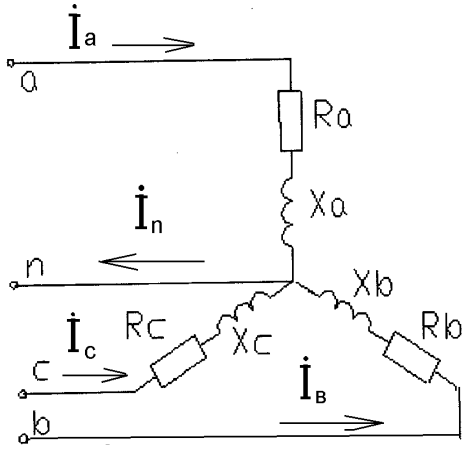


Рисунок 3.69 – Схема цепи трехфазного тока

Решение:

1. Указывают направления токов в ветвях (расчет производится с использованием комплексных значений).

2. Выражают фазные напряжения и сопротивления ветвей в комплексной форме

$$\dot{U}_a = \frac{U_Л}{\sqrt{3}} \cdot e^{j0^0} = 127 \cdot e^{j0^0} \text{ В}, \ \dot{U}_в = 127 \cdot e^{-j120^0} \text{ В}, \ \dot{U}_c = 127 \cdot e^{-j240^0} = 127 \cdot e^{j120^0} \text{ В},$$

$$\underline{Z_a} = R_a + j \cdot X_a = 3 + j \cdot 4 = 5 \cdot e^{j53^0} \text{ Ом}, \ \underline{Z_в} = 3 + j \cdot 5{,}2 = 6 \cdot e^{j60^0} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z_C} = 4 + j \cdot 3 = 5 \cdot e^{j37^0} \text{ Ом}.$$

3. Определяют комплексные и действующие значения токов в отдельных фазах (при соединении звездой $I_Л = I_Ф$) .

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z_a}} = \frac{127 \cdot e^{j0^o}}{5 \cdot e^{j53^o}} = 25{,}4 \cdot e^{-j53^o} \text{ А}, \ I_a = 25{,}4 \text{ А},$$

$$\dot{I}_в = \frac{\dot{U}_в}{\underline{Z_в}} = \frac{127 \cdot e^{-j120^o}}{6 \cdot e^{j60^o}} = 21{,}2 \cdot e^{-j180^o} \text{ А}, \ I_a = 21{,}2 \text{ А},$$

$$\dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c} = \frac{127 \cdot e^{j120^o}}{5 \cdot e^{j37^o}} = 25{,}4 \cdot e^{j83^o} \text{ А}, \quad I_a = 25{,}4 \text{ А}.$$

4. Комплекс тока в нейтральном проводе определяется как сумма комплексов линейных токов

$$\dot{I}_n = \dot{I}_a + \dot{I}_в + \dot{I}_c,$$

$$\dot{I}_n = 25{,}4 \cdot e^{-j53^o} + 21{,}2 \cdot e^{-j180^o} + 25{,}4 \cdot e^{j83^o} = 5{,}9 \cdot e^{j124^o} \text{ А}, \quad I_n = 5{,}9 \text{ А}.$$

5. Активные мощности отдельных фаз и всей цепи будут равны

$$P_a = I_a^2 \cdot R_a = 25{,}4^2 \cdot 3 = 1935{,}5 \text{ Вт}, \quad P_в = I_в^2 \cdot R_в = 21{,}2^2 \cdot 3 = 1348{,}3 \text{ Вт},$$

$$P_c = I_c^2 \cdot R_c = 25{,}4^2 \cdot 4 = 2580{,}6 \text{ Вт},$$

$$P = P_a + P_в + P_c = 1935{,}5 + 1348{,}3 + 2580{,}6 = 5864{,}4 \text{ Вт}.$$

6. Используя комплексные значения токов и напряжений, строят векторную диаграмму (рисунок 3.70).

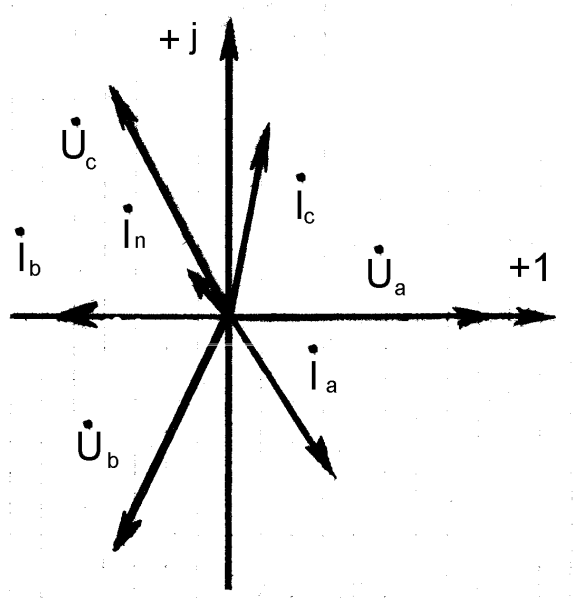


Рисунок 3.70 – Векторная диаграмма

Задача № 3

Расчет и построение статических характеристик двигателя постоянного тока

Дано:

- номинальная мощность, $P_н$ = 250 Вт,
- номинальное напряжение якоря, $U_{ян}$ =220 В,
- номинальное напряжения обмотки возбуждения, $U_{вн}$ =110 В,
- номинальная частота вращения, $п_{ном}$ =1120 об/мин,
- КПД, 61,5 %,
- сопротивление обмотки при t = 15 °С, Ом:
- якоря $R_Я$ = 13,25;
- добавочных полюсов $R_{дп}$ = 8,65;
- возбуждения $R_В$=192.

Решение

1. Определяют номинальную скорость вращения ротора двигателя:

$$\omega = \frac{2\cdot\pi\cdot n_Н}{60} = \frac{2\cdot\pi\cdot 1120}{60} = 117{,}23c^{-1}.$$

2. Определяют номинальное значение момента нагрузки двигателя:

$$M_Н = \frac{P_Н}{\omega_Н} = \frac{250}{117{,}23} = 2{,}13\ Н\cdot м.$$

3.Номинальный ток якоря

$$\eta_Н = \frac{P_Н}{P_{ПОТР}} = \frac{P_Н}{U_{ЯН}I_{ЯН} + I_{ВН}U_{ВН}}.$$

Откуда

$$I_{ЯН} = \frac{P_Н - \eta\cdot I_{ВН}\cdot U_{ВН}}{\eta\cdot U_{ЯН}}.$$

Номинальный ток обмотки возбуждения:

$$I_{ВН} = \frac{U_{ВН}}{k_t \cdot R_B} = \frac{110}{1{,}28 \cdot 192} = 0{,}45 \text{ А},$$

где k_t – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления при нагреве, k_t =1,28.

$$I_{ЯН} = \frac{P_Н - \eta \cdot I_{ВН} \cdot U_{ВН}}{\eta \cdot U_{ЯН}} = \frac{250 - 0{,}615 \cdot 0{,}45 \cdot 110}{0{,}615 \cdot 220} = 1{,}62 \text{ А}.$$

4. Сопротивление якорной цепи

$$R_{ЯЦ} = k_t\,(R_Я + R_{дп}) + R_{ЩЦ},$$

$$R_{ЩЦ} = \frac{\Delta U_{ЩЦ}}{I_{ЯН}} \approx \frac{2}{1{,}62} = 1{,}23 \text{ Ом}.$$

Тогда с учетом этого:

$$R_{ЯЦ} = k_t\,(R_Я + R_{дп}) + R_{ЩЦ} = 1{,}28\,(13{,}25 + 8{,}65) + 1{,}23 = 29{,}26 \text{ Ом}.$$

5. Значение $к \cdot Ф_н$ двигателя определяют на основании электромеханической характеристики ДПТ:

$$\omega = \frac{U_Я}{к \cdot Ф} - \frac{R_{ЯЦ}}{к \cdot Ф} \cdot I_Я.$$

Для номинального режима

$$\omega_{Н} = \frac{U_{ЯН}}{к \cdot Ф_{Н}} - \frac{R_{ЯЦ}}{к \cdot Ф_{Н}} \cdot I_{ЯН},$$

$$к \cdot Ф_{Н} = \frac{U_{ЯН} - R_{ЯЦ} \cdot I_{ЯН}}{\omega_{Н}} = \frac{1}{117{,}23}(220 - 29{,}26 \cdot 1{,}62) = 1{,}47 \quad В \cdot с.$$

6. Механические характеристики двигателя строят на основании значений, вычисленных по выражению

$$\omega = \frac{U_{Я}}{к \cdot Ф} - \frac{R_{ЯЦ}}{(к \cdot Ф)^2} \cdot M,$$

когда $U_{Я}$ и $R_{ЯЦ}$ – постоянные значения. Графики – прямые линии, которые строят по двум точкам.

Принимаем М = 0, тогда скорость холостого хода равна

$$\omega_{о} = \frac{U_{Я}}{к \cdot Ф_{Н}}.$$

Значения скорости при $Ф = Ф_{Н}$ и указанных в задании напряжениях приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

$U_{Я}$, В	220	110	55	0	-55	-110	-220
$\omega_{о}, \frac{рад}{с}$	149,66	74,83	37,41	0	-37,41	-74,83	-149,66

Когда $M = 2 \cdot M_{Н} = 2 \cdot 2{,}13 = 4{,}26$ $(Н \cdot М)$ и $Ф = Ф_{Н}$ – угловая скорость.

$$\omega = \frac{U_Я}{к \cdot Ф_Н} - 2 \cdot \frac{R_{ЯЦ}}{(к \cdot Ф_Н)^2} \cdot M_Н.$$

Значения скорости, рассчитанные по данной формуле при разных напряжениях, приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Значения скорости при разных напряжениях

$U_Я$, В	220	110	55	0	-55	-110	-220
$\omega, \frac{рад}{с}$	91,98	17,15	-20,27	-57,68	-95,1	-132,5	-207,3

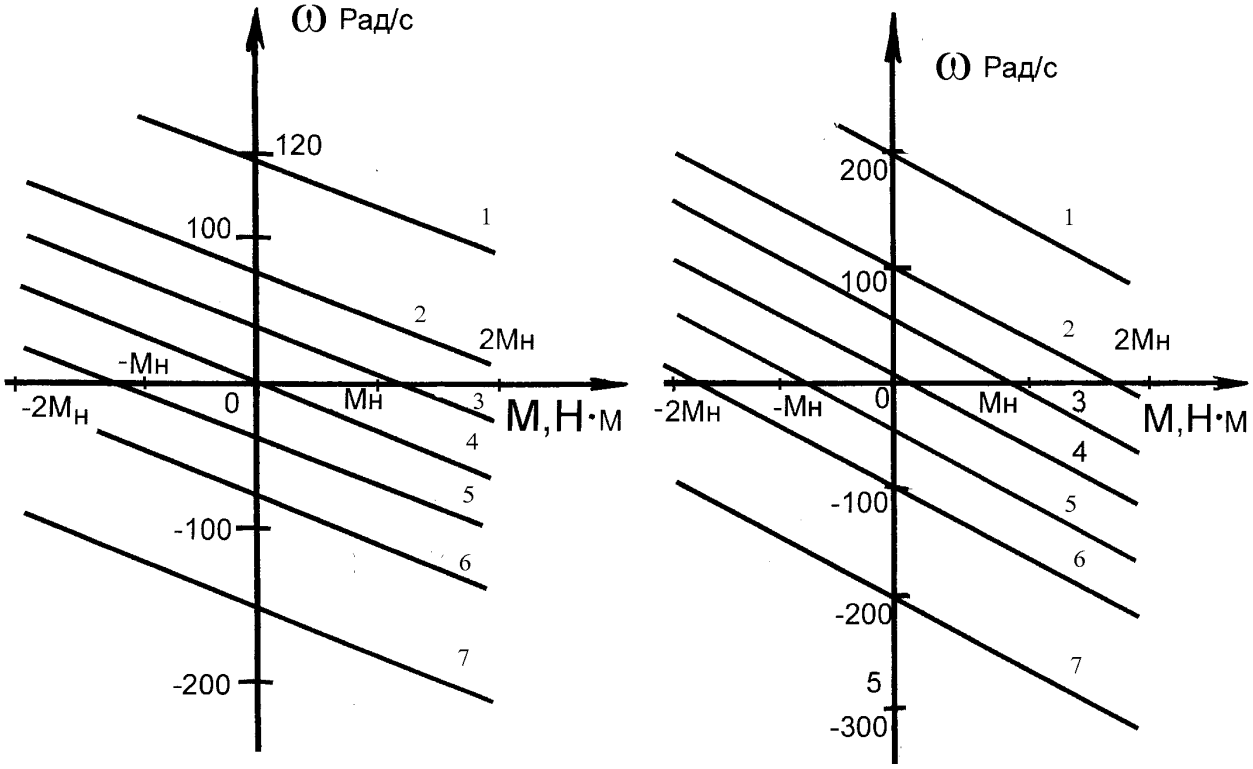
Аналогично рассчитываются значения $\omega_о$ при $Ф = \frac{3}{4} Ф_Н$ (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Значения скорости при разных напряжениях

$U_Я$, В	220	110	55	0	-55	-110	-220
$\omega_о, \frac{рад}{с}$	199,5	99,8	49,9	0	-49,9	-99,8	-199,5
$\omega, \frac{рад}{с}$	97	-2,8	-52,7	-102,5	-152,4	-202,3	-302,1

Графики механических характеристик двигателя, построенные по значениям таблиц 3.4, 3.5 и 3.6, представлены на рисунках 3.71 а (при $Ф = Ф_Н$) и 3.71 б (при $Ф = \frac{3}{4} Ф_Н$).

Числовые значения на графиках соответствуют порядковому номеру напряжения в таблицах.



а б

Рисунок 3.71 – Механические характеристики двигателя: а – при $\Phi = \Phi_{Н}$, б – при $\Phi = \frac{3}{4}\Phi_{Н}$

7. Жесткости механических характеристик определяют по формуле

$$\beta = \frac{(к \cdot \Phi)^2}{R_{ЯЦ}}.$$

Когда

$$\Phi = \Phi_{Н}, \quad \beta_1 = -\frac{(1{,}47)^2}{29{,}26} = -0{,}074,$$

$$\Phi = \frac{3}{4}\Phi_{Н}, \quad \beta_2 = -\frac{(\frac{3}{4}1{,}47)^2}{29{,}26} = -0{,}042.$$

8. Электромеханическую характеристику двигателя $\omega(I_Я)$ строят с учетом равенства

$$\omega = \frac{U_Я}{к \cdot Ф} - \frac{R_{ЯЦ}}{к \cdot Ф} \cdot I_Я .$$

Значение скорости при $I_Я = 0$ совпадает со значением ω_o, приведенным в таблицах 3.4 и 3.6. Когда $I_Я = 2 \cdot I_{ЯН}$, значения скорости рассчитываются по формулам:

при $Ф = Ф_Н$, $\omega' = \frac{U_Я}{к \cdot Ф_Н} - 2\frac{R_{ЯЦ}}{к \cdot Ф_Н} \cdot I_Я$,

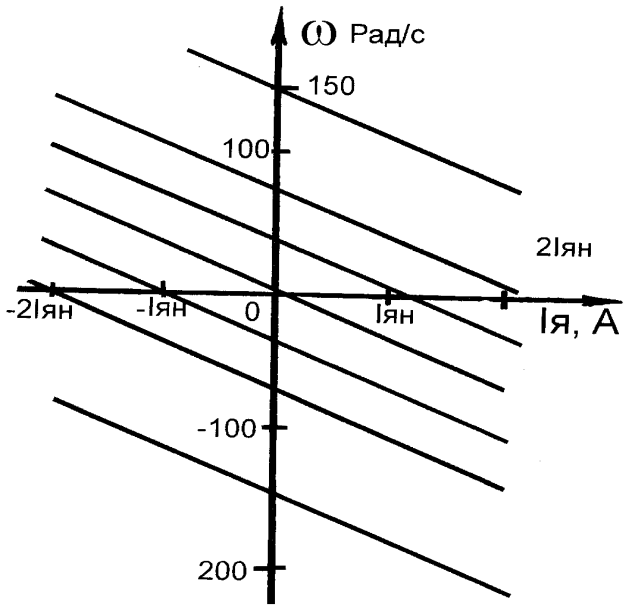
при $Ф = \frac{3}{4}Ф_Н, \omega'' = \frac{U_Я}{\frac{3}{4}к \cdot Ф_Н} - 2\frac{R_{ЯЦ}}{\frac{3}{4}к \cdot Ф_Н} \cdot I_Я$.

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.7.

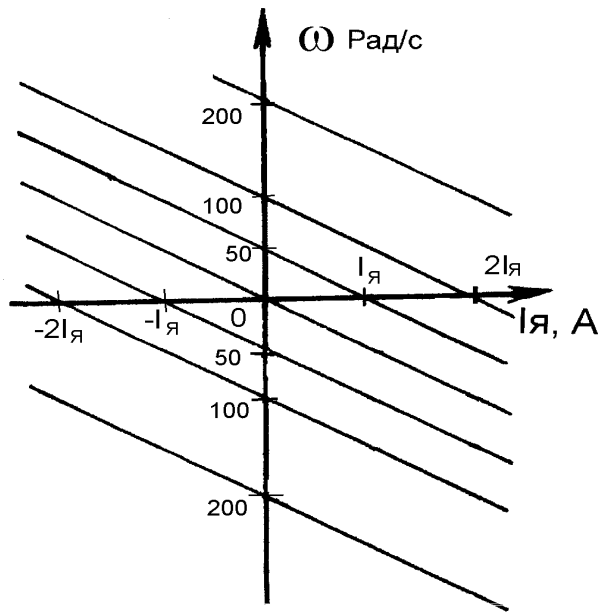
Таблица 3.7 – Значения скоростей при разных напряжениях

$U_Я$, В	220	110	55	0	-55	-110	-220
$\omega', \frac{рад}{с}$	91,98	17,15	-20,27	-57,68	-95,1	-132,5	-207,3
$\omega'', \frac{рад}{с}$	95	-4,7	-54,6	-104,5	-154,4	-204,3	-304,1

Графики электромеханических характеристик двигателя, построенные по значениям таблиц 3.4, 3.6 и 3.7, представлены на рисунке 3.72 а (при $Ф = Ф_Н$) и рисунке 3.72 б (при $Ф = \frac{3}{4}Ф_Н$).



а



б

Рисунок 3.72 – Электромеханические характеристики двигателя: а – при $\Phi = \Phi_Н$, б – при $\Phi = \frac{3}{4}\Phi_Н$

9. Для определения скоростей вращения двигателя при моменте нагрузки, равном $M_с = M_Н$, необходимо в первом квадранте рисунка 3.71 провести вертикальные линии для значений $M_с = M_Н = 2{,}13(Н \cdot м)$.

Точки пересечения проведенных линий с графиками характеристик двигателя определяют значения скоростей для разных напряжений $U_Я$ и магнитных потоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А. С. Электротехника / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – Москва : Высшая школа, 2003. – 542 с.
2. Электротехника / В. Г. Герасимов [и др.] ; под ред. В. Г. Герасимова. – Москва : Высшая школа, 1985. – 768 с.
3. Москаленко, В. В. Электрический привод / В. В. Москаленко. – Москва : Высшая школа, 2000. – 368 с.
4. Рыбаков, Н. С. Электротехника / Н. С. Рыбаков. – Москва : РИОР, 2007. – 160 с.
5. Ильинский, Н. Ф. Основы электропривода / Н. Ф. Ильинский. – Москва : Издат. дом МЭИ, 2007. – 224 с.
6. Электротехника / Ю. М. Борисов [и др.]. – Москва : Энергоиздат, 1985. – 559 с.
7. Бутырин, П. А. Электротехника / П. А. Бутырин. – Москва : Академия, 2007. – 272 с.
8. Электрические цепи : методические указания к лабораторным работам по электротехнике для студентов механических специальностей / сост. А. В. Ильющенко, В. Ф. Куксевич. – Витебск : УО «ВГТУ», 2006. – 35 с.
9. Электрические машины : методические указания к лабораторным работам по электротехнике / Ю. В. Попов, А. С. Кусков. – Витебск : УО «ВГТУ», 2006. – 28 с.