

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА»

В.П. Богун

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И
ЭЛЕКТРОНИКА**

**Методические указания по изучению дисциплины
и задание для контрольной работы**

Пенза 2014

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА»

В.П. Богун

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания по изучению дисциплины
и задание для контрольной работы
студентам заочной формы обучения
по направлению 110800.62 – «Агроинженерия»

Пенза 2014

УДК 621.3 (075)

ББК 31.2 (я7)

Б 74

Рецензент – С.В. Тимохин, доктор технических наук, профессор кафедры «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика» ПГСХА.

Печатается по решению методической комиссии инженерного факультета от 2013 г., протокол № 4.

Богун, Владимир Петрович

Б 74 Электротехника и электроника: методические указания по изучению дисциплины и задание для контрольной работы / В.П. Богун. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. – 73 с.,: ил.

В методическом пособии дается содержание изучаемых разделов и литература для их изучения, распределение времени на самостоятельное изучение материала и вопросы для самопроверки знаний.

Приведено задание для выполнения контрольной работы, методические указания и числовые примеры расчета цепей.

Пособие предназначено для студентов заочной формы обучения по направлению 110800.62 – «Агроинженерия», а также может быть использовано студентами заочной формы обучения по направлению 190600.62 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», изучающих дисциплину «Общая электротехника и электроника».

© ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА», 2014

© В.П. Богун, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
1.1 Цель и задачи дисциплины.....	4
1.2 Требования к результатам освоения дисциплины....	4
1.3 Распределение учебного времени.....	6
1.4 Рекомендуемая литература.....	8
Раздел 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ РАЗДЕЛОВ.....	10
2.1 Электрические цепи.....	10
2.1.1 Электрические цепи постоянного тока.....	10
2.1.2 Электрические цепи синусоидального тока.....	11
2.1.3 Трехфазные цепи.....	15
2.2 Магнитные цепи и электромагнитные устройства.....	17
2.2.1 Магнитные цепи.....	17
2.2.2 Трансформаторы.....	19
2.2.3 Электрические машины.....	21
2.3 Электроника.....	26
2.3.1 Электронные приборы.....	26
2.3.2 Электронные устройства.....	35
Раздел 3 ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ....	41
3.1 Задание для контрольной работы.....	41
3.2 Примеры расчета цепей.....	52
3.2.1 Пример расчета к задаче 1.....	52
3.2.2 Пример расчета цепи к задаче 2.....	57
3.2.3 Пример расчета к задаче 3.....	60
3.2.4 Пример расчета к задаче 4.....	63
ПРИЛОЖЕНИЯ	68

Раздел 1 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель и задачи дисциплины

Цель – формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков анализа электромагнитных и электронных устройств.

Задачи: изучение законов электротехники; методов анализа электрических цепей постоянного и синусоидального токов, нелинейных цепей постоянного тока, магнитных цепей; устройства и физической сущности явлений в трансформаторах и машинах постоянного и переменного тока; физических основ явлений в полупроводниковых материалах; основных свойств и характеристик полупроводниковых приборов; принципов построения и основных особенностей электронных устройств; способов выполнения операций в цифровых устройствах; принципов цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразования; элементов полупроводниковой памяти; классификации и структуры арифметико-логических устройств.

1.2 Требования к результатам освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать физические основы явлений в электрических цепях, законы электротехники, методы анализа электрических и магнитных цепей, принципы работы основных электрических машин, их рабочие и пусковые характеристики, элементную базу современных электронных устройств (полупроводниковых диодов, транзисторов и микросхем), параметры современных электронных устройств (усилителей, вторичных источников питания и микропроцессорных комплексов) и принципы действия универсальных логических элементов;

уметь понимать сущность процессов в электрических цепях постоянного и синусоидального токов; применять законы электрических цепей для их анализа; определять режимы электротехнических и электронных цепей и электромагнитных устройств, а также магнитных цепей постоянного тока;

владеть методами анализа электрических цепей постоянного и переменного тока, навыками работы на компьютере и в сети Интернет, вычислительными методами решения систем уравнений, определения состояния электрооборудования и электронных приборов и выбора электрооборудования, электронных приборов и устройств.

Изучение дисциплины направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

- владение основными методами, способами и средствами получения, хранения и переработки информации;
- способность к использованию основных законов естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности и применение методов математического анализа и моделирования;
- способность решать инженерные задачи с использованием основных законов электротехники;
- способность проводить измерения и оценивать их результаты;
- готовность к использованию технических средств автоматизации и систем автоматизации технологических процессов;
- способность использовать информационные технологии и базы данных в агроинженерии;
- готовность к профессиональной эксплуатации машин и технологического оборудования для производства, хранения и первичной переработки сельскохозяйственной продукции;
- способность использовать современные методы монтажа, наладки электрооборудования, поддержания режимов работы электрифицированных и автоматизированных технологических процессов непосредственно связанных с биологическими объектами;
- способность использовать технические средства для определения параметров технологических процессов и качества продукции;
- готовность к обработке результатов экспериментальных исследований;
- готовность изучать и использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по профилю деятельности.

Курс «Электротехника и электроника» базируется на дисциплинах физики и высшей математики и является предшествующей для изучения таких предметов как метрология; стандартизация и сертификация; сельскохозяйственные машины; тракторы и автомобили; электропривод и электрооборудование; надежность и ремонт машин; автоматика; эксплуатация машинно-тракторного парка.

1.3 Распределение учебного времени

Учебным планом на изучение дисциплины предусмотрено 4 з.е. (144 часа).

Из них 20 часов занятий (10 лекционных и 10 лабораторных) проводятся во время сессии в пятом семестре (см. Приложения 1 и 2).

После отработки лабораторных работ и защиты отчетов студенты получают задание для выполнения контрольной работы.

В шестом семестре сдается контрольная работа и экзамен. К экзамену допускаются студенты, выполнившие лабораторные работы и получившие зачет по контрольной работе.

На самостоятельную работу отводится 124 часа (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение трудоемкости самостоятельной работы по видам работ

№ п/п	Виды работ	Время, ч
1	Изучение отдельных тем и вопросов	74
2	Подготовка к выполнению лабораторных работ и их защита	10
3	Выполнение контрольной работы	13
4	Подготовка к экзамену	27
Итого		124

Таблица 2 – Распределение времени на самостоятельное изучение дисциплины «Электротехника и электроника»

№ п/п	Разделы	Содержание разделов	Время на изучение, ч	
			подраз- делов	разделов
1	Электрические цепи	1.1 Электрические цепи постоянного то- ка 1.2 Электрические цепи синусоидально- го тока 1.3 Трехфазные цепи	4 10 4	18
2	Магнитные цепи и электромагнитные устройства	2.1 Магнитные цепи 2.2 Трансформаторы 2.3 Электрические машины	4 6 14 АД-6 МПТ-4 СМ-4	24
3	Электроника	3.1 Электронные приборы 3.2 Электронные устройства	10 АУ-7 ИУ-7 ЦУ-8	32
Итого			74	

Примечание. АД – асинхронные двигатели; МПТ – машины постоянного тока; СМ – синхронные машины; АУ – аналоговые устройства; ИУ – импульсные устройства; ЦУ – цифровые устройства

Для самостоятельного изучения дисциплины и выполнения контрольной работы достаточно пяти недель (примерно по 20 часов в неделю).

Распределение времени на самостоятельное изучение разделов приведено в таблице 2.

Рекомендуется следующий порядок изучения курса:

- прочитать очередной раздел в учебнике и обязательно разобратся в решении задач, приводимых примерах;
- после этого воспроизвести в памяти и записать в тетрадь основные определения и формулы. Это позволит не только закрепить основные элементы прочитанного, но и даст возможность проверить усвоение материала и покажет какие параграфы необходимо прочитать еще раз;
- наиболее трудные разделы следует конспектировать. Затем необходимо ответить на вопросы для самопроверки;
- завершающим этапом изучения раздела является решение задач контрольного задания.

1.4 Рекомендуемая литература

а) основная:

1. Горбунов А.Н. Электротехника: учебник для сельскохозяйственных вузов / А.Н. Горбунов, И.Д. Кабанов, А.В. Кравцов и др. – М., 2005. – 271 с.
- 2 Данилов И.А. Общая электротехника; уч. пособие для бакалавров/ И.А.Данилов. – М.: Юрайт, 2013. – 673с, ил. Серия бакалавр.
3. Немцов М.В. Электротехника и электроника: учебник для вузов / М.В. Немцов. – М.: Высш. шк., 2007. – 561 с. :ил.

б) дополнительная:

1. Богун В.П. Общая электротехника и электроника : лабораторный практикум / В.П. Богун. – Пенза: РИО ПГСХА, 2009. – 220 с. : ил.
2. Богун В.П. Электротехника. Расчет линейных цепей постоянного тока : пособие для самостоятельной работы студентов / В.П. Богун. – Пенза: РИО ПГСХА, 2000. – 43 с.
3. Богун В.П. Электротехника. Расчет однофазных цепей синусоидального тока: пособие для самостоятельной работы студентов / В.П. Богун. – Пенза: РИО ПГСХА, 2001. – 52 с.

4. Богун В.П. Электротехника. Расчет трехфазных электрических цепей синусоидального тока. Расчет и построение механической характеристики асинхронного трехфазного электродвигателя: пособие для самостоятельной работы студентов / В.П. Богун. – Пенза: РИО ПГСХА, 2005. – 77 с.

5. Бородин И.Ф. Основы электроники учебники и учебные пособия для студентов вузов / И.Ф. Бородин, А.Х. Шогенов, Ю.А. Судник, В.М. Богоявленский. – М.: Колос, 2009. – 207 с. : ил.

6. Волынский Б.А. Электротехника / Б.А. Волынский, Е.И. Зейн, З.Е. Шатерников. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

7. Жаворонков М.А. Электротехника и электроника: учебное пособие для вузов. / М.А. Жаворонков, А.В. Кузин. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 400 с.: ил.

8. Касаткин А.С. Электротехника: учебное пособие для вузов / А.С. Касаткин. – М.: Энергоатомиздат, 2002.

9. Новожилов О.П. Электротехника и электроника/ О.П. Новожилов. – 2 изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2013. – 673 с, ил. Серия бакалавр.

Настоящие методические указания разработаны в соответствии с Федеральными образовательными стандартами ВПО по направлениям подготовки бакалавров: 110800 – «Агроинженерия» и 190600 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (Приказы Министерства образования и науки Российской Федерации № 522 от 9.11.2009 г. и № 706 от 8.12.2009 г.) и с учетом примерной программы дисциплины «Электротехника и электроника», утвержденной Советом УМО по агроинженерному образованию 20.04.2012 г.

Раздел 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ РАЗДЕЛОВ

2.1 Электрические цепи

2.1.1 Электрические цепи постоянного тока

Изучаемые вопросы

Основные понятия и определения. Элементы электрической цепи и ее топология. Классификация цепей. Схемы замещения источников энергии и их взаимные преобразования. Законы Ома и Кирхгофа. Мощность цепи постоянного тока. Баланс мощностей.

Методы анализа линейных цепей постоянного тока

Структурные преобразования схем замещения цепей (последовательное, параллельное, смешанное, «звезда-треугольник», «треугольник-звезда»). Составление и решение уравнений Кирхгофа. Метод контурных токов. Метод узловых напряжений.

Двухполюсники и четырехполюсники. Уравнения и схемы замещения.

Характеристика нелинейных элементов. Расчет нелинейных цепей постоянного тока.

Методические рекомендации

Изучение этой темы не вызывает затруднений, так как основной материал изучался в курсе физики. Все электрические цепи с одним источником питания рассчитываются по закону Ома. При расчете смешанных цепей необходимо цепь упростить путем последовательных преобразований и определить эквивалентное сопротивление. Разветвленные цепи с несколькими источниками энергии рассчитываются с использованием законов Кирхгофа.

На изучение этой темы целесообразно затратить примерно 4 часа.

Вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте закон Ома и законы Кирхгофа.
2. Как определить эквивалентное сопротивление при последовательном, параллельном и смешанном соединении сопротивлений?
3. Как рассчитываются электрические цепи с одним источником ЭДС?
4. Как рассчитываются разветвленные цепи с несколькими источниками ЭДС?

2.1.2 Электрические цепи синусоидального тока

Изучаемые вопросы

Получение синусоидальной электродвижущей силы (ЭДС). Основные параметры синусоидальных функций времени (мгновенное значение, амплитуда, фаза, начальная фаза, период, частота).

Действующее и среднее значения синусоидальных величин.

Способы представления синусоидальных ЭДС, напряжений и токов.

Метод расчета с использованием векторных диаграмм. Анализ электрических процессов в цепях с резистивным, индуктивным и емкостным элементами с помощью векторных диаграмм и комплексных чисел. Резонансы напряжений и токов в цепях синусоидального тока. Треугольники напряжений, токов, сопротивлений, проводимостей и мощностей. Колебания энергии и мощности в цепях синусоидального тока. Активная, реактивная и полная мощности.

Коэффициент мощности цепи. Технико-экономическое значение повышения коэффициента мощности.

Методические рекомендации

Изучение данной темы следует начать с вопроса получения переменной ЭДС. Обратите внимание на широкое использование переменного напряжения на производстве и в быту, связанное с преимуществами переменного тока перед постоянным.

Явления, протекающие в цепи синусоидального, тока значительно сложнее по сравнению с цепями постоянного тока. Поэтому важно уяснить основные параметры синусоидального тока: мгновенное и амплитудное значение тока, период, частота, фаза и начальная фаза. О величине синусоидальных ЭДС напряжений и токов судят не по максимальному, а по их среднеквадратичному значению, которое принято называть действующим или эффективным значением. Оно в $\sqrt{2}$ раз меньше максимального значения. В установках переменного тока амперметры и вольтметры показывают действующие значения токов и напряжений.

В цепи переменного тока имеют место три вида сопротивлений:

- активное – R ;
- реактивное индуктивное – X_L ;
- реактивное емкостное – X_C .

Активное сопротивление R отражает процесс преобразования электрической энергии в другие виды, например: тепловую. При этом на резисторе выделяется мощность $P = I^2 R$, называемая активной. Ток и напряжение на резисторе совпадают по фазе.

Реактивные сопротивления X_L и X_C связаны с процессами обмена реактивной энергией между источником питания и реактивными элементами (индуктивной катушкой и конденсатором).

Реактивная индуктивная мощность $Q_L = I^2 X_L$ вар, а реактивная емкостная мощность $Q_C = I^2 X_C$ вар.

Общая реактивная мощность цепи $Q = Q_L - Q_C$, причем Q_L и Q_C всегда противоположны по знаку. Другими словами в каждый момент времени, когда катушка получает от источника электромагнитную энергию, конденсатор возвращает ее источнику и наоборот.

Идеальная катушка и идеальный конденсатор вызывают углы сдвига между током и напряжением, равные $\frac{\pi}{2}$, но противоположные по знаку:

$$\varphi_L = \frac{\pi}{2}; \varphi_C = -\frac{\pi}{2}.$$

Полная мощность S определяется как геометрическая сумма активной и реактивной мощностей, ВА: $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI$.

Важным показателем цепей синусоидального тока является коэффициент мощности: $\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z}$.

Если между напряжением и током в цепи имеется сдвиг фаз, то напряжение и ток можно разложить на две составляющие – активную и реактивную:

$$U_a = U \cos \varphi, \quad U_p = U \sin \varphi,$$

$$I_a = I \cos \varphi, \quad I_p = I \sin \varphi.$$

Необходимо учесть, что такое разложение часто используется при расчете цепей.

В неразветвленной цепи, содержащей резистор, индуктивную катушку и конденсатор, режим работы (активный, индуктивный, емкостной) задается соотношением между реактивными сопротивлениями X_L и X_C .

При $X_L > X_C$, $U_L > U_C$ входное напряжение U опережает по фазе ток на угол $\varphi_L > 0$. Это индуктивный режим.

При $X_L < X_C$, $U_L < U_C$ входное напряжение U отстает по фазе от тока на угол $\varphi_C < 0$. Это емкостной режим.

При равенстве реактивных сопротивлений X_L и X_C равны и противоположны по фазе реактивные составляющие напряжения $U_L = U_C$, а общее напряжение U содержит только активную составляющую U_R , совпадающую по фазе с током. Угол $\varphi = 0$, а $\cos \varphi = 1$. Такой режим называется резонансом напряжений.

В параллельных ветвях с индуктивностью и емкостью при равенстве реактивных проводимостей $B_L = B_C$ возникает резонанс токов.

При этом реактивные составляющие токов ветвей I_L и I_C равны по величине и противоположны по фазе. Общий ток цепи содержит только активную составляющую $I = I_a$ и принимает минимальное значение. Коэффициент мощности цепи достигает максимального значения $\cos \varphi = 1$. На практике параллельное электроприемникам включение емкостей в однофазной и трехфазной цепях широко используется для разгрузки питающих линий (проводов, кабелей, шин) от реактивной составляющей тока.

Это позволяет уменьшить потери электроэнергии в передающих линиях, и тем самым экономить ее, выбирать меньшие се-

чения проводов и кабелей для питания тех же самых электроприемников.

На изучение этой темы целесообразно затратить 10 часов.

После изучения этого материала следует ознакомиться с решением типовых задач и решить первую задачу контрольного задания.

Вопросы для самопроверки

1. Объясните, как получают синусоидальный ток и каковы его преимущества перед постоянным током.

2. Назовите и поясните основные параметры синусоидального тока (мгновенное значение, амплитуда, фаза, начальная фаза, период, частота).

3. Что такое действующее значение синусоидального тока и напряжения? Каково соотношение между действующим значением и амплитудой?

4. Начертите треугольник сопротивлений. Выразите полное сопротивление Z через активное R и реактивное X сопротивления.

5. Начертите векторные диаграммы токов и напряжений для элементов: R , X_L , X_C , R и X_L , R и X_C .

6. Начертите треугольник мощностей и запишите соотношения, которые можно из него получить.

Поясните смысл активной, реактивной и полной мощностей и укажите их единицы измерения.

8. Запишите формулы для расчета активной и полной мощностей.

9. От чего зависит режим работы неразветвленной цепи синусоидального тока, содержащей резистор, индуктивную катушку и конденсатор?

10. Что такое резонанс напряжений? В каких цепях он возникает и при каком условии?

11. Что такое резонанс токов? В каких цепях он возникает и при каком условии?

12. Какими методами можно увеличить коэффициент мощности электроустановки?

13. По какой формуле определяется величина емкости для повышения коэффициента мощности электроустановки?

2.1.3 Трехфазные цепи

Изучаемые вопросы

Получение трехфазной системы ЭДС. Соединение источников и приемников звездой. Трехпроводная и четырехпроводная схемы. Соединение потребителей треугольником. Мощности трехфазной цепи. Расчет симметричных режимов трехфазных цепей.

Методические рекомендации

В настоящее время почти вся электрическая энергия вырабатывается, передается и потребляется с помощью трехфазных источников, линий электропередач и электроприемников переменного тока. Это объясняется преимуществами трехфазных систем переменного тока:

- меньшим расходом металла на провода и меньшими потерями мощности на их нагрев;
- возможностью получения двух рабочих напряжений (линейного и фазного) в одной сети;
- возможностью получения вращающегося магнитного поля, используемого в генераторах и двигателях переменного тока;
- простотой, надежностью и экономичностью трехфазных генераторов, двигателей, трансформаторов и др. устройств.

Алгебраическая сумма мгновенных значений ЭДС (напряжений) или геометрическая сумма их действующих значений в симметричной системе всегда равна нулю.

Необходимо уяснить, что существуют две схемы соединения обмоток генераторов, двигателей, трансформаторов и других потребителей в трехфазных цепях: звездой и треугольником.

В трехфазной системе при схеме звезда при симметричной нагрузке фаз линейное напряжение в $\sqrt{3}$ раз больше фазного, а линейный и фазный токи одинаковы.

При схеме соединения треугольник при симметричной нагрузке линейный ток в $\sqrt{3}$ раза больше фазного, а линейное и фазное напряжения одинаковы.

Относительно схемы соединения звезда следует помнить, что симметричные потребители (электродвигатели, трансформаторы, нагреватели) включаются по трехпроводной схеме (без нулевого провода).

Осветительная нагрузка в бытовых и производственных помещениях всегда несимметрична, поэтому она включается по четырехпроводной схеме звезда (с нулевым проводом).

Расчет трехфазной цепи в симметричном режиме сводится к расчету одной фазы и производится аналогично расчету однофазной цепи синусоидального тока.

При несимметричной нагрузке расчет токов производится для каждой фазы. Ток в нулевом проводе (при соединении звездой) может быть определен по векторной диаграмме геометрическим сложением векторов фазных токов.

Линейные токи (при схеме треугольником) могут быть найдены аналогично.

Мощности симметричной трехфазной системы независимо от схемы соединения потребителей определяются по формулам:

полная	$S = 3U_{\phi} I_{\phi} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} ;$
активная	$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi ;$
реактивная	$Q = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi .$

После изучения данного раздела решите задачи № 2 и № 3 контрольной работы.

Время на изучение раздела 2.1.3 примерно 4 часа.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите преимущества трехфазной системы токов.
2. Какое соотношение между линейным и фазным напряжениями в трехфазной системе, соединенной звездой?
3. Для каких потребителей можно применять трехпроводную и четырехпроводную схему звезда?
4. Каково назначение нулевого провода?
5. Какие соотношения существуют между фазными и линейными токами и напряжениями в трехфазной системе, соединенной треугольником?

6. Запишите выражения активной, реактивной и полной мощности симметричной трехфазной системы.

2.2 Магнитные цепи и электромагнитные устройства

2.2.1 Магнитные цепи

Изучаемые вопросы

Магнитные цепи электротехнических устройств. Основные величины, характеризующие магнитные цепи (магнитная индукция, магнитный поток, напряженность магнитного поля, магнитная проницаемость). Свойства ферромагнитных материалов.

Основные законы магнитных цепей (закон полного тока, закон Ома, законы Кирхгофа), методы расчета магнитных цепей при постоянной магнитодвижущей силе.

Методические рекомендации

Магнитной цепью называется совокупность магнитодвижущих сил (МДС), ферромагнитных тел или каких-либо иных сред, по которым замыкается магнитный поток.

Произведение числа витков катушки w на протекающий в ней ток I называется магнитодвижущей силой (МДС) $F = Iw$, [А].

МДС вызывает в магнитной цепи магнитный поток подобно тому, как ЭДС вызывает ток в электрической цепи.

Величина магнитного потока Φ прямо пропорциональна МДС Iw и обратно пропорциональна магнитному сопротивлению R_M .

$$\Phi = \frac{I \cdot w}{R_M}.$$

Данное выражение представляет собой закон Ома для магнитной цепи. Проведем аналогию с выражением $I = \frac{E}{R}$ для электрической цепи. Аналогией тока I является магнитный поток Φ , аналогией ЭДС $\rightarrow$ МДС, и аналогией $R \rightarrow R_M$.

В основу расчета магнитных цепей положен закон полного тока

$$I_w = \sum_{k=1}^n H_k \cdot l_k.$$

Определение МДС по заданному потоку является прямой задачей.

Определение магнитного потока по заданной МДС является обратной задачей.

Разветвленные магнитные цепи рассчитывают, применяя первый и второй законы Кирхгофа.

Время на изучение данного подраздела составляет 4 часа.

Вопросы для самопроверки

1. Как подразделяются материалы по магнитным свойствам?
2. Какие материалы называют ферромагнитными?
3. Как подразделяют ферромагнитные материалы в зависимости от магнитной проницаемости?
4. В каких электротехнических устройствах применяют магнитомягкие и магнитотвердые ферромагнитные материалы?
5. Дайте определение магнитной цепи.
6. Что такое магнитодвижущая сила катушки?
7. Запишите уравнение закона полного тока.
8. Запишите уравнение закона Ома для магнитной цепи.
9. Что такое магнитное сопротивление, от каких величин оно зависит?
10. Запишите выражения, сформулируйте законы Кирхгофа для магнитных цепей.
11. Опишите порядок расчета неразветвленной магнитной цепи.

2.2.2 Трансформаторы

Изучаемые вопросы

Устройство и принцип действия однофазного трансформатора. Анализ электромагнитных процессов в трансформаторе. Схема замещения и уравнения трансформатора. Характеристики и параметры трансформатора.

Автотрансформаторы. Измерительные трансформаторы. Сварочные трансформаторы. Трехфазные трансформаторы.

Методические рекомендации

На изучение данного подраздела выделяется 6 часов.

Трансформатор представляет собой статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Принципиально устройство однофазного трансформатора весьма простое: он имеет не менее двух обмоток, у которых есть общий магнитопровод, и которые изолированы друг от друга.

При изучении принципа действия трансформатора важно уяснить, что передача энергии из первичной обмотки во вторичную происходит с помощью переменного магнитного потока.

Принцип действия основан на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки с числом витков w_1 в сеть в ней возникает ток I_0 , создающий МДС $I_0 w_1$ (вторичная обмотка с числом витков w_2 разомкнута).

МДС $F_0 = I_0 w_1$ создает в сердечнике переменный магнитный поток Φ , пронизывающий обе обмотки и индуцирующий в них ЭДС.

$$e_1 = -w_1 \frac{d\phi}{dt} \text{ (ЭДС самоиндукции)}$$

$$\text{и } e_2 = -w_2 \frac{d\phi}{dt} \text{ (ЭДС взаимной индукции)}$$

Действующие значения этих ЭДС пропорциональны числу витков, частоте напряжения f и амплитуде магнитного потока Φ_m :

$$E_1 = 4.44 f w_1 \Phi_m, \quad E_2 = 4.44 f w_2 \Phi_m$$

Соотношение ЭДС обмоток называется коэффициентом трансформации

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = n$$

После подключения к вторичной обмотке потребителя в ней возникнет ток I_2 , создающий МДС $F_2 = I_2 w_2$, которая направлена встречно рабочему потоку Φ . Трансформатор мгновенно увеличит ток первичной обмотки до значения I_1 и создаст МДС $F_1 = I_1 w_1$, компенсирующую размагничивающее действие F_2 .

Таким образом, рабочий поток Φ и, создающая его, МДС $F_0 = I_0 w_1 = I_1 w_1 + I_2 w_2$ сохраняются неизменными при любой нагрузке.

Отношение токов в обмотках трансформатора обратно пропорционально их напряжениям

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2} = n$$

Силовые трансформаторы имеют очень высокий КПД, достигающий 96-99 %. Потери энергии в трансформаторах разделяются на постоянные и переменные. Постоянные потери – потери в магнитопроводе на перемагничивание сердечника и от вихревых токов – пропорциональны квадрату напряжения и не зависят от тока нагрузки. Переменные потери – потери в обмотках – пропорциональны квадрату полного тока, поэтому с возрастанием тока нагрузки они резко возрастают.

КПД достигает максимума при равенстве постоянных и переменных потерь, что соответствует 50-60 %-ой загрузке трансформатора.

При изучении измерительных трансформаторов тока обратите внимание, почему нельзя размыкать в рабочем режиме зажимы вторичной обмотки.

Вопросы для самопроверки

1. Объясните назначение и устройство силовых трансформаторов.
2. Объясните принцип работы однофазного трансформатора.

3. Что такое коэффициент трансформации?
4. Почему магнитопроводы трансформаторов набирают из отдельных листов электротехнической стали?
5. Какие потери энергии происходят в трансформаторе и как они изменяются с изменением нагрузки?
6. Что такое КПД трансформатора и как он изменяется с изменением нагрузочного тока?
7. Как устроен трехфазный трансформатор?
8. Что такое автотрансформатор?
9. Поясните назначение и устройство измерительных трансформаторов.

2.2.3 Электрические машины

Изучаемые вопросы

Машины постоянного тока (МПТ). Устройство и принцип действия МПТ. Схемы возбуждения МПТ. Работа МПТ в режиме генератора и двигателя. Эксплуатационные характеристики МПТ. Сравнительные характеристики и области применения МПТ.

Асинхронные двигатели (АД). Устройство и принцип действия трехфазного АД. Схемы включения асинхронных двигателей. Механические и рабочие характеристики АД. Пуск и регулирование скорости АД.

Синхронные машины (СМ). Устройство и принцип действия СМ. Работа СМ в режиме генератора и двигателя.

Методические рекомендации

Время, необходимое для изучения электрических машин составляет 14 часов. Это время целесообразно распределить по типам машин следующим образом:

- машины постоянного тока – 4 ч.;
- асинхронные двигатели – 6 ч.;
- синхронные машины 4 ч.

Машины постоянного тока широко применяют в качестве двигателей и генераторов.

Двигатели постоянного тока позволяют плавно регулировать частоту вращения и создают большой момент при пуске, поэтому их широко используют в качестве тяговых на электро-транспорте (трамваи, троллейбусы, электрокары, электромобили, электропоезда, электровозы).

Генераторы применяют в качестве источников постоянного напряжения, зарядки аккумуляторов, сварки, в бортовом электрооборудовании тракторов и автомобилей и других устройствах.

МПТ состоит из неподвижной части (станины) и вращающегося ротора (якоря).

Рабочее поле машины создается обмоткой возбуждения, находящейся на главных полюсах. Обмотка возбуждения выполняется из тонкого провода с большим количеством витков.

Это позволяет при небольших токах возбуждения получить достаточно мощное рабочее поле.

Питание обмотки возбуждения может производиться от постороннего источника или от самой машины (машины с самовозбуждением) параллельно, последовательно или смешанно.

Якорь МПТ барабанного типа. Обмотка в виде секций уложена в пазы на внешней поверхности якоря. Каждая секция состоит из нескольких витков. Стороны секций находятся под полюсами противоположной полярности. Концы проводников якорной обмотки припаяны к коллекторным пластинам.

Щеточно-коллекторный узел – важная деталь МПТ.

Для работы в режиме генератора необходимо создать рабочее поле машины и привести якорь во вращение приводным двигателем.

По закону электромагнитной индукции в проводниках якорной обмотки наведется ЭДС, изменяющаяся по синусоидальному закону.

Щеточно-коллекторное устройство преобразует синусоидальную ЭДС генератора в постоянную по знаку величину. При подключении нагрузки к генератору в якоре потечет ток, совпадающий по направлению с ЭДС.

При взаимодействии тока с рабочим полем возникнет электромагнитный тормозной момент, направленный встречно моменту приводного двигателя.

Для работы МПТ в режиме двигателя необходимо создать рабочее поле машины и пропустить по якорной обмотке ток от источника постоянного напряжения. При взаимодействии тока якоря с рабочим полем возникает электромагнитный момент, преодолевающий момент сопротивления механизма, связанного с валом якоря.

Щеточно-коллекторное устройство выполняет функцию инвертора (преобразователя постоянного тока в переменный). При перемещении стороны секции под полюс противоположной полярности щеточно-коллекторное устройство изменяет в ней направление тока. При этом сохраняется знак момента.

Асинхронные трехфазные электродвигатели являются основным типом двигателей для сельских электроустановок, так как обладают рядом достоинств:

- простота конструкции;
- невысокая стоимость;
- высокая надежность в эксплуатации;
- двигатели не требуют сложной аппаратуры при автоматическом управлении.

Принцип действия АД основан на использовании вращающегося магнитного поля, создаваемого токами, протекающими в фазах статорной обмотки.

Взаимодействие вращающегося магнитного поля с токами, наведенными в короткозамкнутой обмотке ротора этим же полем, создает вращающий момент, направленный в сторону вращения поля.

Наведение токов в обмотке ротора, и, следовательно, передача энергии со статора на ротор возможны только при отставании скорости вращения ротора от скорости магнитного поля, то есть при наличии скольжения, когда происходит пересечение проводников обмотки ротора полем.

Асинхронные двигатели изготавливают с короткозамкнутым или с фазным ротором (с контактными кольцами).

Следует уяснить почему двигатели с фазным ротором имеют повышенный пусковой момент и уменьшенный пусковой ток по сравнению с двигателями с короткозамкнутым ротором.

Необходимо также разобраться, почему у двигателей с короткозамкнутым ротором регулировать частоту вращения можно

только ступенями – путем переключения числа полюсов в обмотке статора или плавно – путем изменения частоты питающего напряжения.

Пусковые токи асинхронных короткозамкнутых двигателей в 4-7 раз больше номинального значения. Обычно короткозамкнутые двигатели пускаются в ход путем прямого включения в сеть.

Синхронные машины широко применяют в качестве генераторов и двигателей.

Синхронные генераторы установлены на всех типах электростанций.

Синхронные двигатели обычно применяют в приводах большой мощности. На металлургических заводах, шахтах, холодильниках они приводят во вращение насосы, компрессоры, вентиляторы и другие механизмы, работающие с неизменной скоростью.

Специальные синхронные двигатели малой мощности применяют в устройствах, требующих строгого постоянства частоты вращения (электрочасы, автоматические самопишущие приборы, устройства программирования и др.).

Статор синхронной машины устроен аналогично асинхронной. Ротор представляет собой электромагнит, обмотка которого обтекается постоянным током (обмотка возбуждения).

Питание обмоток возбуждения осуществляют от генератора постоянного напряжения, либо через трехфазный выпрямитель, подключенный к статорной обмотке.

При работе в режиме генератора приводной двигатель вращает ротор с частотой n_1 . Магнитное поле ротора вращается с той же частотой и индуцирует в обмотке статора симметричную трехфазную систему ЭДС. Частота этой ЭДС пропорциональна частоте вращения ротора n_1 и числу пар полюсов ротора. С подключением нагрузки к генератору в фазах статорной обмотки появляется трехфазная симметричная система токов. Она создаст в статоре вращающееся магнитное поле, частота вращения которого равна частоте вращения ротора. Таким образом, в синхронном генераторе магнитное поле статора вращается синхронно с ротором. Это обстоятельство отражено в названии машины.

При увеличении момента приводного двигателя происходит угловое смещение между осями магнитных полей ротора и статора.

Ось магнитного поля ротора смещается относительно оси поля статора на угол θ (угол нагрузки) в направлении вращения ротора.

Мощность синхронной машины относительно сети отрицательна, генератор отдает энергию в сеть.

В режиме двигателя к статору подводится электрическая энергия от трехфазной сети. В статоре создается вращающееся магнитное поле.

Ротор приходит во вращение в направлении вращения поля статора с той же частотой за счет магнитной связи между полюсами.

За счет тормозного момента нагрузочного механизма ось магнитного поля ротора смещается на угол θ в сторону, противоположную направлению его вращения.

Оптимальный угол нагрузки при работе синхронной машины составляет $25-30^\circ$.

При $\theta > 90^\circ$ машина выпадает из синхронизма (магнитная связь между полюсами ротора и статора нарушается).

Вопросы для самопроверки

1. Назовите области применения машин постоянного тока.
2. Опишите устройство машины постоянного тока.
3. Как классифицируют машины постоянного тока по способам питания обмоток возбуждения?
4. Объясните принцип работы генератора постоянного тока.
5. Какую функцию выполняет щеточно-коллекторное устройство в режиме генератора?
6. Объясните принцип работы двигателя постоянного тока.
7. Какую функцию выполняет щеточно-коллекторное устройство в режиме двигателя?
8. Опишите внешние характеристики генераторов постоянного тока последовательного, параллельного и смешанного возбуждения.
9. Как изменить направление вращения двигателя постоянного тока?
10. Что такое вращающееся магнитное поле и от чего зависит его частота вращения?

11. Объясните устройство и принцип действия трехфазного асинхронного электродвигателя.
12. Как устроены обмотки статора и ротора асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором?
13. Что называют скольжением в асинхронном двигателе?
14. По каким схемам включают статорные обмотки асинхронных электродвигателей?
15. Как изменить направление вращения ротора асинхронного двигателя?
16. Изобразите механическую характеристику асинхронного двигателя и покажите на ней пусковой момент, максимальный и номинальный.
17. Какие применяют способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя?
18. Дайте определение синхронной машины.
19. Назовите области применения синхронных генераторов и двигателей.
20. Объясните устройство синхронной машины.
21. Какое соотношение существует между числом пар полюсов, частотой тока и скоростью вращения ротора синхронной машины?
22. Изложите принцип работы синхронного генератора.
23. Изложите принцип работы синхронного двигателя.
24. Как осуществляется пуск синхронного двигателя, имеющего асинхронную пусковую обмотку?
25. Что такое синхронный компенсатор?

2.3 Электроника

2.3.1 Электронные приборы

Изучаемые вопросы

Физические основы работы полупроводниковых приборов. Полупроводниковые диоды. Стабилитроны. Тиристоры.

Транзисторы биполярные и полевые. Схемы включения. Вольтамперные характеристики.

Оптоэлектронные приборы. Фотоприемники. Светодиоды. Оптроны. Микроэлектронные интегральные схемы.

Источники вторичного электропитания. Однополупериодная и двухполупериодная однофазная и многофазная схемы выпрямления. Управляемый источник напряжения. Сглаживающие фильтры.

Методические рекомендации

На изучение подраздела 2.3.1 необходимо отвести 10 часов.

При изучении физических основ работы полупроводниковых приборов необходимо уяснить, что для создания этих приборов наиболее часто используют кристаллы германия, кремния, арсенида галлия и селена, которые относятся к IV группе периодической системы элементов.

Каждый из четырех валентных электронов атома элемента IV группы образует с соседними атомами общие электронные пары (ковалентная связь). При температуре 0^0 К все валентные электроны связаны ковалентно, т.е. полупроводник ведет себя как диэлектрик.

При повышении температуры некоторые электроны приобретают значительную кинетическую энергию, покидают свои атомы и превращаются в свободные.

При наличии электрического поля свободные электроны движутся направленно, создавая в полупроводнике ток. Такая электропроводность называется электронной или проводимостью *n*-типа.

В атоме, потерявшем электрон, образуется свободное место – дырка. На это место от соседнего атома может перейти валентный электрон, на месте которого возникает дырка. При наличии внешнего электрического поля возникает поток дырок, противоположный движению электронов. Электропроводность полупроводника, обусловленная направленным движением дырок, называется дырочной или проводимостью *p*-типа.

В полупроводниках типа *n* концентрация электронов превышает концентрацию дырок. Электроны называют основными носителями тока, а дырки – неосновными. В полупроводнике типа *p* дырки – основные носители, а электроны – неосновные.

Для изготовления полупроводниковых приборов необходимо, чтобы в полупроводнике один из типов проводимости значительно преобладал над другим. Для этого в химически чистый полупроводник вводят незначительное количество примеси – элементы V или III группы периодической системы.

При контакте полупроводников p - и n -типов электроны диффундируют в p -область, а дырки в n -область. Пограничный слой n -области заряжается положительно, а пограничный слой p -области – отрицательно. Между пограничными слоями возникает электрическое поле, которое является потенциальным барьером для основных носителей тока. p - n -переход называют запирающим слоем. Если направление внешнего электрического поля противоположно направлению поля p - n -перехода (« + » на p -области, « - » на n -области), то потенциальный барьер уменьшается, возрастает концентрация зарядов в p - n -переходе, ширина и сопротивление перехода уменьшается. При изменении полярности источника внешнее электрическое поле совпадает с направлением поля p - n -перехода, ширина и сопротивление перехода возрастает. Следовательно, p - n -переход обладает вентильными свойствами.

На использовании вентильных свойств p - n -перехода основана работа диодов, транзисторов, тиристоров и других приборов.

Полупроводниковым диодом называют прибор с одним выпрямляющим p - n -переходом, имеющий два вывода: анод и катод. Основное назначение выпрямительного диода – преобразование переменного тока в постоянный (выпрямление). Выпрямительный диод представляет собой электронный ключ, управляемый приложенным к нему напряжением. Если напряжение приложено в прямом направлении, то ключ замкнут, а при обратном – разомкнут.

Стабилитрон – кремниевый диод, сконструированный для работы на обратной ветви вольтамперной характеристики.

Тиристоры – полупроводниковые приборы с тремя или более последовательно включенными p - n -переходами и работающие в двух устойчивых состояниях – открытом или закрытом.

Перевод тиристора из закрытого состояния в открытое производится воздействием внешнего напряжения (тока).

Следует уяснить, что тиристор – это электронный бесконтактный ключ.

Диодный тиристор (динистор) имеет два электрода: анод и катод и управляется напряжением.

Триодный тиристор (тринистор) кроме анода и катода имеет управляющий электрод. С увеличением тока управления напряжение переключения снижается.

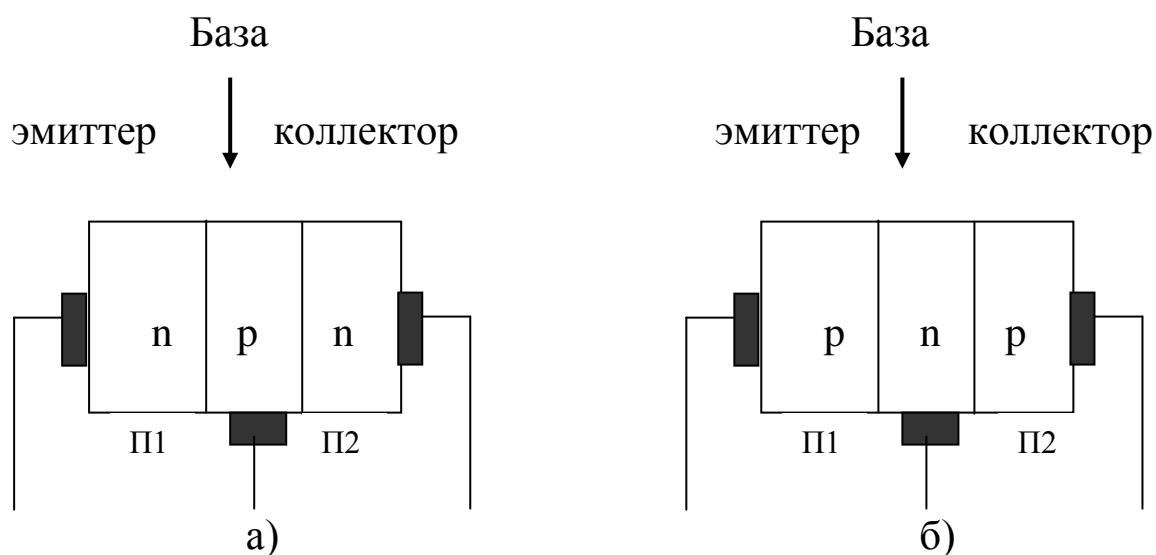
Основная область применения тиристоров – преобразовательная техника (управляемые выпрямители, инверторы, преобразователи напряжения и частоты).

Перспективно использование тиристоров для автоматического управления сельскохозяйственными нагревательными и облучательными установками.

Биполярный транзистор – полупроводниковый прибор с двумя p - n -переходами, предназначенный для усиления, генерирования или преобразования электрических колебаний.

Название «биполярный» (двуполярный) означает, что в образовании тока через прибор участвуют носители зарядов двух типов (электроны и дырки).

Необходимо обратить внимание на важную особенность биполярного транзистора: в нем выходным током управляет входной ток.



*Рисунок 1 – Структура биполярных транзисторов:
а) типа n - p - n ; б) типа p - n - p*

Основным элементом транзистора является пластинка германия или кремния, в которой созданы три области с различными типами проводимости.

Две крайние области (эмиттер и коллектор) всегда имеют одинаковый тип проводимости (n или p), а средняя область (база) – другой (p или n).

Эмиттер испускает носители зарядов, коллектор собирает носители зарядов.

Для улучшения усилительных свойств транзисторы имеют асимметричную структуру. Площадь коллекторного перехода П2 » площади эмиттерного перехода П1. Толщина базы очень мала (единицы и десятки микрон).

Важно при изучении транзисторов уяснить, что они могут работать в трех режимах: активном, насыщения и отсечки.

В активном режиме транзисторы используются для усиления электрических сигналов. Переход П1 включен в прямом направлении, а П2 – в обратном.

В режиме насыщения переходы П1 и П2 включены в прямом направлении. Сопротивление транзистора минимально и он эквивалентен замкнутому контакту.

В режиме отсечки переходы П1 и П2 включены в обратном направлении. Транзистор закрыт и обладает высоким сопротивлением. Последние два режима используются при работе в ключевых устройствах.

В зависимости от того, какой из трех выводов транзистора является общим для входной и выходной цепей различают три схемы его включения: с общей базой (ОБ); общим коллектором (ОК); общим эмиттером (ОЭ).

Последняя схема (ОЭ) обеспечивает усиление тока, напряжения и наибольшее усиление мощности входного сигнала, поэтому получила наибольшее практическое применение в различных электронных устройствах.

Полевые транзисторы – активные полупроводниковые приборы, в которых выходной ток изменяется под действием электрического поля, создаваемого входным напряжением.

Полевые транзисторы называют униполярными (однополярными), так как электрический ток в них образуют только основные носители (электроны или дырки).

Название «активные» обозначает их способность усиливать электрические сигналы.

В транзисторах с управляющим *p-n*-переходом электрическое поле осуществляет изменение площади поперечного сечения объемного проводящего канала. Металлический электрод, создающий эффект поля, называют затвором (З), два других электрода – истоком (И) и стоком (С). Исток и сток обратимы. Истоком служит тот из них, из которого в канал поступают носители заряда, а стоком – тот электрод, через который эти носители уходят из канала во внешнюю цепь.

Другая разновидность полевых транзисторов выполняется с приповерхностным каналом, который может быть встроенным и индуцированным (наводиться в процессе работы).

В транзисторах этого типа затвор отделен от полупроводника слоем диэлектрика (двуокись кремния). Эти транзисторы обозначают аббревиатурой МОП (металл-окисел-полупроводник) и МДП (металл-диэлектрик-полупроводник).

Основными преимуществами полевого транзистора являются его высокое входное сопротивление и большая технологичность. Последнее обуславливает широкое применение МДП транзисторов при разработке интегральных схем.

Оптоэлектронные приборы – устройства, излучающие, воспринимающие, преобразующие электромагнитные излучения в инфракрасной, видимой или ультрафиолетовой частях спектра.

К источникам искусственного освещения в полупроводниковой электронике относят светоизлучающие диоды и лазеры.

К фотоприемникам относят фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры.

Фоторезисторы – это приборы, сопротивления которых изменяются под действием лучистой энергии.

Фотодиоды – это фотоэлементы с *p-n*-переходом, обратный ток которых изменяется под действием энергии оптического излучения. Фотодиод можно использовать в схемах с внешним источником напряжения (режим фотопреобразователя), так и без него (вентильный режим).

Фототранзисторы – активные фотоэлементы, так как не только образуют фототок, зависящий от освещенности, но и усиливают его.

Фототиристоры – приборы ключевого типа, управляемые световыми импульсами. Маломощным световым импульсом можно коммутировать мощные электрические импульсы.

Оптроны (оптопары) – полупроводниковые приборы, содержащие источник и приемник излучения, размещенные в едином корпусе и связанные фотонной связью.

Интегральная схема (ИС) – это микроэлектронное изделие, выполняющее функцию преобразования и обработки сигналов, имеющее высокую плотность упаковки полупроводниковых, электрически соединенных элементов, выполненное в единой технологической конструкции.

По конструктивно-технологическим признакам ИС разделяют на полупроводниковые, гибридные и пленочные.

По количеству элементов ИС делят на четыре группы:

- малые (1...100 элементов в одном кристалле);
- средние (до 1 тысячи элементов);
- большие (до 10 тысяч элементов);
- сверхбольшие (более 10 тысяч элементов).

Источники вторичного электропитания предназначены для получения напряжения, необходимого для питания электронных устройств.

Выпрямители. Выпрямители относительно небольшой мощности (до сотен ватт) получают энергию от однофазной сети. Более мощные выпрямители питаются от трехфазной сети.

Различают три типа однофазных выпрямителей: однополупериодный, двухполупериодный со средней точкой и двухполупериодный мостовой.

Наиболее простой из них – однополупериодный выпрямитель, состоящий из одного диода. Диод работает только половину периода, поэтому выпрямленное напряжение имеет большой коэффициент пульсации (1,57).

На практике широко применяют двухполупериодный мостовой выпрямитель. Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения у этого устройства значительно ниже (0,67), обратное напряжение на диодах вдвое меньше, чем в остальных схемах.

Трехфазный выпрямитель с нулевым выводом представляет собой три однополупериодных выпрямителя, включенных после-

довательно со вторичными обмотками трансформатора, соединенными в звезду и работающими на общую нагрузку.

Достоинство трехфазного выпрямителя: большая мощность и низкий коэффициент пульсаций (0,25). Частота пульсаций выпрямленного напряжения в 3 раза выше частоты напряжения сети.

Трехфазный мостовой выпрямитель представляет собой аналог трех однофазных мостовых выпрямителей, работающих на общую нагрузку.

Коэффициент пульсации данного выпрямителя не превышает 0,057, а частота пульсаций в 6 раз выше частоты сети.

Управляемый выпрямитель позволяет плавно регулировать величину выпрямленного напряжения. Управление в выпрямителе сводится к управлению моментом открывания тиристора. Угол управления α – это фазовый сдвиг между моментом включения тиристора и моментом появления положительной полуволны напряжения.

При $\alpha = 0$ – $U_{нсп}$ максимально, при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ $U_{нсп}$ уменьшается в 2 раза.

Сглаживающий фильтр – устройство, предназначенное для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения.

Емкостной фильтр включают параллельно нагрузочному резистору.

В положительный полупериод напряжения при открытом диоде конденсатор запасает энергию в своем электрическом поле. В отрицательный полупериод напряжения при закрытом диоде конденсатор разряжается на нагрузку, поддерживая уровень выпрямленного напряжения и сглаживая его пульсации.

Индуктивный фильтр, состоящий из дросселя, включают последовательно с нагрузочным резистором. В момент времени, когда диод открыт, по цепи течет ток. Дроссель запасает энергию в своем магнитном поле. Когда диод закрыт, ток в цепи поддерживается за счет ЭДС самоиндукции, наведенной в дросселе.

Индуктивные фильтры целесообразно применять в работе на низкоомную нагрузку (при больших токах).

Для улучшения сглаживания пульсаций применяют Г-образные фильтры LC-типа и RC-типа и П-образные (CLC- и CRC-) фильтры.

Вопросы для самопроверки

1. Какие носители зарядов образуют ток в полупроводниках?
2. Как создается электронная и дырочная электропроводность в полупроводниках?
3. Как создается p - n -переход и как изменяется его сопротивление при прямом и обратном воздействии поля внешнего источника ЭДС?
4. Что такое выпрямительный диод?
5. Что такое стабилитрон?
6. Что такое динистор?
7. Что такое тринистор?
8. Как управляются динисторы и тиристоры?
9. Поясните вольтамперные характеристики тиристора.
10. Назовите области применения тиристоров.
11. Что такое биполярный транзистор?
12. Поясните структурные схемы и обозначения биполярных транзисторов.
13. В каких режимах могут работать биполярные транзисторы?
14. Назовите три схемы включения биполярных транзисторов и их особенности.
15. Что такое полевые транзисторы?
16. Какие разновидности полевых транзисторов вы знаете и каковы их особенности?
17. Каковы основные преимущества полевых транзисторов?
18. Что такое оптоэлектронные приборы?
19. Что такое фоторезистор?
20. Что такое фотодиод и в каких режимах он может использоваться?
21. Что такое фототранзисторы?
22. Что такое фототиристоры?
23. Что такое оптроны?

24. Что такое интегральная микросхема? Какие разновидности интегральных схем вы знаете?
25. Как подразделяют интегральные микросхемы по количеству элементов и компонентов?
26. Что такое выпрямители?
27. Как работает однополупериодный полупроводниковый выпрямитель?
28. Поясните принцип работы двухполупериодных выпрямителей.
29. Каковы особенности трехфазных выпрямителей?
30. Что такое управляемый выпрямитель?
31. Поясните назначение и особенности емкостного и индуктивного сглаживающих фильтров.

2.3.2 Электронные устройства

Изучаемые вопросы

Усилители электрических сигналов. Классификация и характеристики. Частотные характеристики усилителей. Обратные связи в усилителях. Операционные усилители. Схемы, область применения. Генераторы гармонических колебаний.

Импульсные устройства. Формирование импульсов. Ключи. Триггеры. Генераторы.

Цифровые устройства. Основные логические операции и элементы. Комбинационные устройства. Триггеры.

Двоичные счетчики. Регистры. Цифроаналоговые и аналогоцифровые преобразователи. Микропроцессоры. МикроЭВМ.

Методические рекомендации

Время на изучение подраздела 2.3.2 составляет 22 часа.

Усилитель – устройство, увеличивающее мощность (напряжение, ток) входного сигнала за счет энергии внешних источников питания посредством усилительных элементов (электронных ламп, полупроводниковых приборов).

Усилители классифицируют:

- по виду усилительного элемента;

- функциональному назначению;
- диапазону усиливаемых частот;
- виду усиливаемых сигналов.

К основным характеристикам усилителей относят:

- коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности;
- коэффициент полезного действия;
- входное и выходное сопротивления;
- амплитудные, амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики.

Обратной связью называют передачу части энергии с выхода электронного устройства на его вход по цепи обратной связи. Если сигнал обратной связи противоположен по фазе входному сигналу, то они вычитаются. Это – отрицательная обратная связь (ООС).

Если сигнал обратной связи совпадает по фазе с входным сигналом, то такая обратная связь называется положительной (ПОС).

В усилителях преимущественно используют ООС, так как после ее введения существенно улучшаются свойства усилителя: повышается стабильность коэффициента усиления при изменении параметров транзисторов; снижается уровень нелинейных искажений; расширяется частотный диапазон; увеличивается входное и уменьшается выходное сопротивление усилителя.

Положительная обратная связь увеличивает коэффициент усиления, поэтому ее применяют в генераторах и релейных устройствах автоматики и других устройствах.

Необходимо разобраться в схемах усилительных каскадов с общим эмиттером и общим истоком (на биполярном и полевом транзисторах), а также с режимами работы усилителей А, В, АВ и С.

Дифференциальные усилители – усилители постоянного тока, построенные по параллельно-балансной схеме.

Операционный усилитель (ОУ) – это усилитель с непосредственной связью, обладающий большим коэффициентом усиления и высоким входным сопротивлением, имеющий малый дрейф нуля и малый собственный шум.

Необходимо изучить линейные устройства, т.е. устройства, работающие на линейной зоне амплитудной характеристики.

К ним относятся: инвертирующий и неинвертирующий усилители, повторитель и инвертор напряжения, суммирующие и вычитающие усилители.

Далее нужно изучить нелинейные функциональные устройства (интегратор и дифференциатор).

Генераторы гармонических колебаний – устройства, преобразующие постоянное напряжение источника питания в переменное синусоидальное напряжение при отсутствии входного сигнала. Генератор представляет собой усилитель с положительной обратной связью.

Необходимо изучить LC-генератор на биполярном транзисторе и RC-генератор.

При изучении подраздела «импульсные устройства» нужно обратить внимание на особенности и преимущества передачи информации в импульсном режиме. Кроме производственных причин развитию импульсной техники способствовали особенности, присущие импульсному режиму работы:

- при относительно малой средней мощности достижима весьма большая мощность в импульсе;
- импульсные устройства обладают большим КПД (за счет отсутствия потребления энергии между импульсами);
- меньше сказывается разброс параметров, применяемых приборов (так как транзисторы работают в ключевом режиме). По той же причине выше помехозащищенность, точность и надежность электронных устройств;
- в каналах связи выше пропускная способность и скорость передачи информации;
- при реализации импульсных устройств используют ограниченный набор одностипных элементов, что упрощает устройство в целом.

Следует изучить параметры импульсных сигналов, таких как амплитуда, длительность импульса, длительность паузы, период, частота, скважность, коэффициент заполнения.

Важно также усвоить работу транзистора в ключевом режиме; работу компаратора на операционном усилителе и триггера Шмитта; мультивибратора, работающего в непрерывном режиме

и ждущего мультивибратора; генератора линейно изменяющегося напряжения.

При изучении подраздела «цифровые устройства» следует внимательно изучить основные логические операции: НЕ, ИЛИ, И, комбинируя которые можно выражать все остальные логические связи, а также базовые элементы И-НЕ (элемент Шеффера) и ИЛИ-НЕ (элемент Пирса), на которых создают более сложные схемы логических и цифровых устройств.

Комбинационные устройства включают в себя: дешифраторы и шифраторы; мультиплексоры и демультиплексоры; сумматоры; цифровые схемы сравнения; постоянные запоминающие устройства.

Триггер – ключ с двумя устойчивыми состояниями, в каждом из которых он может находиться сколь угодно долго до воздействия управляющего импульсного сигнала достаточной амплитуды и длительности.

Асинхронный RS-триггер. Синхронный триггер. JK-триггер.

Синхронный RS-триггер на базе JK-триггера. Счетный T-триггер. D-триггер (ячейка памяти).

Далее следует изучить двоичные счетчики – цифровые устройства, предназначенные для выполнения операций счета в двоичной системе счисления и хранения двоичного кода числа подсчитанных импульсов.

Регистры – устройства для приема, хранения, передачи и преобразования информации.

Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи.

Арифметико-логические устройства. Микропроцессоры. МикроЭВМ.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое усилитель?
2. Как классифицируют усилители?
3. Как определяют коэффициент усиления усилителя?
4. Что такое коэффициент полезного действия усилителя?
5. Изобразите типовую амплитудную характеристику усилителя.
6. Что такое амплитудно-частотная характеристика?

7. Как влияют на работу входное и выходное сопротивление усилителя?
8. Что такое обратная связь?
9. Какие существуют разновидности обратной связи?
10. Как влияет отрицательная обратная связь на свойства усилителя?
11. В каких устройствах применяют положительную обратную связь?
12. Изобразите схемы усилительных каскадов с общим эмиттером и общим истоком.
13. Что такое дифференциальный усилитель?
14. Перечислите линейные устройства на операционных усилителях.
15. Перечислите нелинейные устройства на операционных усилителях.
16. Что такое генератор гармонических колебаний?
17. Назовите основные схемы генераторов гармонических колебаний.
18. Какие преимущества имеют импульсные устройства по сравнению с электронными устройствами непрерывного действия?
19. Назовите основные параметры импульсного сигнала.
20. Объясните что такое ключевой режим работы транзистора.
21. Что такое компаратор?
22. Какую роль играет положительная обратная связь в схеме триггера Шмита?
23. Что такое мультивибратор?
24. Что такое ждущий мультивибратор?
25. Каково назначение генератора линейно изменяющегося напряжения?
26. Назовите основные логические операции и базовые логические элементы.
27. Назовите наиболее распространенные комбинационные ИМС.
28. Что такое триггер?
29. Какой триггер называют асинхронным?
30. В чем отличие синхронного триггера от асинхронного?
31. Что такое двоичные счетчики?

- 32. Каково назначение регистров?
- 33. В чем состоит суть цифроаналогового и аналого-цифрового преобразования?
- 34. Что такое дискретизация и квантование аналогового сигнала?
- 35. Каково назначение арифметико-логических устройств?
- 36. Что понимают под микропроцессорами?
- 37. Назовите устройства, входящие в состав микроЭВМ.

Раздел 3. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

3.1 Задание для контрольной работы

Перед выполнением контрольной работы необходимо изучить соответствующие разделы курса и разобраться в решении задач, приведенных в примерах.

При выполнении контрольной работы следует пользоваться общепринятыми обозначениями, расшифровывая их при первом применении. Решение должно сопровождаться краткими, но четкими пояснениями. Текст, формулы и числовые выкладки должны быть написаны чернилами четко и аккуратно. Все единицы измерения должны соответствовать международной системе единиц СИ. Схемы, графики и векторные диаграммы нужно вычерчивать с применением чертежных принадлежностей и соблюдением масштаба и ГОСТов (ЕСКД).

Для каждой задачи следует начертить электрическую схему.

Для замечаний рецензента следует обязательно оставлять поля шириной 3 см.

В конце работы следует расписаться, поставить дату, указать какой литературой пользовались.

На титульном листе необходимо указать свои данные: фамилию, имя, отчество, группу, номер варианта контрольной работы (см. образец титульного листа Приложение 2).

Задача 1

а) В цепь синусоидального тока с напряжением U и частотой $f=50$ Гц включена катушка с активным сопротивлением R и индуктивным – X_L (рисунок 2.а).

Определить ток в катушке; активную, реактивную и полную мощности; коэффициент мощности.

б) В цепи (рисунок 2.б) последовательно с катушкой включен конденсатор с сопротивлением X_C .

При тех же значениях напряжения и частоты найти ток и напряжения на каждом участке.

Построить векторную диаграмму тока и напряжений. Определить режим работы цепи.

в) В цепи (рисунок 2.в) определить емкость C , при которой наступит резонанс токов.

Построить для режима резонанса векторную диаграмму.

Как изменился ток цепи; угол φ ; полная и реактивная мощности при резонансе (по отношению к режиму рисунок 2.а) ?

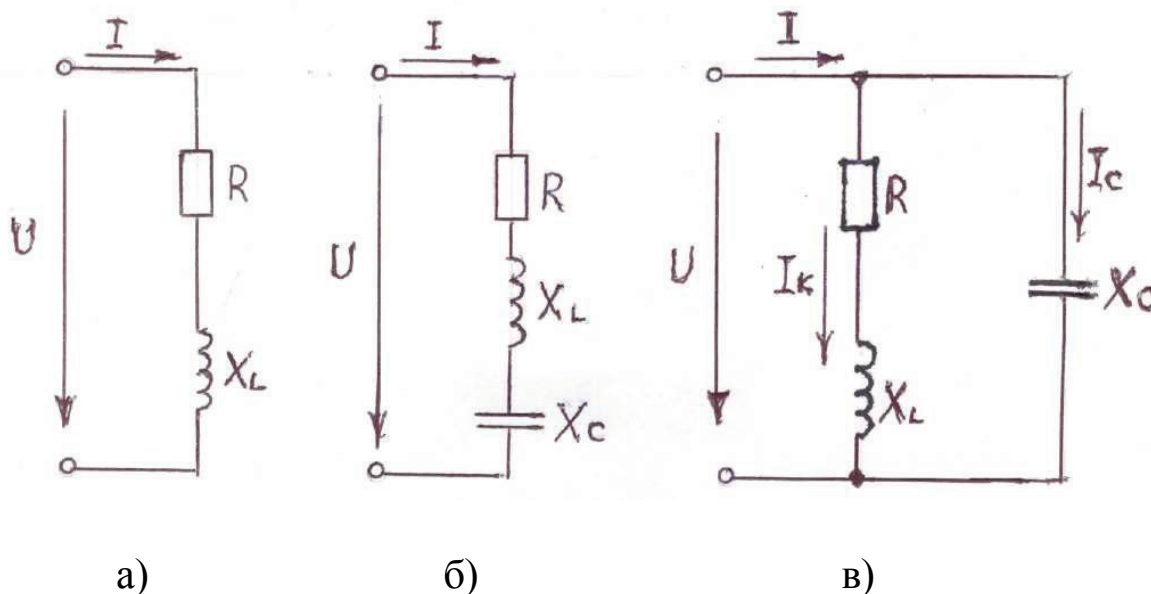


Рисунок 2 – Схемы электрических цепей к задаче 1

Таблица 3 – Исходные данные к задаче 1

Величины	Варианты к задаче 1									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, В	100	80	110	120	100	90	80	120	110	120
R, Ом	6	4	5	5	8	6	4	6	4	5
X_L , Ом	10	8	9	10	8	12	10	8	12	9
X_C , Ом	10	12	6	8	16	7	5	8	5	14
Продолжение таблицы 3										
Величины	Варианты к задаче 1									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U, В	80	90	100	110	120	130	70	90	100	120
R, Ом	8	10	12	14	16	18	20	22	24	25
X_L , Ом	8	10	15	10	12	10	12	20	24	20
X_C , Ом	8	15	9	4	12	16	18	20	12	10

<i>Продолжение таблицы 3</i>										
Величины	Варианты к задаче 1									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U, В	80	90	100	110	120	130	70	80	100	110
R, Ом	6	8	10	12	14	18	20	24	26	28
X _L , Ом	12	14	10	24	20	10	15	16	25	18
X _C , Ом	12	18	20	12	10	30	15	20	15	10
<i>Продолжение таблицы 3</i>										
Величины	Варианты к задаче 1									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
U, В	100	110	80	70	120	130	90	100	120	90
R, Ом	8	10	8	10	12	14	6	12	14	16
X _L , Ом	12	15	16	20	11	7	22	10	14	20
X _C , Ом	4	15	10	15	20	7	22	6	18	20
<i>Продолжение таблицы 3</i>										
Величины	Варианты к задаче 1									
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
U, В	120	110	100	90	80	70	60	70	90	100
R, Ом	6	8	10	8	12	16	10	12	8	6
X _L , Ом	15	12	12	10	8	10	12	8	14	16
X _C , Ом	7	8	12	8	14	15	18	8	7	8
<i>Окончание таблицы 3</i>										
Величины	Варианты к задаче 1									
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
U, В	80	90	100	110	120	130	90	100	80	110
R, Ом	8	10	12	14	16	18	20	10	12	16
X _L , Ом	14	12	10	12	8	10	14	8	16	14
X _C , Ом	8	6	10	12	14	16	14	8	10	7

Задача 2

В трехфазную сеть с линейным напряжением 380В требуется включить три группы ламп накаливания. Количество ламп в группах : n_a , n_b , n_c . Номинальное напряжение каждой лампы составляет 220В, а ее номинальная мощность – $P_{л}$.

Определить по какой схеме нужно включить лампы, чтобы каждая из них находилась под номинальным напряжением.

Начертите схему включения ламп и определите токи и мощности, потребляемые в каждой фазе, и общую мощность трех фаз.

Начертите потенциальную диаграмму напряжений и на ней отложите векторы токов. Ток нулевого провода найдите графическим сложением или аналитическим путем.

Поясните назначение нулевого провода. Без проведения расчетов поясните как повлияет на режим работы цепи обрыв нулевого провода.

Таблица 4 – Исходные данные к задаче 2

Величины	Варианты к задаче 2									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_a , шт.	2	6	5	6	10	3	8	15	20	10
n_b , шт.	4	2	10	8	3	15	10	5	5	15
n_c , шт.	8	10	15	2	6	10	20	10	15	20
$P_{л.}$, Вт	75	60	100	150	200	100	150	75	100	200
<i>Продолжение таблицы 4</i>										
Величины	Варианты к задаче 2									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
n_a , шт.	3	12	10	5	10	16	25	25	10	10
n_b , шт.	6	18	15	12	5	20	5	10	20	20
n_c , шт.	9	12	5	20	16	5	15	5	5	30
$P_{л.}$, Вт	75	60	75	150	200	250	100	75	150	200
<i>Продолжение таблицы 4</i>										
Величины	Варианты к задаче 2									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
n_a , шт.	3	4	10	12	5	7	9	10	20	8
n_b , шт.	9	10	4	6	15	21	3	20	10	12
n_c , шт.	12	8	6	10	6	14	6	8	12	16
$P_{л.}$, Вт	60	75	100	150	200	60	75	100	150	200
<i>Продолжение таблицы 4</i>										
Величины	Варианты к задаче 2									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
n_a , шт.	4	10	12	8	10	12	6	7	8	9
n_b , шт.	8	5	8	14	15	8	12	14	16	18
n_c , шт.	12	8	4	18	8	6	18	20	10	6
$P_{л.}$, Вт	60	75	100	150	200	60	75	100	150	200

Продолжение таблицы 4										
Величины	Варианты к задаче 2									
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
n_a , шт.	5	6	20	18	8	14	10	8	16	18
n_b , шт.	10	12	12	14	6	10	15	12	10	12
n_c , шт.	15	18	6	8	10	8	18	16	6	8
$P_{л.}$, Вт	60	75	100	150	200	60	75	100	150	200
Окончание таблицы 4										
Величины	Варианты к задаче 2									
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
n_a , шт.	7	8	9	8	9	10	11	12	5	18
n_b , шт.	10	12	14	16	18	20	22	15	10	12
n_c , шт.	12	14	16	20	6	8	14	5	15	10
$P_{л.}$, Вт	60	75	100	150	200	60	75	100	150	200

Задача 3

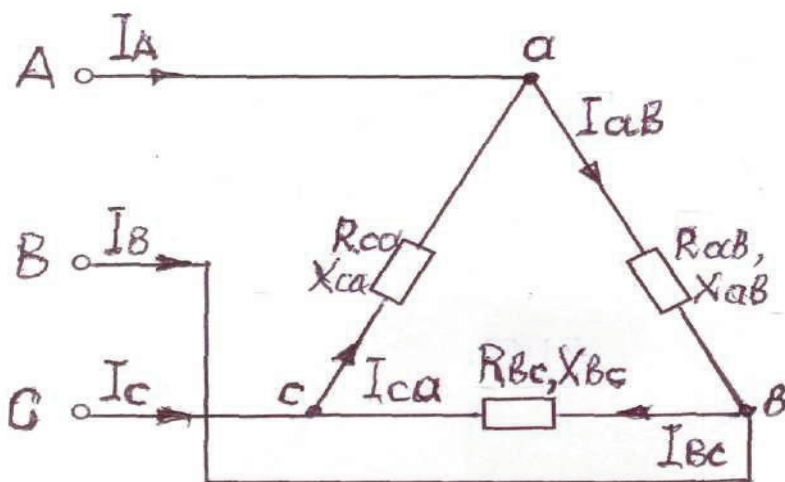


Рисунок 3 – Схема электрической цепи к задаче 3

К трехфазной линии с линейным напряжением $U_{л}$ подключен симметричный приемник, соединенный треугольником. Активные и реактивные сопротивления фаз приемника равны R_{ϕ} и X_{ϕ} .

Со знаком «минус» в таблице 5 приведены емкостные сопротивления.

Определить токи в фазах приемника и линейных проводах, а также потребляемые приемником активную, реактивную и полную мощности.

Таблица 5 – Исходные данные к задаче 3

Величины	Варианты к задаче 3									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, В	220	380	380	660	220	380	220	660	380	220
R _ф , Ом	3	6	8	20	3	6	8	4	8	8
X _ф , Ом	4	8	15	0	-4	-8	-15	12	12	-10
<i>Продолжение таблицы 5</i>										
Величины	Варианты к задаче 3									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U, В	220	380	220	380	660	220	380	660	220	380
R _ф , Ом	20	10	6	8	15	18	16	12	10	9
X _ф , Ом	0	8	6	-8	0	-10	8	-12	-10	9
<i>Продолжение таблицы 5</i>										
Величины	Варианты к задаче 3									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U, В	220	380	660	220	380	660	220	380	660	220
R _ф , Ом	4	10	20	12	14	25	16	20	12	15
X _ф , Ом	8	16	0	-8	-10	0	-8	10	-12	0
<i>Продолжение таблицы 5</i>										
Величины	Варианты к задаче 3									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
U, В	220	380	660	220	380	660	220	380	220	380
R _ф , Ом	12	10	30	15	20	40	20	30	25	24
X _ф , Ом	12	-12	0	10	-15	0	-10	15	10	-12
<i>Продолжение таблицы 5</i>										
Величины	Варианты к задаче 3									
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
U, В	220	380	660	220	380	660	220	380	660	220
R _ф , Ом	16	20	50	16	20	60	18	18	80	25
X _ф , Ом	16	10	0	-16	-10	0	9	18	0	25
<i>Окончание таблицы 5</i>										
Величины	Варианты к задаче 1									
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
U, В	220	380	660	220	380	660	220	380	660	220
R _ф , Ом	22	30	50	20	18	25	32	35	55	40
X _ф , Ом	22	15	0	-15	-18	25	15	-20	0	-15

Задача 4

По техническим данным электродвигателей, приведенных в таблице 6, определить: номинальный $I_{ном}$ и пусковой $I_{пуск}$ токи; номинальный $M_{ном}$, пусковой $M_{пуск}$ и максимальный $M_{мах}$ моменты; номинальную частоту вращения ротора $n_{2ном}$; мощность, потребляемую из сети P_1 при номинальной нагрузке на валу; полные потери мощности в двигателе ΔP ; критическое скольжение $S_{кр}$.

Как изменится пусковой момент двигателя при уменьшении сетевого напряжения на 20 % и возможен ли пуск электродвигателя с номинальной нагрузкой на валу ротора?

Рассчитать по приближенным формулам и построить механические характеристики $M(S)$ и $n(M)$.

Указать на графиках значения $M_{пуск}$, $M_{ном}$, $M_{мах}$ и соответствующие им частоты вращения и скольжения.

Следует иметь в виду, что формула Клосса дает расхождение между расчетными данными и значениями пусковых моментов из каталога.

Необходимо нанести на графики значения $M_{пуск. расч.}$, $M_{пуск. кат.}$ и уточнить пунктирной линией механические характеристики.

Таблица 6 – Исходные данные к задаче 4

Номер вариан- та	Типы электро- двигателей	Технические данные электродвигателей								
		$U_{1\text{ном}},$ В	$P_{2\text{ном}},$ кВт	$n_1,$ об./мин	$S_{\text{ном}},$ %	$\eta_{\text{ном}}$	$\cos$ $\varphi_{\text{ном}}$	$m_1 = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$	$m_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$m_{\text{кр}} = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	4AA56B4	220	0,18	1500	8,9	0,64	0,64	3,5	2,1	2,2
2	4AA63A4	380	0,25	1500	8,0	0,68	0,5	4,0	2,0	2,2
3	4AA63B4	220	0,37	1500	9,0	0,68	0,69	4,0	2,0	2,2
4	4A71A4	380	0,55	1500	7,3	0,70	0,70	4,5	2,0	2,2
5	4A71B4	660	0,75	1500	7,5	0,72	0,73	5,0	2,0	2,2
6	4A80A4	220	1,1	1500	5,4	0,75	0,81	5,0	2,0	2,2
7	4A80B4	380	1,5	1500	5,8	0,78	0,83	6,0	2,0	2,2
8	4A90L4	660	2,2	1500	5,1	0,80	0,83	6,0	2,1	2,4
9	4A100S4	220	3,0	1500	4,4	0,82	0,83	6,0	2,0	2,4
10	4A100L4	380	4,0	1500	4,6	0,84	0,84	6,0	2,0	2,4
11	4A112M4	660	5,5	1500	3,6	0,85	0,85	7,0	2,0	2,2
12	4A132S4	220	7,5	1500	2,9	0,87	0,86	7,0	2,2	3,0
13	4A132M4	380	11	1500	2,8	0,87	0,87	7,5	2,2	3,0

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	4A160S4	660	15	1500	2,3	0,88	0,88	7,0	1,4	2,3
15	4A160M4	220	18,5	1500	2,2	0,88	0,88	7,0	1,4	2,3
16	4A180S4	380	22	1500	2,0	0,90	0,90	6,5	1,4	2,3
17	4A180M4	660	30	1500	1,9	0,90	0,90	6,0	1,4	2,3
18	4A200M4	220	37	1500	1,7	0,91	0,90	7,0	1,4	2,5
19	4A200L4	380	45	1500	1,6	0,93	0,90	7,0	1,4	2,5
20	4A225M4	660	55	1500	1,4	0,92	0,90	7,0	1,3	2,5
21	4A250S4	220	75	1500	1,2	0,93	0,90	7,0	1,2	2,3
22	4A250M4	380	90	1500	1,3	0,93	0,91	7,0	1,2	2,3
23	4A280S4	660	110	1500	2,3	0,92	0,90	6,0	1,2	2,0
24	4AA56A:	220	0,18	3000	8,0	0,66	0,76	4,0	2,0	2,2
25	4AA56B2	380	0,25	3000	7,5	0,68	0,77	4,0	2,0	2,2
26	4AA63A2	220	0,37	3000	8,3	0,7	0,86	4,5	2,0	2,2
27	4AA63B2	380	0,55	3000	8,5	0,73	0,86	4,5	2,0	2,2
28	4A71A2	380	0,75	3000	5,9	0,77	0,87	5,5	2,0	2,2

Продолжение таблицы 6

29	4A71B2	220	1,1	3000	6,3	0,77	0,87	5,5	2,0	2,2
30	4A80A2	380	1,5	3000	4,2	0,81	0,85	6,5	2,1	2,6
31	4A63A2	380	0,37	3000	8,3	0,70	0,86	4,5	2,0	2,2
32	4A63B2	380	0,55	3000	8,5	0,73	0,86	4,5	2,0	2,2
33	4A71A2	220	0,75	3000	5,9	0,77	0,87	5,5	2,0	2,2
34	4A71B2	380	1,1	3000	6,3	0,775	0,87	5,5	2,0	2,2
35	4A80A2	380	1,5	3000	4,2	0,81	0,85	6,5	2,1	2,6
36	4A80B2	380	2,2	3000	4,3	0,83	0,87	6,5	2,1	2,6
37	4A90L2	380	3,0	3000	4,3	0,845	0,88	6,5	2,1	2,5
38	4A100S2	380	4,0	3000	3,3	0,865	0,89	7,5	2,0	2,5
39	4A100L2	380	5,5	3000	3,4	0,875	0,91	7,5	2,0	2,5
40	4A112M2	380	7,5	3000	2,5	0,875	0,88	7,5	2,0	2,8
41	DaC80A2C	380	0,85	3000	3,3	0,685	0,83	4,5	2,3	2,3
42	DaC80B2C	380	1,4	3000	13,3	0,67	0,83	4,5	2,3	2,3
43	DaC90S2C	380	1,8	3000	13,3	0,71	0,88	5,0	2,3	2,2
44	DaC90L2C	380	2,5	3000	33,3	0,73	0,89	5,0	2,0	2,2

Окончание таблицы 6

45	DaC100L2C	380	4,0	3000	11,0	0,75	0,90	5,0	1,8	2,3
46	DaC112M2C	380	5,3	3000	10,0	0,79	0,92	5,0	1,8	2,2
47	DaC80A4C	380	0,65	1500	13,3	0,67	0,79	4,5	2,0	2,2
48	DaC80B4C	380	0,85	1500	13,3	0,68	0,80	4,5	2,0	2,2
49	DaC90S4C	380	1,4	1500	12,6	0,705	0,82	5,0	2,0	2,2
50	DaC90L4C	380	2,0	1500	10,0	0,75	0,82 .	5,0	2,0	2,2
51	DaC100LA4C	380	3,0	1500	13,3	0,705	0,82	4,5	2,0	2,2
52	DaC100LB4C	380	4,0	1500	10,6	0,75	0,80	4,5	2,0	2,2
53	DaC112M4C	380	5,0	1500	10,6	0,78	0,86	5,0	2,0	2,2
54	DaC80A6C	380	0,5	1000	15,0	0,615	0,71	4,0	2,0	2,1
55	DaC80B6C	380	0,65	1000	15,0	0,615	0,70	4,0	2,0	2,1
56	DaC90S6C	380	1,0	1000	16,0	0,62	0,71	3,5	2,2	2,1
57	DaC90L6C	380	1,3	1000	16,0	0,645	0,70	3,5	1,8	2,1
58	DaC100L6C	380	2,0	1000	15,0	0,675	0,76	4,0	1,3	2,2
59	DaC112M6C	380	3,2	1000	15,0	0,71	0,81	4,0	1,6	2,1
60	DaC100LB8C	380	1,1	750	10,7	0,66	0,61	4,0	1,5	2,0

3.2 Примеры расчета цепей

3.2.1 Пример расчета к задаче 1

Подзадача 1.1

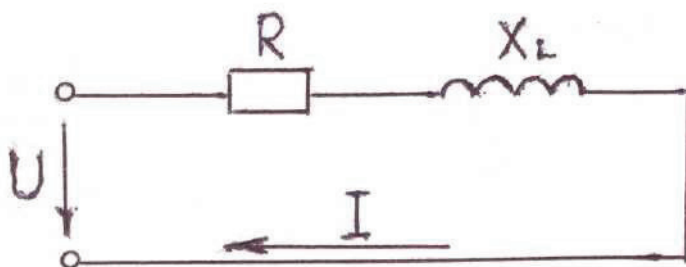


Рисунок 4 – Схема электрической цепи к подзадаче 1.1

Исходные данные: синусоидальное напряжение $U = 100\text{В}$; частота $f = 50\text{ Гц}$; активное сопротивление $R = 3\text{ Ом}$; индуктивное сопротивление $X_L = 4\text{ Ом}$.

Определить: ток цепи; активную, реактивную и полную мощности; коэффициент мощности цепи.

Решение

Полное сопротивление цепи

$$Z_k = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5\text{ Ом}.$$

$$\text{Ток цепи } I = \frac{U}{Z_k} = \frac{100}{5} = 20\text{ А}.$$

Активная мощность

$$P = I^2 R = 20^2 \cdot 3 = 1200\text{ Вт}.$$

Реактивная мощность

$$Q = I^2 X_L = 20^2 \cdot 4 = 1600\text{ вар}.$$

Полная мощность

$$S = UI = 100 \cdot 20 = 2000\text{ ВА}.$$

Коэффициент мощности цепи

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z_k} = \frac{P}{S} = \frac{3}{5} = \frac{1200}{2000} = 0,6.$$

Подзадача 1.2

Последовательно с элементами R и X_L включено емкостное сопротивление $X_C = 8$ Ом. Величина напряжения и его частота не изменились.

Определить ток цепи и напряжение на каждом элементе. Построить векторную диаграмму напряжений и определить режим работы в цепи.

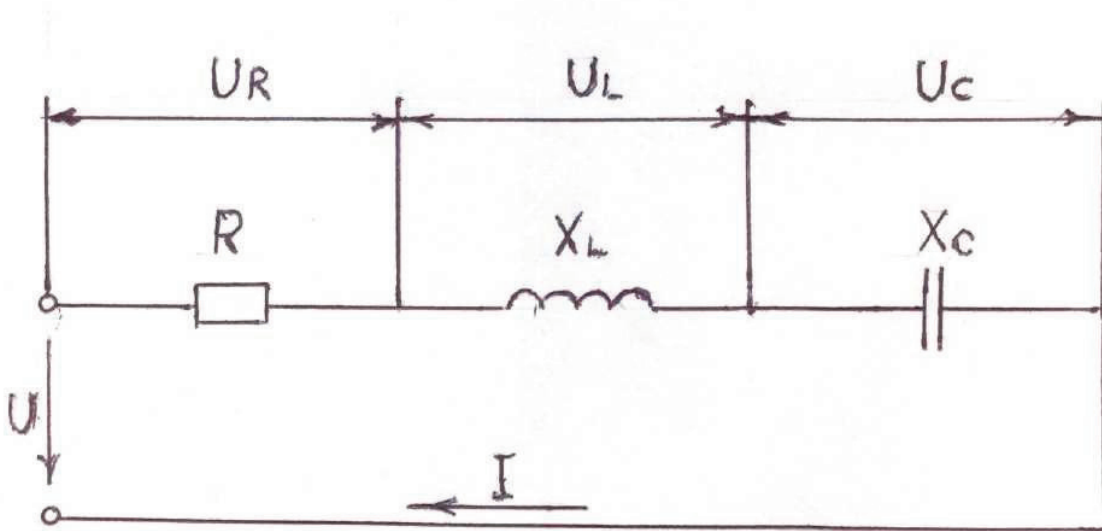


Рисунок 5 – Схема электрической цепи к подзадаче 1.2

Решение

Полное сопротивление цепи

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{3^2 + (4 - 8)^2} = 5 \text{ Ом.}$$

$$\text{Ток цепи } I = \frac{U}{Z} = \frac{100}{5} = 20 \text{ А.}$$

Напряжение на элементах цепи:

$$U_R = IR = 20 \cdot 3 = 60 \text{ В;}$$

$$U_L = IX_L = 20 \cdot 4 = 80 \text{ В;}$$

$$U_C = IX_C = 20 \cdot 8 = 160 \text{ В.}$$

Полное напряжение

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{60^2 + (80 - 160)^2} = 100 \text{ В.}$$

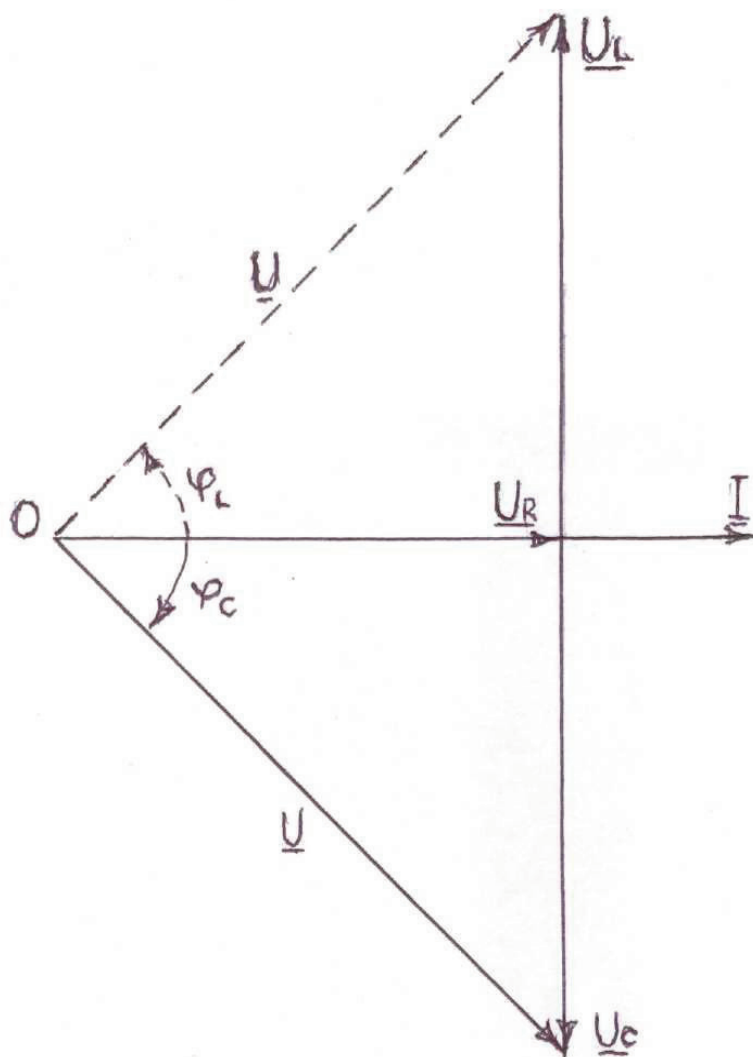


Рисунок 6 – Векторная диаграмма тока и напряжений
к подзадаче 1.2

Диаграмма напряжений (рисунок 6) строится относительно вектора тока по уравнению $\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L + \underline{U}_C$.

Вектор $\underline{U}_R$ совпадает по фазе с вектором тока; вектор $\underline{U}_L$ опережает ток по фазе на угол $\frac{\pi}{2}$; вектор $\underline{U}_C$ отстает от тока на такой же угол (откладывается $\underline{U}_C$ из конца $\underline{U}_L$ в противоположном направлении). Вектор $\underline{U}$ отстает по фазе от тока на угол φ_C . Режим работы в цепи активно-емкостной. В отсутствии емкости вектор $\underline{U}$ опережает по фазе вектор $\underline{I}$ на угол φ_L и показан пунктирной линией.

Подзадача 1.3

Параллельно катушке с параметрами $R = 3$ Ом и $X_L = 4$ Ом подключают батарею конденсаторов с сопротивлением X_C (рисунок 7) для получения режима резонанса. Какой величины должна быть емкость конденсатора? Как изменится ток цепи, реактивная и полная мощности? Величина и частота напряжения такие же, как в подзадаче 1.1.

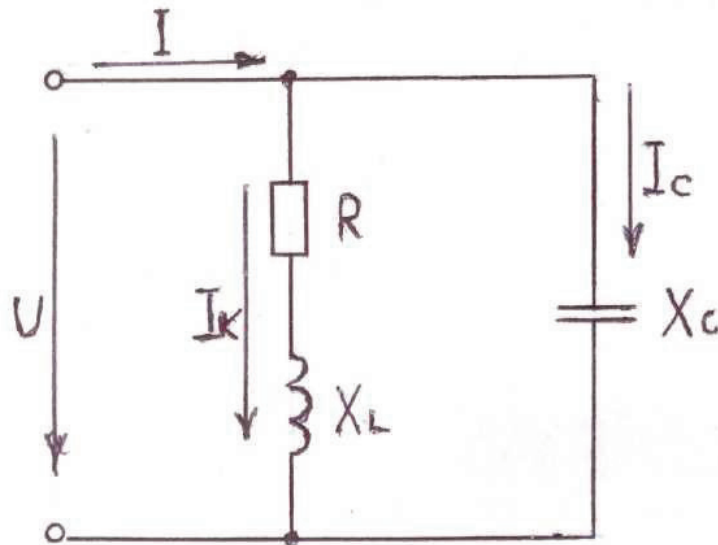


Рисунок 7 – Схема электрической цепи к подзадаче 1.3

Решение

Ток катушки $I_k = 20$ А.

Активная составляющая тока катушки

$$I_a = I_k \cos \varphi_1 = 20 \cdot 0,6 = 12 \text{ А.}$$

Реактивная составляющая тока катушки

$$I_L = I_k \sin \varphi_1 = 20 \cdot 0,8 = 16 \text{ А,}$$

$$\text{где } \sin \varphi_1 = \frac{X_L}{Z_k} = \frac{4}{5} = 0,8.$$

Условием резонанса токов является равенство реактивных проводимостей ветвей с катушкой и конденсатором $B_L = B_C$.

Реактивная проводимость

$$B_L = \frac{X_L}{Z_k^2} = \frac{4}{5^2} = 0,16 \text{ См.}$$

Реактивная проводимость конденсатора

$$B_C = \frac{1}{X_C} = \omega C = 2\pi f C.$$

Емкость батареи конденсатора, мкФ

$$C = \frac{B_C}{\omega} \cdot 10^6 = \frac{0,16}{314} \cdot 10^6 = 509 \text{ мкФ}.$$

Векторная диаграмма напряжения и токов для режима резонанса (рисунок 8) построена относительно вектора напряжения по уравнению: $\underline{I} = \underline{I}_a + \underline{I}_L + \underline{I}_C$.

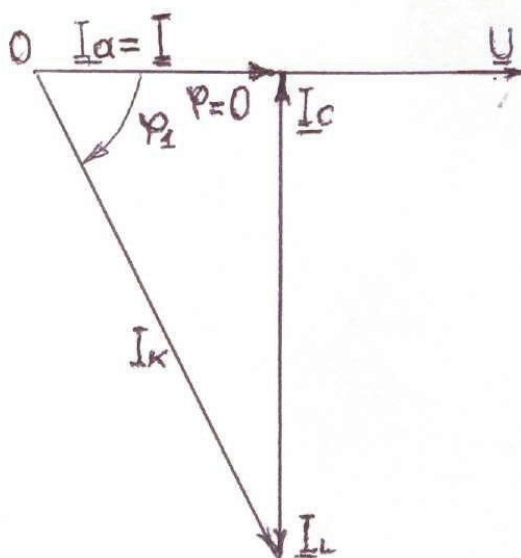


Рисунок 8 – Векторная диаграмма напряжения и токов при резонансе

Вектор $\underline{I}_a$ совпадает по фазе с напряжением $\underline{U}$. Вектор $\underline{I}_L$ отстает на угол $\frac{\pi}{2}$, а вектор $\underline{I}_C$ опережает по фазе $\underline{U}$ на такой же угол. Векторы $\underline{I}_L$ и $\underline{I}_C$ равны и противофазны. Они взаимно компенсируются. Общий ток I содержит активную составляющую и совпадает по фазе с напряжением. Величина тока уменьшилась с 20 до 12 А.

Реактивная мощность $Q = 0$.

Полная мощность уменьшилась и равна активной

$$S = P = I_a^2 R = 12^2 \cdot 3 = 432 \text{ Вт}.$$

3.2.2 Пример расчета цепи к задаче 2

В трехфазную цепь с линейным напряжением 380 В требуется включить три группы ламп накаливания. При этом в фазе А должно быть включено 10 ламп, в фазе В – 25 и в фазе С – 30 ламп.

Номинальное напряжение каждой лампы составляет 220 В, а номинальная мощность – $P_{\text{л}}$.

Начертить схему включения ламп. Найти фазные сопротивления, токи, активную мощность каждой фазы и всего потребителя. Построить векторную диаграмму напряжений и токов. Определить ток в нейтральном проводе. Как повлияет на режим работы цепи обрыв нулевого провода?

Решение

Потребитель несимметричный, поэтому схема соединения ламп – звезда с нулевым проводом.

При этом условии каждая группа ламп будет находиться под номинальным напряжением $U_{\phi} = \frac{U}{\sqrt{3}} = 220$ В. Лампы в каждой из фаз должны быть соединены параллельно (рисунок 9).

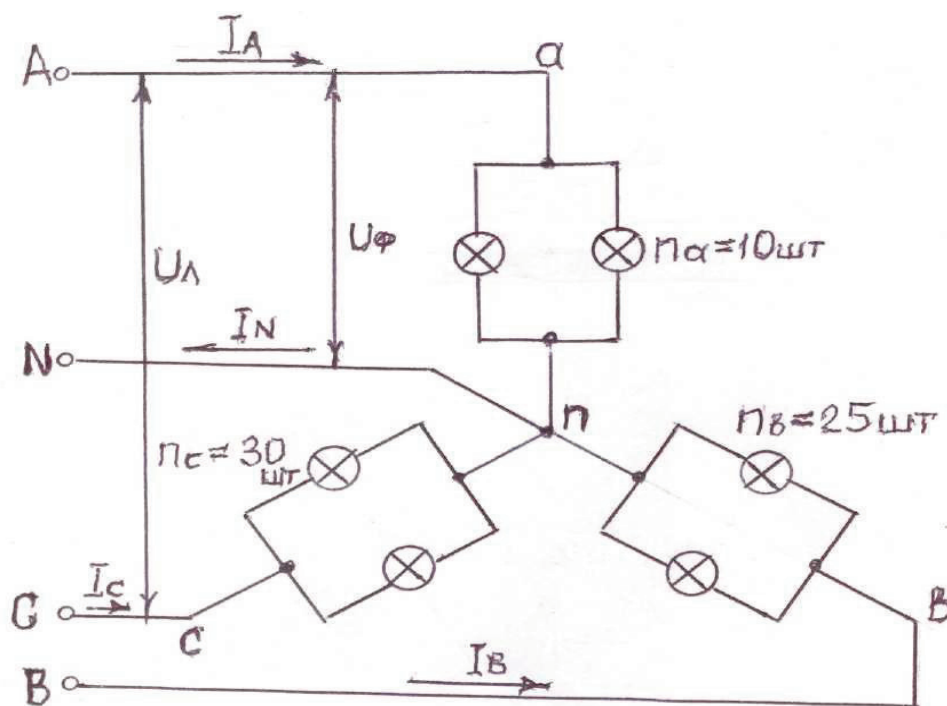


Рисунок 9 – Схема электрической цепи к задаче 2

Определяем мощность в каждой фазе:

$$P_a = n_a \cdot 100 = 1000 \text{ Вт} = 1 \text{ кВт};$$

$$P_{\epsilon} = 25 \cdot 100 = 2500 \text{ Вт} = 2,5 \text{ кВт};$$

$$P_c = 30 \cdot 100 = 3000 \text{ Вт} = 3 \text{ кВт}.$$

Мощность всего потребителя

$$P = P_a + P_{\epsilon} + P_c = 1 + 2,5 + 3 = 6,5 \text{ кВт}.$$

Активные сопротивления фаз потребителя:

$$R_a = \frac{U_{\phi}^2}{P_a} = \frac{220^2}{1000} = 48,4 \text{ Ом};$$

$$R_{\epsilon} = \frac{U_{\phi}^2}{P_{\epsilon}} = \frac{220^2}{2500} = 19,36 \text{ Ом};$$

$$R_c = \frac{U_{\phi}^2}{P_c} = \frac{220^2}{3000} = 16,13 \text{ Ом}.$$

В этих формулах $U_{\phi} = \frac{U}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$.

Фазные токи:

$$I_a = \frac{U_{\phi}}{R_a} = \frac{P_a}{U_{\phi}} = \frac{220}{48,4} = \frac{1000}{220} = 4,54 \text{ А};$$

$$I_{\epsilon} = \frac{U_{\phi}}{R_{\epsilon}} = \frac{220}{19,36} = 11,36 \text{ А};$$

$$I_c = \frac{U_{\phi}}{R_c} = \frac{220}{16,13} = 13,64 \text{ А}.$$

Векторная диаграмма токов строится относительно фазных напряжений (рисунок 10).

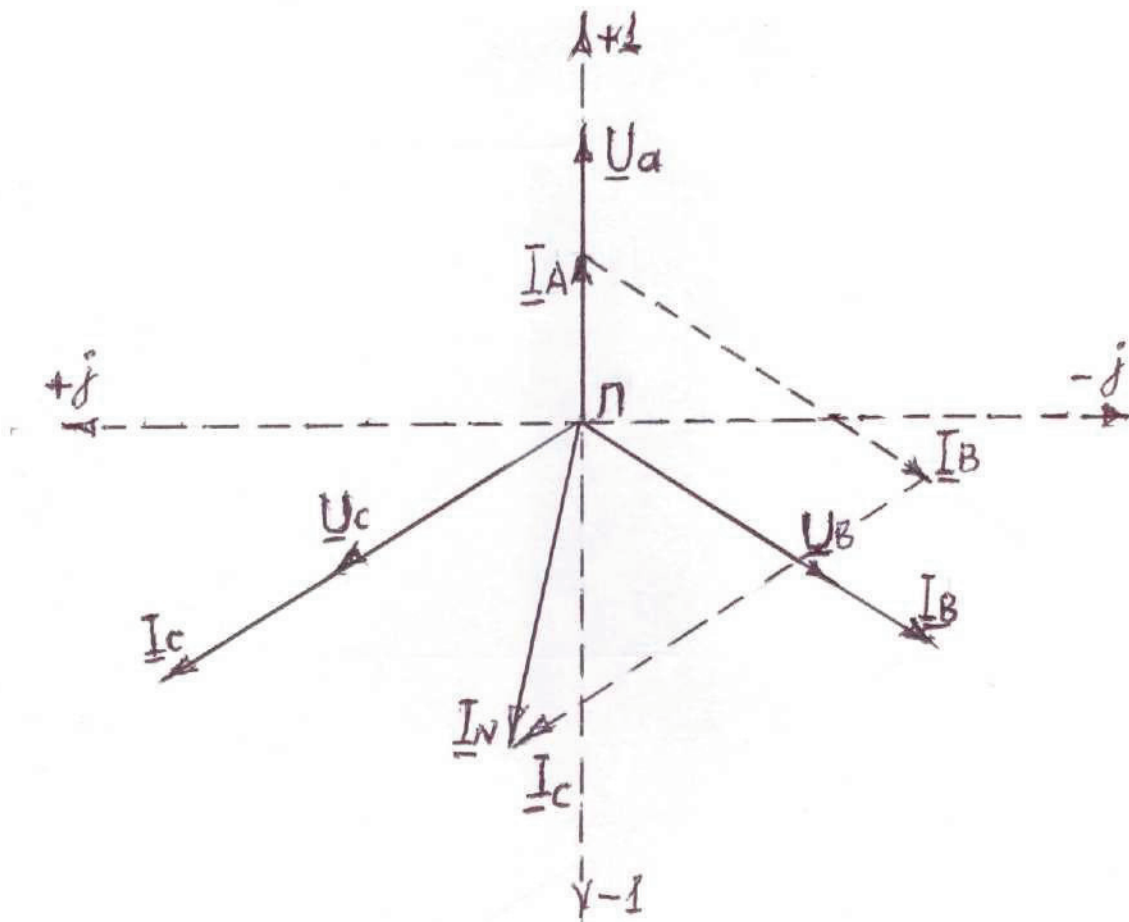


Рисунок 10 – Векторная диаграмма фазных напряжений и токов

Ток нулевого провода определяется графически путем сложения векторов фазных токов по уравнению

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C.$$

Можно найти $\underline{I}_N$ аналитическим путем. Направим вектор $\underline{I}_A$ по оси действительных чисел.

$$\underline{I}_A = I_A \cdot e^{j0^\circ} = 4,57 \text{ A};$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_B &= I_B \cdot e^{-j120^\circ} = I_B (\cos 120^\circ - j \sin 120^\circ) = \\ &= 11,36(-0,5 - j0,866) = (-5,68 - j9,84) \text{ A}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_C &= I_C \cdot e^{-j240^\circ} = I_C (\cos 240^\circ - j \sin 240^\circ) = \\ &= 13,64(-0,5 + j0,866) = (-6,82 + j11,8) \text{ A}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_N &= \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 4,54 - 5,68 - j9,84 - 6,82 + j11,8 = \\ &= (-7,96 + j1,96) \text{ A}. \end{aligned}$$

$$I_N = \sqrt{7,96^2 + 1,96^2} = 8,2 \text{ A.}$$

Нейтральный провод уравнивает потенциалы нейтральных точек N и n и обеспечивает симметрию фазных напряжений сети и потребителя: $U_a = U_A$; $U_b = U_B$; $U_c = U_C$; $U_a = U_b = U_c = 220 \text{ В}$.

При обрыве нейтрального провода нарушится симметрия фазных напряжений потребителя $U_a \neq U_b \neq U_c$, кроме того фазные напряжения потребителя будут отличаться от соответствующих фазных напряжений сети или генератора: $U_a \neq U_A$; $U_b \neq U_B$; $U_c \neq U_C$, а между нейтральными точками генератора N и потребителя n возникнет напряжение смещения U_{nN} .

3.2.3 Пример расчета к задаче 3

В трехфазную сеть с линейным напряжением 380 В включена треугольником симметричная активно-индуктивная нагрузка (рисунок 11).

Сопротивления фаз $Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$ одинаковы по величине и по характеру: $R = 3 \text{ Ом}$, $X_L = 4 \text{ Ом}$.

Определить:

1. фазные и линейные токи;
2. коэффициент мощности;
3. активную, реактивную и полную мощность нагрузки;
4. построить векторную диаграмму.

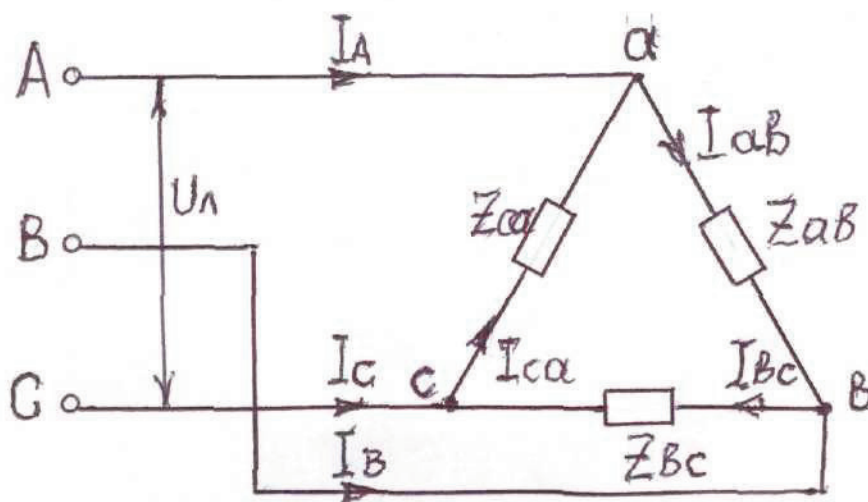


Рисунок 11 – Схема электрической цепи к задаче 3

Решение

При симметричной нагрузке фазные токи равны, поэтому достаточно выполнить расчет для одной фазы

$$I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{380}{5} = 76 \text{ А.}$$

В этом уравнении $U_{\phi} = U_{\text{л}}$ (фазное напряжение равно линейному), а сопротивление фазы

$$Z_{\phi} = \sqrt{R_{\phi}^2 + X_{\phi}^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ Ом.}$$

Линейные токи больше фазных в $\sqrt{3}$ раз

$$I_A = I_B = I_C = I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\phi} = \sqrt{3} \cdot 76 = 131,6 \text{ А.}$$

Активная мощность нагрузки

$$P = 3P_{\phi} = 3 U_{\phi} I_{\phi} \cos\varphi_{\phi} = 3 I_{\phi}^2 R_{\phi} = \\ = 3 \cdot 380 \cdot 76 \cdot 0,6 = 3 \cdot 76^2 \cdot 3 = 51984 \text{ Вт,}$$

$$\text{где } \cos\varphi_{\phi} = \frac{R_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{3}{5} = 0,6.$$

Реактивная мощность нагрузки

$$Q = 3 U_{\phi} I_{\phi} \sin\varphi_{\phi} = 3 I_{\phi}^2 X_{\phi} = \\ 3 \cdot 380 \cdot 76 \cdot 0,8 = 3 \cdot 76^2 \cdot 4 = 6931 \text{ вар,}$$

$$\text{где } \sin\varphi_{\phi} = \frac{X_{\phi}}{Z_{\phi}} = \frac{4}{5} = 0,8.$$

Полная мощность нагрузки

$$S = 3 U_{\phi} I_{\phi} = 3 I_{\phi}^2 Z_{\phi} = 3 \cdot 380 \cdot 76 = 3 \cdot 76^2 \cdot 5 = 86640 \text{ ВА.}$$

Диаграмма токов строится относительно векторов фазных напряжений $\underline{U}_{AB}$, $\underline{U}_{BC}$ и $\underline{U}_{CA}$, смещенных относительно друг друга на угол 120° (рисунок 12).

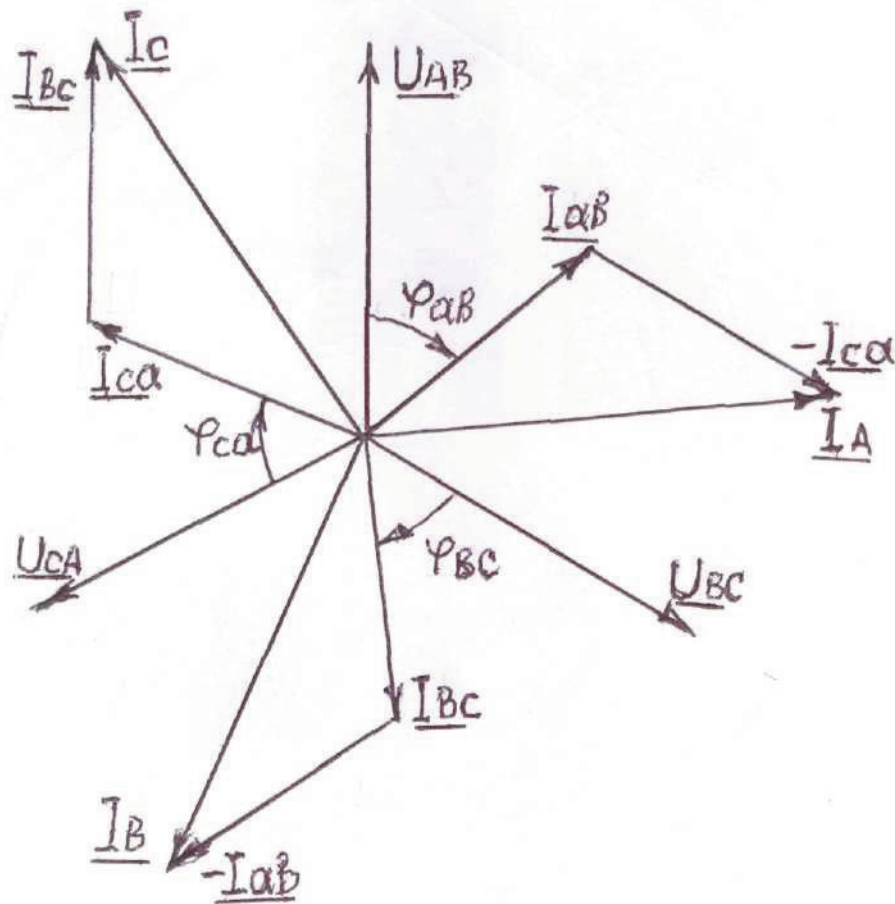


Рисунок 12 – Векторная диаграмма токов к примеру 3

Векторы фазных токов $\underline{I}_{ab}$, $\underline{I}_{bc}$ и $\underline{I}_{ca}$ отстают от своих фазных напряжений на углы $\varphi_{ab} = \varphi_{bc} = \varphi_{ca} = 53^\circ$.

Векторы линейных токов $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$ и $\underline{I}_C$ получают геометрическим сложением фазных токов по векторным уравнениям:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca};$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab};$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}.$$

3.2.4 Пример расчета к задаче 4

Технические данные электродвигателя:

$$U_{I_{ном}} = 380 \text{ В}; f = 50 \text{ Гц}; P_{2ном} = 0,25 \text{ кВт}; \\ n_1 = 1500 \text{ об./мин}; S_{ном} = 8\%; \eta_{ном} = 0,68; \cos\varphi_{ном} = 0,65; \\ m_i = I_{пуск}/I_{ном} = 4; m_{пуск} = M_{пуск}/M_{ном} = 2; m_{кр} = M_{max}/M_{ном} = 2,2$$

Определить:

Номинальный $I_{I_{ном}}$ и пусковой $I_{I_{пуск}}$ токи; номинальный $M_{ном}$, пусковой $M_{пуск}$ и максимальный M_{max} моменты; номинальную частоту вращения ротора $n_{2ном}$; мощность, потребляемую из сети P_1 при номинальной нагрузке на валу; полные потери мощности в двигателе ΔP ; критическое скольжение $S_{кр}$.

Как изменится пусковой момент двигателя при уменьшении сетевого напряжения на 20% и возможен ли пуск электродвигателя с номинальной нагрузкой на валу ротора?

Рассчитать по приближенным формулам и построить механические характеристики $M(S)$ и $n(M)$.

Решение

Номинальный ток электродвигателя может быть определен из формулы номинальной мощности:

$$P_{2ном} = \sqrt{3} \cdot U_{I_{ном}} \cdot I_{I_{ном}} \cdot \cos\varphi_{ном} \cdot \eta_{ном};$$

$$I_{I_{ном}} = \frac{P_{2ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{I_{ном}} \cdot \cos\varphi_{ном} \cdot \eta_{ном}} =$$

$$\frac{250}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,65 \cdot 0,68} = \frac{250}{290,9} = 0,86 \text{ А},$$

где $P_{2ном}$ представляют в Вт.

Пусковой ток электродвигателя:

$$I_{I_{пуск}} = I_{I_{ном}} \cdot m_i = 0,86 \cdot 4 = 3,44 \text{ А}.$$

Номинальный момент на валу ротора

$$M_{ном} = 9550 \cdot \frac{P_{2ном}}{n_{2ном}},$$

где $P_{2ном} = 0,25$ кВт – номинальная мощность электродвигателя;
 $n_{2ном}$ – номинальная частота вращения ротора, об./мин.
 $n_{2ном} = n_1(1 - S_{ном}) = 1500(1 - 0,08) = 1380$ об./мин,
 где $S_{ном}$ заданное в процентах, выражают в долях единицы.

С учетом этих величин

$$M_{ном} = 9550 \cdot \frac{0,25}{1380} = 1,73 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковой момент

$$M_n = M_{ном} \cdot m_{пуск} = 1,73 \cdot 2 = 3,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальный момент

$$M_{max} = M_{ном} \cdot m_{кр} = 1,73 \cdot 2,2 = 3,81 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Мощность P_1 , потребляемая двигателем от сети

$$P_1 = \frac{P_{2ном}}{\eta} = \frac{0,25}{0,68} = 0,368 \text{ кВт}$$

Полные потери мощности в двигателе:

$$\Delta P = P_1 - P_{2ном} = 0,368 - 0,25 = 0,118 \text{ кВт}.$$

Величину критического скольжения определяют по формуле

$$S_{кр} = S_{ном} \left[\frac{M_{max}}{M_{ном}} + \sqrt{\left(\frac{M_{max}}{M_{ном}} \right)^2 - 1} \right] = 0,08 \left(2,2 + \sqrt{2,2^2} \right) = 0,33$$

Пусковой момент двигателя при пониженном напряжении на 20 %

$$M' = \left(\frac{0,8 \cdot U_{1ном}}{U_{1ном}} \right)^2 \cdot M_{пуск} = 0,64 \cdot 3,46 = 2,21 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Так как $M'_{пуск} = 2,21$ Н·м превышает значение момента сопротивления, равного $M_{ном} = 1,73$ Н·м, то пуск двигателя возможен. Для расчета механической характеристики можно воспользоваться приближенной формулой Клосса

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{S_{кр}}{S} + \frac{S}{S_{кр}}},$$

где $S_{кр}$ – критическое скольжение, при котором двигатель развивает максимальный момент;

S – текущие значения скольжения.

Принимаем несколько значений S от нуля до единицы, в том числе $S = S_{ном}$ и $S = S_{кр}$.

При $S = 0$ $n_2 = n_1(1 - S) = n_1 = 1500$ об./мин

$$M_0 = \frac{2M_{\max}}{\frac{S_{кр}}{0} + \frac{0}{S_{кр}}} = 0;$$

При $S = 0,1$ $n_2 = 1500(1 - 0,1) = 1350$ об./мин

$$M_{0,1} = \frac{2 \cdot 3,81}{\frac{0,33}{0,1} + \frac{0,1}{0,33}} = \frac{7,62}{3,3 + 0,3} = 2,12 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

При $S = 0,2$ $n_2 = 1500(1 - 0,2) = 1200$ об./мин

$$M_{0,2} = \frac{7,62}{\frac{0,33}{0,2} + \frac{0,2}{0,33}} = \frac{7,62}{1,65 + 0,61} = 3,37 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

При $S = S_{ном}$ $n_{2ном} = 1500(1 - 0,08) = 1380$ об./мин

$$M_{0,08} = \frac{7,62}{\frac{0,33}{0,08} + \frac{0,08}{0,33}} = \frac{7,62}{4,125 + 0,242} = 1,74 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

При $S = S_{кр}$ $n_{кр} = 1500(1 - 0,33) = 1005$ об./мин

$$M_{0,33} = \frac{7,62}{\frac{0,33}{0,33} + \frac{0,33}{0,33}} = 3,81 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

При $S = 0,5$ $n_2 = 1500(1 - 0,5) = 750$ об./мин

$$M_{0,5} = \frac{7,62}{\frac{0,33}{0,5} + \frac{0,5}{0,33}} = 3,51 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

При $S = 0,7$ $n_2 = 1500(1 - 0,7) = 450$ об./мин

$$M_{0,7} = \frac{7,62}{\frac{0,33}{0,7} + \frac{0,7}{0,33}} = 2,94 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

При $S = 1$ $n_2 = 1500(1 - 1) = 0$ об./мин

$$M_1 = \frac{7,62}{\frac{0,33}{1} + \frac{1}{0,33}} = 2,27 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Результаты расчетов представляем в форме таблицы 7

Таблица 7 – Результаты значений n_2 и M в зависимости от S

S	0	0,1	0,2	$S_{\text{ном}} = 0,08$	$S_{\text{кр}} = 0,33$	0,5	0,7	1
n_2 об./мин	1500	1350	1200	1380	1005	750	450	0
M, Н·м	0	2,12	3,37	1,74	3,81	3,51	2,94	2,27

Графики зависимостей $M(S)$ и $n(M)$ представлены на рисунках 13 и 14.

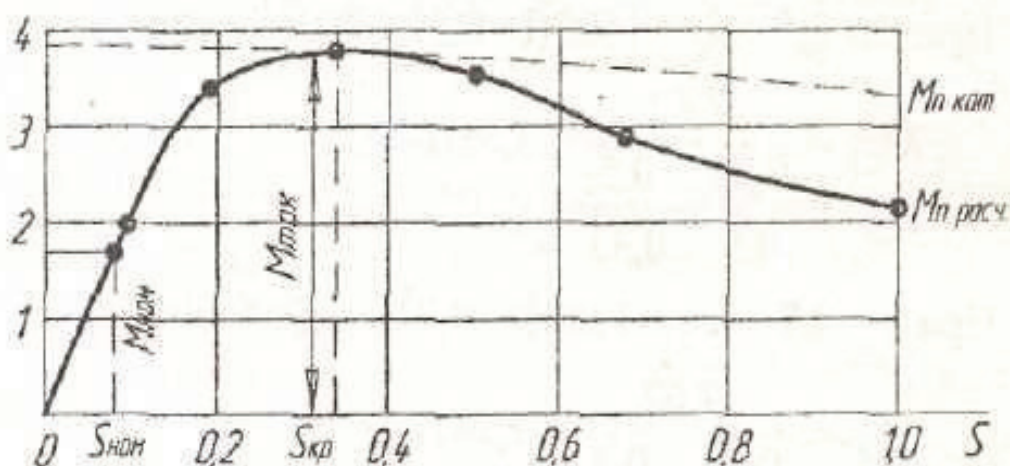


Рисунок 13 – График зависимости $M(S)$

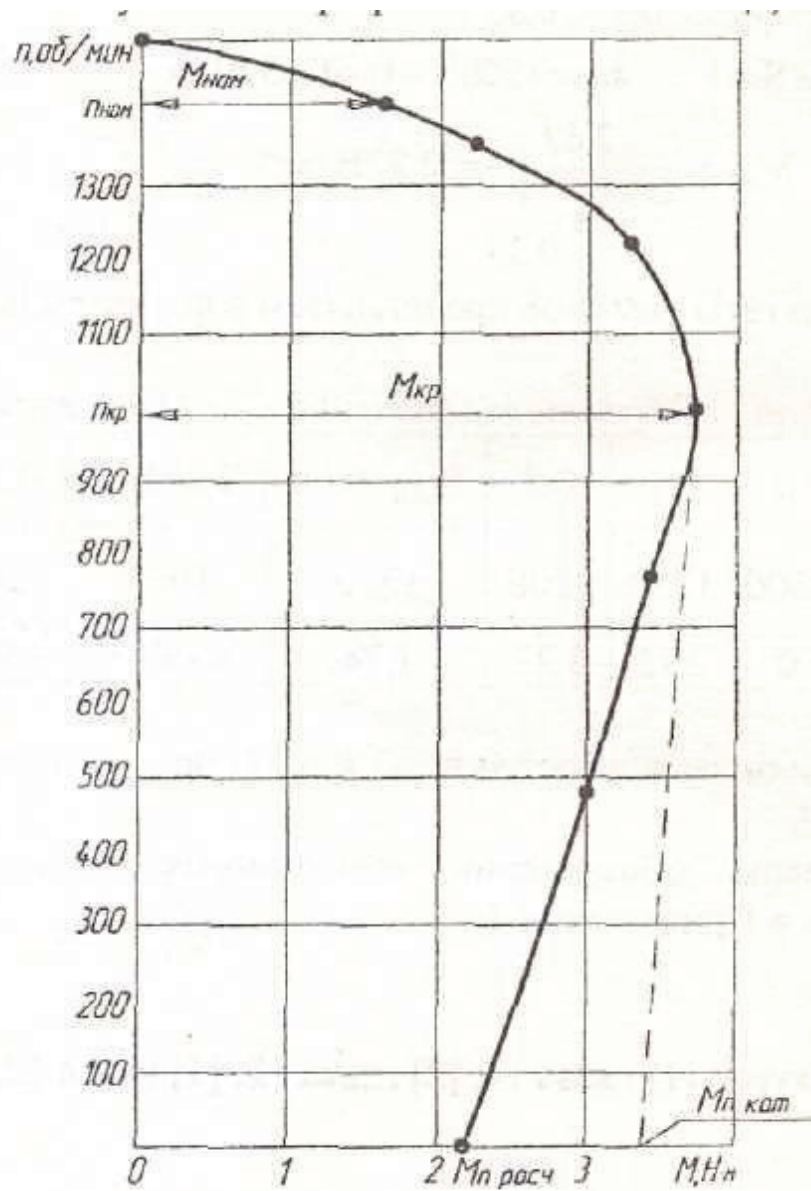


Рисунок 14 – График зависимости $n(M)$

Примеры обозначения асинхронных электродвигателей приведены в Приложении 3.

П р и л о ж е н и я

Приложение 1

Наименование тем лекций и их объем в часах
с указанием рассматриваемых вопросов
(заочная форма обучения)

№ п/п	№ раз- дела	Тема лекции	Рассматриваемые вопросы	Время, ч
1	2	3	4	5
1	1.2	Электрические цепи синусоидального тока	Получение синусоидальной электродвижущей силы (ЭДС). Основные параметры синусоидальных функций времени: период, частота, угловая частота, фаза, начальная фаза, разность фаз. Действующее и среднее значения синусоидальных величин. Способы представления синусоидальных величин.	2
2			Цепь синусоидального тока с резистором, идеальной индуктивной катушкой и конденсатором. Последовательное соединение резистора, индуктивной катушки и конденсатора. Резонанс напряжений. Мощность в цепи синусоидального тока. Цепи с последовательным соединением: резистора и индуктивной ка-	2

			тушки; резистора и конденсатора. Треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей.	
--	--	--	--	--

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
3	1.2		Цепь синусоидального тока с параллельным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсатора. Резонанс токов. Коэффициент мощности активно-индуктивного приемника и его повышение	2
4	1.3	Трехфазные цепи	Получение и причины широкого применения трехфазного тока в технике. Трехфазный генератор. Соединение потребителей звездой по трехпроводной и четырехпроводной схемам. Работа схем при симметричной и несимметричной нагрузках. Соединение потребителей треугольником. Мощность трехфазной цепи.	2
5	2.3	Электрические машины	Асинхронные двигатели (АД). Устройство и принцип действия трехфазного АД. Схемы включения. Механические и рабочие характеристики АД. Пуск и регулирование скорости АД.	2

Итого	10
-------	----

Приложение 2

Наименование тем лабораторных занятий, их объем в часах
и содержание
(заочная форма обучения)

№ п/п	№ раз- дела	Тема работы	Время, ч
1	2	4	5
1	1.2	Исследование неразветвленной цепи синусоидального тока с активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями.	2
2	1.2	Исследование разветвленной цепи синусоидального тока с индуктивной катушкой и конденсатором.	2
3	1.3	Исследование трехфазной цепи при соединении приемников звездой.	2
4	1.3	Исследование трехфазной цепи при соединении приемников треугольником.	2
5	2.3	Практическое знакомство с асинхронным трехфазным электродвигателем.	2
Итого			10

Приложение 3

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГОУ ВПО «ПЕНЗЕНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

КАФЕДРА ФИЗИКИ И МАТЕМАТИКИ

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

ПО ДИСЦИПЛИНЕ:

«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»

Вариант № ____

Выполнил студент _____
(№ гр.)

(ФИО студента)

Домашний адрес:

Проверил:

(ФИО преподавателя)

(дата, оценка работы)

Пенза, 20__ г.

Примеры обозначения асинхронных двигателей:

АОП2526СХ – асинхронный электродвигатель серии АО2 закрытого обдуваемого исполнения; П – с повышенным пусковым моментом; 5 – порядковый номер наружного диаметра сердечника статора (пятый габарит); 2 – порядковый номер длины сердечника статора; 6 – число полюсов; СХ – сельскохозяйственного назначения.

4АР160S4Y3 – асинхронный электродвигатель четвёртой серии; исполнение по степени защиты: Н – защищенный в соответствии со степенью защиты; 123 – защищенное исполнение (для закрытых двигателей обозначение защиты не приводится); вторая буква Р – с повышенным пусковым моментом; исполнение двигателя по материалу станины и щита; А – алюминиевая станина и щиты; Х – алюминиевая станина и чугунные щиты (при отсутствии знака станина и щиты чугунные или стальные); две или три цифры – высота оси вращения, мм; L, M, S – условные размеры по длине корпуса, принятые по рекомендации МЭК (международная электротехническая комиссия); 2, 4, 6, 8 – число полюсов; Y – климатическое исполнение; 3 – категория размещения (для упрощения обозначений Y3 часто не указывается).

DaC80A2C – асинхронный двигатель серии D; а – алюминиевый сплав; С – с повышенным скольжением; 80 – высота оси вращения в мм; А – условный размер по длине корпуса; 2 – число полюсов; С – сельскохозяйственного исполнения; наличие последней буквы П – электродвигатели для вентиляторов птицеводческих помещений.

5A250M-4 – асинхронный двигатель 5-серии; 250 – высота оси вращения, мм; М – длина средняя корпуса по установочным размерам; 4 – число полюсов.

РАI00M4 – российский асинхронный двигатель; 100 – высота оси вращения, мм; М – длина средняя корпуса по установочным размерам; S – длина малая корпуса по установочным размерам; L – длина большая корпуса по установочным размерам; 4 – число полюсов.

Владимир Петрович Богун

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания по изучению дисциплины
и задание для контрольной работы студентам заочной формы
обучения по направлению 110800.62 – «Агроинженерия»

Редактор В.П. Богун
Компьютерная верстка В.П. Богуна
Корректор Л.А. Артамонова

Сдано в производство	Формат 60×84 1/16
Бумага писчая «Классика»	Отпечатано на ризографе
Усл. печ. л. 4,24	Тираж экз. Заказ №

РИО ПГСХА

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30