

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГОМЕЛЬСКОГО ОБЛАСТНОГО
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО КОМИТЕТА
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «БУДА-КОШЕЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

«УТВЕРЖДАЮ»
Зам. директора по учебной работе

_____ Н.М.Тимошенко

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА С ОСНОВАМИ ЭЛЕКТРОНИКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ИЗУЧЕНИЮ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РА-
БОТЫ
ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
5-04-0812-01 «ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ТЕХНИКИ»

Буда –Кошелево, 2026

АВТОР: ГОРОДИНЕЦ ОЛЬГА МИХАЙЛОВНА, ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

*РАССМОТРЕНО НА ЗАСЕДАНИИ ЦИКЛОВОЙ
КОМИССИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
ПРЕДМЕТОВ*

ПРОТОКОЛ № ОТ «_» _____ 20 Г

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ _____

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА

Развитие сельского хозяйства немыслимо без интенсификации и индустриализации производства на основе достижений науки, техники и передового опыта.

Последние достижения электротехники как науки позволили создать разнообразные устройства с электронными, полупроводниковыми и электромагнитными элементами, обладающими высокими эксплуатационными свойствами. Это означает, что сельское хозяйство в ближайшие годы начнет оснащаться все более совершенным электротехническим и электронным технологическим оборудованием. Его эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт потребуют наличия на производстве высококвалифицированных специалистов.

Данная дисциплина изучается с целью получения знаний о физической сущности электромагнитных процессов, основных методах расчета электрических цепей, а также основных методах и средствах автоматизации технологических процессов и оборудования, применяемых в сельском хозяйстве.

На основе этих знаний обеспечивается более качественное изучение профилирующих дисциплин специальностей «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства»: «Тракторы и автомобили», «Сельскохозяйственные машины», «Электрооборудование сельскохозяйственных агрегатов и установок», «Компьютеризация сельского хозяйства».

Изучаемый материал необходимо конспектировать в тетради, выделяя при этом определения, формулы и формулировки законов и правил. Записи в конспектах и контрольных работах следует вести аккуратно, чертежи выполнять с помощью чертежного инструмента, соблюдая ЕСКД (Единую систему конструкторской документации). Размерность всех величин должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Графики и диаграммы должны выполняться в масштабе с кратким объяснением их построения.

Особое внимание должно быть уделено тому, как изучаемый теоретический материал реализуется в практических схемах электрооборудования автотракторной и сельскохозяйственной техники и в системах автоматизированного управления технологическими процессами.

После изучения каждой темы целесообразно повторить пройденный материал, не прибегая к помощи учебника, ответить на контрольные вопросы и разобрать решение типовых примеров, помещенных в настоящих методических указаниях.

На протяжении учебного года учащийся может обращаться за письменными и устными консультациями к преподавателю колледжа.

Программой дисциплины «Электротехника с основами электроники» предусматривается изучение на третьем курсе двух основных разделов: общей электротехники и основ электроники.

По этим двум разделам предусмотрено выполнение одной контрольной работы. Вариант контрольной работы выбирается по двум последним цифрам шифра.

Решать задачи контрольной работы рекомендуется в следующей последовательности:

- записать условие задачи, начертить схему в соответствии с ее условием;
- после разбора условия и схемы наметить план решения задачи, поясняя назначения вычислений; записать необходимую формулу, подставить в нее числовые значения величин, произвести вычисления, указав размерность определяемой величины.

После получения работы с оценкой и замечаниями преподавателя надо исправить отмеченные ошибки, выполнить все его указания и повторить недостаточно усвоенный материал. Если контрольная работа получила неудовлетворительную оценку, то учащийся выполняет ее снова по старому или новому варианту в зависимости от указаний рецензента и отправляет на повторную проверку.

Лабораторные работы выполняются в период лабораторно-экзаменационных сессий. К ним допускаются учащиеся после сдачи контрольной работы. По каждой работе составляется отчет по установленной форме.

К сдаче экзаменов допускаются учащиеся, которые получили зачет по контрольной и всем лабораторным работам.

В результате изучения дисциплины учащиеся **должны знать**:

- основные величины, характеризующие электрическое и магнитное поля, соотношения между этими величинами;
- физические процессы, происходящие в линейных и нелинейных электрических цепях переменного и постоянного тока;
- устройство измерительных приборов и способы измерений;
- устройство машин переменного и постоянного тока;
- устройство приборов электроники и их применение, физические процессы, происходящие в этих устройствах.

Должны уметь:

- производить расчеты в цепях постоянного тока, однофазных и трехфазных цепях переменного тока, выбирать электродвигатели, провода и кабели;
- применять электрические приборы для измерения электрических величин;
- пользоваться справочной литературой, нормативной документацией и вычислительной техникой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов В.С., Николаев С.А. Общая электротехника с основами электроники. – М.: Энергия, 1977.
2. Евдокимов Ф.Е. Общая электротехника. – М.: Высш. шк., 1987.
3. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники. – М.: Высш. шк., 1989.
4. Усс Л.В. и др. Общая электротехника с основами электроники / Л.В. Усс, А.С. Красько, Г.С. Климович. – М.: Высш. шк., 1990.
5. Харченко В.М. Основы электроники. – М.: Энергоиздат, 1982.
6. Федотов В.Н. Основы электроники. – М.: Высш. шк., 1980.

7. Резник А.В., Орлов В.П. Электрооборудование автомобилей. – М.: Транспорт, 1988.
8. Гельман Б.М., Москвин М.В. Сельскохозяйственные тракторы и автомобили. Т. 2: Шасси и оборудование. – М.: Агропромиздат, 1987.
9. Бородин И.Ф., Кирилин Н.И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. – М.: Колос, 1977.
10. Березкина Т.Ф. и др. Задачник по общей электротехнике с основами электроники / Т.Ф. Березкина, Н.Г. Гусев, В.В. Масленников. – М.: Высш. шк., 1983.
11. Усатенко С.Т. и др. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехов. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
12. Государственные стандарты:
19880-74. Электротехника. Основные понятия. Термины и определения.
1494-77. Электротехника. Буквенные обозначения основных величин.
ГСТ 8.417-81 ГСИ. Единицы физических величин.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

РАЗДЕЛ, ТЕМА	КОЛИЧЕСТВО УЧЕБНЫХ ЧАСОВ		
	ВСЕГО	В ТОМ ЧИСЛЕ	
		НА ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	НА ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ
ВВЕДЕНИЕ	2		
РАЗДЕЛ 1. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА	69	16	8
1.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ	2		
1.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА	10	4	2
1.3. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ	6		
1.4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	6	2	
1.5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ	6		2
1.6. ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	14	2	4
1.7. ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ	6	2	
1.8. ТРАНСФОРМАТОРЫ	6	2	
1.9. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	6	2	
1.10. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ	2		
1.11. ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	4	2	
<i>ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1</i>	<i>1</i>		
РАЗДЕЛ 2. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ	31	4	2
2.1. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ	9	2	
2.2. ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ	2		
2.3. ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ	8	2	2
2.4. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ	2		
2.5. ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ И ПРИБОРЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ	5		
<i>ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2</i>	<i>1</i>		
2.6. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ	4		
Итого	102	20	10

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА

Введение

Электрическая энергия, ее свойства, особенности и применение. Основные этапы развития отечественной электроэнергетики. Роль электрификации в развитии передовых технологий, автоматизации технологических процессов.

Краткое содержание учебного предмета «Электротехника с основами электроники». Значение электротехнической подготовки специалистов среднего звена для освоения новой технологии современного производства.

Методические указания

Начиная изучение предмета, необходимо знать, какими свойствами обладает электрическая энергия и где она применяется. Следует обратить внимание на перспективы развития электроэнергетики, какую роль выполняют электротехника и электроника в совершенствовании технологических процессов сельскохозяйственного производства, автотракторостроения, диагностике автомобилей и тракторов.

Литература: 1, с. 3-12; 2, с. 4-10.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимается под электрической энергией?
2. Перечислите основные свойства электрической энергии.
3. Назовите крупнейшую электростанцию в Беларуси. Какова ее мощность?

РАЗДЕЛ 1. ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

1.1. Электрическое поле

Краткие сведения о строении вещества. Электрический разряд. Электрическое поле. Характеристики электрического поля: напряженность, потенциал, электрическое напряжение, единицы энергии электрического поля.

Проводники, диэлектрики и полупроводники. Их краткая характеристика и практическое применение.

Диэлектрик в электрическом поле, поляризация диэлектрика, пробой диэлектрика.

Электрическая емкость, единицы измерения. Конденсаторы. Соединение конденсаторов.

Методические указания

При изучении данной темы, необходимо вспомнить современные представления о строении вещества, о том, какие его частицы являются нейтральными и какие электрически заряженными; вспомнить, что взаимодействие между электрическими зарядами или заряженными частицами осуществляется через материальную среду – электромагнитное поле, которое является особым видом материи с запасом энергии и обладает электрическими и магнитными свойствами. По природе своей электромагнитное поле едино и неделимо, но при изучении рассматривается по частям в соответствии с его проявлениями как электрического и магнитного полей. Электрическое поле, как и электромагнитное поле в целом, связано с электрическим зарядом.

Изучая электрическое поле, необходимо уяснить основные величины, характеризующие его: электрический заряд, напряженность, электрический потенциал, напряжение, а также физический смысл этих величин, взаимосвязь и количественные соотношения между ними. Для лучшего понимания физических явлений, связанных с электрическим полем, его изображают с помощью условных линий, которые называют линиями напряженности.

Необходимо уяснить явление, которое наблюдается в проводниках и диэлектриках при нахождении их в электрическом поле; выяснить физическую сущность электрической емкости любого проводника и конденсатора – устройства для сосредоточения электрического поля в незначительном объеме. Рассматривая способы соединения конденсаторов, следует усвоить, что электрическая емкость аналогична электрической проводимости.

Литература: 1, с 13-31; 2, с 11-32; 3, с 8-25; 4, с 10-24.

Вопросы и задачи для самоконтроля

1. Какие величины характеризуют электрическое поле? В каких единицах они измеряются?
2. Для чего применяют параллельное соединение конденсаторов? В каких случаях следует применять последовательное соединение конденсаторов?
3. Три конденсатора одинаковой емкости соединяются так, что электрическая емкость полученной батареи равна емкости каждой из них. Как соединены конденсаторы?
4. У автомобиля на стоянке включены передние и задние фонари: четыре лампочки по 8,2 Вт каждая. Полагая ток в лампах неизменным, определить время, через которое аккумуляторная батарея 6СТ-78 потеряет 50% номинальной мощности.
5. Двенадцать батарей по 4,5 В каждая необходимо соединить так, чтобы эквивалентная электродвижущая сила (ЭДС) всех батарей составляла 13,5 В. Начертить схему соединения батарей.
6. Как вычислить электрическую энергию поля заряженного конденсатора и батареи конденсаторов?

1.2. Электрические цепи постоянного тока

Общие сведения об электрических цепях. Основные элементы электрических цепей: источники и приемники электрической энергии. Электродвижущая сила (ЭДС) источника и напряжение на его зажимах. Электрический ток, его определение, величина, направление, плотность.

Законы Ома для участка цепи и полной цепи. Электрическое сопротивление и проводимость. Зависимость сопротивления проводника от его размеров, материала и температуры. Работа и мощность электрической цепи.

Нагревание проводов. Закон Джоуля-Ленца. Плавкие предохранители. Понятие о режимах электрических цепей (номинальный, холостого хода, короткого замыкания). Последовательное, параллельное и смешанное соединения резисторов. Законы Кирхгофа.

Методические указания

К изучению темы следует приступить после усвоения причин и условий возникновения и протекания электрического тока, физических величин, характеризующих его как с количественной, так и с качественной стороны.

Очень важно в результате изучения темы выработать правильное представление об электродвижущей силе, электрическом сопротивлении, проводимости, мощности.

Следует запомнить соотношение между ЭДС и напряжением на зажимах источника при работе его в режиме генератора и в режиме потребителя.

Если источник работает в режиме генератора, то ток внутри источника направлен как и ЭДС – от «минуса» к «плюсу», а если в режиме потребителя – противоположно направлению ЭДС. Необходимо также уяснить, что при всем многообразии источников и потребителей электрической энергии, все они характеризуются электрической мощностью (скоростью преобразования других видов энергии в электрическую и наоборот).

Следует научиться определять мощность, развиваемую источником, и мощность, потребляемую в приемниках.

Так как производство электрической энергии и ее потребление протекают как единый процесс, то источник вырабатывает в любой момент времени столько энергии, сколько ее потребляет приемник, поэтому необходимо помнить, что для любых электрических цепей, находящихся в любых режимах, справедлив баланс мощности источников и приемников электрической энергии.

В этой теме изучаются основные законы электротехники – закон Ома, закон Джоуля-Ленца, которые имеют связь с дисциплинами «Охрана труда», «Электрооборудование сельскохозяйственных машин и агрегатов».

Пассивные цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединением относятся к простым электрическим цепям. Расчет этих цепей чаще всего сводится к расчету токов в ветвях и напряжений на отдельных участках эквивалентных схем. При одном источнике электрической энергии в схеме, если его ЭДС и сопротивление всех ветвей заданы, прежде всего, определяется эквивалентное сопротивление цепи. После вычисления тока в эквивалентной схеме переходят к распределению его по отдельным ветвям и определению напряжения на участках схемы. При этом основными расчетными уравнениями являются закон Ома и первый закон Кирхгофа.

Литература: 1, с. 31-66; 2, с. 32-59; 3, с. 28-69; 4, с. 24-50.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется электрическим током и плотностью тока?
2. Какова физическая сущность электрического сопротивления проводника постоянному току? От каких параметров проводника зависит эта величина?
3. Что называется электрической цепью и из каких элементов она состоит?
4. Что называется электродвижущей силой источника электрической энергии? Чем она отличается от напряжения по физическому смыслу?
5. Что такое энергия и мощность источника и приемника электрической энергии? В каких единицах они измеряются?
6. Сформулируйте закон Ома для участка цепи; для всей цепи.
7. Что называется ветвью, узлом, контуром электрической цепи?
8. Перечислите свойства последовательного соединения резисторов. Когда оно применяется?
9. Перечислите свойства параллельного соединения резисторов. Когда оно применяется?
10. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа.

1.3. Электромагнетизм

Магнитное поле электрического тока. Магнитная индукция как характеристика интенсивности магнитного поля. Правило буравчика. Магнитный поток. Магнитная проницаемость. Напряжение магнитного поля.

Электромагнитная сила, действующая на проводник с током в магнитном поле. Правило левой руки. Взаимодействие параллельных проводников с токами. Принцип действия электромагнитного реле.

Ферромагнитные материалы, их намагничивание и перемагничивание. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы.

Явление электромагнитной индукции. ЭДС, возникающая в проводнике при перемещении его в магнитном поле. ЭДС, наводимая в контуре, катушке. Правило правой руки. Принцип Ленца. Явление самоиндукции. ЭДС самоиндукции. Индуктивность. Вихревые токи, их практическое значение.

Принцип преобразования механической энергии в электрическую и электрической в механическую.

Методические указания

Изучая данную тему, каждый учащийся должен осознать всю важность явлений электромагнетизма и электромагнитной индукции как основы всех современных электрических машин, приборов и электротехнических устройств: электромагнитных генераторов, электродвигателей, трансформаторов, электромагнитных реле, тягового реле стартера, катушки зажигания, магнитоиндуктивных преобразователей.

Любое магнитное поле создается током. Даже поле постоянного магнита обусловлено элементарными токами, связанными с разными формами движения электронов внутри атомов.

Направление магнитного поля принято определять либо с помощью магнитной стрелки, северный конец которой указывает положительное направление магнитного поля, либо по правилу буравчика, если известно положительное направление тока создающего рассматриваемое поле.

Магнитное поле характеризуется напряженностью, магнитной индукцией, магнитным потоком. Среда, в которой существует магнитное поле, характеризуется магнитной проницаемостью. Самую высокую магнитную проницаемость имеет ферромагнитная среда (сердечники трансформаторов, дросселей, электромагнитных реле и т.д.). Для лучшего усвоения последующего материала необходимо изучить эти величины, единицы их измерения и количественные соотношения между ними. Особое внимание следует уделить намагничивающей силе и понять основной закон электромагнетизма – закон полного тока.

В практической электротехнике важнейшее значение имеет электромагнитная сила. Следует уяснить, как определяются ее числовое значение и направление, как происходит процесс намагничивания ферромагнитных материалов, а также понять, что ферромагнитный сердечник в катушке с током служит для концентрации энергии магнитного поля в небольшом объеме.

Работа всех электрических машин и трансформаторов основана на использовании закона электромагнитной индукции. Индуктивная ЭДС может возникнуть лишь в том случае, если проводник находится в изменяющемся магнитном поле независимо от причины его возникновения.

Необходимо обратить внимание на определение направления индуктированного тока (закон Ленца), который дает возможность понять физическую сущность явлений (направление ЭДС самоиндукции, вихревых токов).

Особенно важно усвоить явление самоиндукции, потому что каждый отдельный проводник и вся электрическая цепь в целом характеризуются индуктивностью – способностью наводить в себе ЭДС самоиндукции при изменении магнитного потока, образованного изменяющимся током. Необходимо помнить, что ЭДС самоиндукции является неизбежным спутником переменного тока.

Вихревые токи используются при высокочастотной закалке металлов, сушке древесины и т.д., а в электрических машинах они вызывают дополнительные потери.

Следует получить четкое представление о явлении взаимной индукции.

Литература: 1, с. 69-107; 2, с. 59-90; 3, с. 69-116; 4, с. 52-82.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое магнитное поле? Каковы его основные свойства?
2. По какому правилу определяется направление магнитного поля прямолинейного тока и тока в цилиндрической катушке?
3. Что называется магнитной индукцией? Назовите единицу ее измерения.
4. Какова формула для определения электромагнитной силы, действующей на проводник, с током в магнитном поле? Сформулируйте правило левой руки.
5. Как определить направление ЭДС электромагнитной индукции, наводимой в прямолинейном проводнике? Сформулируйте закон Ленца.
6. Что называется ЭДС самоиндукции? Как определяется ее направление?
7. Каковы причины возникновения вихревых токов? Назовите их свойства, применение и способы уменьшения.

1.4. Однофазные электрические цепи переменного тока

Переменный электрический ток, понятие о получении переменного тока путем вращения проводника, согнутого в рамку, в магнитном поле. Период, частота, угловая частота. Максимальное, мгновенное и действующее значения переменного тока и напряжения. Фаза и сдвиг фаз. Синусоидальное и векторное изображение переменных величин.

Цепь переменного тока с активным сопротивлением. Закон Ома. Активная мощность. Векторная диаграмма.

Цепь переменного тока с индуктивностью. Векторная диаграмма. Реактивное индуктивное сопротивление. Реактивная индуктивная мощность.

Цепь переменного тока с емкостью. Емкостное сопротивление. Реактивная емкостная мощность. Векторная диаграмма.

Неразветвленная цепь переменного тока с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью. Векторная диаграмма. Треугольники сопротивлений и мощностей. Резонанс напряжений.

Цепь переменного тока с реальной катушкой. Векторная диаграмма.

Методические указания

При изучении данной темы нужно твердо усвоить основные понятия переменного тока: период, частота, фаза, сдвиг фаз, мгновенное, амплитудное, среднее и действующее значения синусоидальной величины. Необходимо приобрести навыки графического изображения синусоидальных величин при помощи волновых и векторных диаграмм, сложения и вычисления векторов.

В теории электротехники положительным направлением вращения векторов принято считать вращение против часовой стрелки. Поэтому на векторной диаграмме (рис. 1) угол, образованный вектором E_1 и положительной осью X , считается положительным.

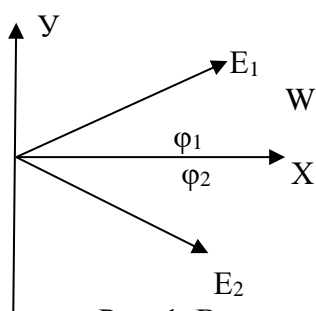


Рис. 1. Векторная диаграмма

Мгновенное значение ЭДС - $e_1 = E_{m1} \sin (wt + \varphi_1)$.

Угол, образованный вектором E_2 и положительной осью X , считается отрицательным. Мгновенное значение ЭДС - $e_2 = E_{m2} \sin (wt + \varphi_2)$.

При изучении темы необходимо помнить, что электрическая цепь переменного тока характеризуется параметрами: активным сопротивлением r , емкостью C , индуктивностью L . Лампы накаливания, бытовые нагревательные приборы и реостаты обладают активным сопротивлением. Цепь ненагруженного трансформатора можно рассматривать как индуктивность L , а кабельную линию без нагрузки – как емкость C . Необходимо изучить идеальные цепи с активным сопротивлением R , индуктивностью L , емкостью C . Эти знания нужны при изучении реальных электрических цепей переменного тока. Нужно запомнить, что в цепи с активным сопротивлением напряжение и ток совпадают по фазе:

$$u = U_m \sin wt;$$

$$i = I_m \sin wt,$$

а векторы напряжения и тока совпадают по направлению (рис. 2).

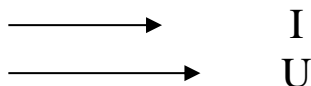


Рис. 2. Векторы напряжения и тока для цепи с активным сопротивлением

В цепи с индуктивностью напряжение опережает ток по фазе на 90^0 :

$$u = U_m \sin (wt + 90^0);$$

$$i = I_m \sin wt,$$

и векторы напряжения и тока составляют угол 90^0 (рис. 3).

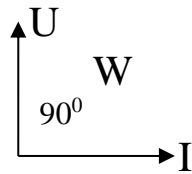


Рис. 3. Векторы напряжения и тока для цепи с индуктивностью

В цепи с емкостью ток опережает напряжение на 90° :

$$i = I_m \sin (\omega t + 90^\circ);$$

$$u = U_m \sin \omega t,$$

и векторы напряжения и тока составляют угол 90° (рис. 4).

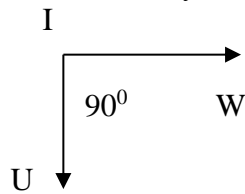


Рис. 4. Векторы напряжения и тока для цепи с емкостью

Схема замещения реальной катушки представляет собой последовательное соединение активного сопротивления катушки и индуктивности (рис. 5):

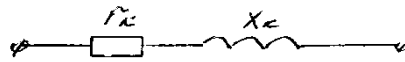


Рис. 5. Схема замещения реальной катушки

При изучении неразветвленной электрической цепи нужно исходить из положения последовательного соединения сопротивлений. При этом один и тот же ток проходит по всем элементам электрической цепи, а напряжение распределяется на активных и реактивных сопротивлениях (рис. 6).

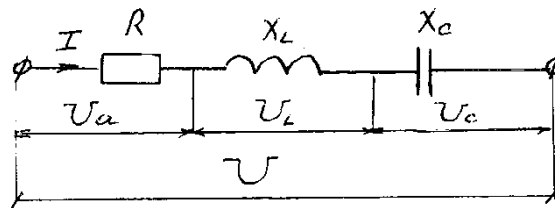


Рис. 6. Ток и напряжение в неразветвленной электрической цепи

Мгновенные значения тока и напряжения запишутся:

$$i = I_m \sin \omega t;$$

$$u_a = U_{am} \sin \omega t;$$

$$u_L = U_{Lm} \sin (\omega t + 90^\circ);$$

$$u_C = U_{Cm} \sin (\omega t - 90^\circ).$$

Для этой цепи можно построить треугольники напряжений, сопротивлений, мощностей. Векторные диаграммы строятся в масштабе. Последовательность построения векторной диаграммы для цепи (рис. 6) следующая.

1. Вектор тока \vec{I} откладываем по горизонтальной оси.
2. Вектор активного падения напряжения \vec{U}_a совпадает по фазе с вектором тока, поэтому в выбранном масштабе откладываем вектор напряжения $\vec{U}_a = \vec{I} \cdot r$, совпадающий с вектором тока \vec{I} .
3. Вектор индуктивного падения напряжения \vec{U}_L ($U_L = IX_L$) опережает на 90° вектор тока \vec{I} , поэтому из конца вектора напряжения \vec{U}_a откладываем в сторону опережения на 90° вектор напряжения U_L .
4. Вектор емкостного падения напряжения \vec{U}_C ($U_C = IX_C$) отстает на 90° от вектора тока \vec{I} , поэтому из конца вектора \vec{U}_L в сторону отставания от вектора тока на 90° откладываем вектор напряжения \vec{U}_C .
5. Вектор, соединяющий начало вектора активного падения напряжения \vec{U}_a с концом вектора напряжения \vec{U}_C , дает в том же масштабе вектор приложенного к цепи напряжения \vec{U} (рис. 7).

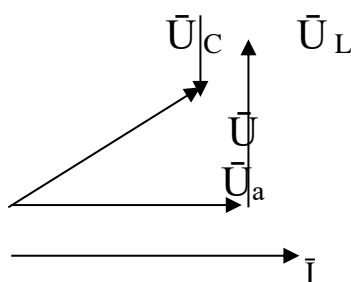


Рис. 7. Векторная диаграмма для неразветвленной электрической цепи

В этой теме вводятся понятия полного сопротивления и полной мощности. Полная мощность, измеряемая в вольт-амперах (ВА), - это мощность, которую мог бы отдать источник, если бы он работал при номинальном напряжении и токе и при $\cos\varphi = 1$. В цепях с последовательным соединением R, L, C необходимо учитывать появление резонанса напряжения, при котором на реактивных сопротивлениях могут возникнуть опасные напряжения в результате резкого увеличения тока в цепи. Следует обратить внимание на условие возникновения резонанса напряжений и его особенности.

При изучении разветвленных электрических цепей надо исходить из положения параллельного соединения. При параллельном соединении напряжение является общим для всех ветвей, поэтому его необходимо брать за основу при расчете электрической цепи, а ток каждой ветви распределять на активную и реактивную составляющие.

При построении векторных диаграмм необходимо обратить особое внимание на то, что в неразветвленных и разветвленных электрических цепях активная составляющая напряжения, сопротивления, тока, проводимости и мощности всей цепи равна арифметической сумме активных составляющих соответствующих величин ее участков или ветвей.

Реактивная составляющая напряжения, сопротивления, тока, проводимостей и мощности цепи равны алгебраической сумме реактивных составляющих соответствующих величин участков или ветвей цепи. Напряжение, сопротивление, ток, проводимость и мощность всей цепи равны геометрической сумме напряжений, сопротивлений, токов, проводимостей и мощностей отдельных участков или ветвей.

При изучении темы необходимо понять физическую сущность повышения коэффициента мощности, процессов при резонансе токов

Литература: 1, с. 139-183; 2, с. 90-118; 3, с. 116-164; 4, с. 82-108.

Вопросы и задачи для самоконтроля

1. Какой ток называется переменным? Запишите уравнение синусоидального тока в общем виде.

2. Что такое период, частота, амплитуда и начальная фаза переменного тока?
3. Сформулируйте понятия активного, емкостного и индуктивного сопротивлений. Почему и индуктивное и емкостное сопротивления называются реактивными?
4. Чему равно емкостное сопротивление конденсатора емкостью 300 мкФ при частоте тока 50 Гц?
5. Чему равно индуктивное сопротивление катушки индуктивностью 3 мГн при частоте тока 500 Гц?
6. Как изменится величина индуктивного, емкостного, активного сопротивлений, если частоту тока в цепи увеличить в 2 раза?
7. Что означает коэффициент мощности $\cos\varphi$? Каковы способы его повышения и при каких условиях $\cos\varphi = 1$?
8. Активное, емкостное и индуктивное сопротивления по 5 Ом каждое соединены параллельно и подключены к сети напряжением 20 В. Найти ток неразветвленной части цепи.
9. Что называется активной, реактивной мощностью и в каких единицах они измеряются?
10. Сформулируйте закон Ома для последовательной цепи переменного тока, обладающей активным, индуктивным и емкостным сопротивлением, постройте векторную диаграмму.

1.5. Трехфазные электрические цепи

Трехфазная ЭДС, трехфазный ток. Преимущества трехфазной системы. Соединение обмоток генератора и потребителей энергии звездой. Фазные и линейные напряжения и токи. Соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами.

Трехпроводная и четырехпроводная цепи. Значение нулевого провода.

Соединение обмоток генератора и потребителей энергии треугольником. Соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами. Мощность трехфазной цепи.

Методические указания

При изучении трехфазной системы следует обратить внимание на ее преимущества перед однофазной.

В результате изучения темы необходимо получить навыки построения векторных и топографических диаграмм, исследования и расчета трехфазных электрических цепей при симметричной и несимметричной нагрузках.

При изучении темы следует обратить внимание на существующие способы включения осветительной и силовой нагрузок в трехфазную сеть. Необходимо научиться правильно выбирать схему соединения (звезда или треугольник) в зависимости от напряжения сети и номинального напряжения потребителя электрической энергии.

При соединении звездой фазное напряжение меньше линейного в $\sqrt{3}$ раза, а токи фазные и линейные равны:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}};$$

$$I_{\phi} = I_{\text{л}}.$$

При соединении треугольником:

$$U_{\phi} = U_{\text{л}};$$

$$I_{\phi} = \frac{I_{\text{л}}}{\sqrt{3}}.$$

$$\sqrt{3}$$

При равномерной нагрузке потребителей, соединенных звездой, нейтраль генератора совмещается с нейтралью потребителя.

Однако, при неравномерной нагрузке фаз появляется смещение нейтрали, и в нулевом проводе течет ток. Значение этого тока зависит от разности нагрузок в фазах.

Нулевой провод при неравномерной нагрузке фаз необходим для уравнивания фазных напряжений, следовательно, при равномерной нагрузке фаз в нулевом проводе нет никакой необходимости.

В симметричных трехфазных цепях расчет ведется для одной фазы с использованием методов расчета однофазных цепей.

При несимметричных нагрузках расчет ведется для каждой фазы в отдельности символическим методом.

В несимметричных трехфазных цепях активная мощность определяется как арифметическая сумма активных мощностей фаз, а реактивная мощность – как алгебраическая сумма реактивных мощностей. Индуктивные реактивные мощности берутся со знаком «+» (плюс), а реактивные мощности емкостного характера берутся со знаком «-» (минус).

При изучении вращающегося магнитного поля необходимо уяснить, что токи, проходящие через обмотки статора трехфазного двигателя, изменяются по синусоидальному закону и сдвинуты по фазе относительно друг друга на 120° :

$$A = I_m \sin \omega t ;$$

$$B = I_m \sin (\omega t - 120^{\circ});$$

$$C = I_m \sin (\omega t + 120^{\circ}).$$

При соединении фаз генератора и приемника (за исключением осветительной сети) необходимо соблюдать последовательность чередования фаз и соединение концов обмоток источника треугольником. Нужно уяснить, какие последствия возникают при неправильном соединении.

Литература: 1, с. 183-195; 2, с. 118-126; 3, с. 164-180; 4, с. 110-126.

Вопросы для самоконтроля

1. Какая система называется трехфазной?
2. Какая система ЭДС называется симметричной?
3. Независимо от схемы соединения приемника (звезда, треугольник) мощность трехфазной цепи определяют по одинаковым формулам. Почему?
4. С какой целью в трехфазной системе токов используется нулевой провод? Почему в нулевом проводе не включают предохранители?
5. Какие соотношения существуют между системой линейных и фазных обмоток источника звездой; треугольником?
6. Почему опасно неправильное соединение фаз источника треугольником?
7. От чего зависит направление и скорость вращения магнитного потока?

1.6. Электрические измерения

Электроизмерительные приборы: их назначение и роль в развитии науки и техники. Классификация электроизмерительных приборов. Условное обозначение электроизмерительных приборов.

Измерительные механизмы приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, индукционной и других систем.

Измерение тока, напряжения и мощности. Включение амперметра, вольтметра, ваттметра в электрическую цепь. Расширение пределов измерения амперметров и вольтметров. Погрешности измерений.

Измерение электрического сопротивления.

Методические указания

Все погрешности измерения подразделяются на основные и дополнительные. Дополнительные возникают при отклонении условий эксплуатации от нормальных. Основная погрешность определяется в виде абсолютной, относительной или относительной приведенной погрешности. Абсолютная погрешность – это погрешность, которую дает прибор, выраженная в единицах измеряемой величины. Относительная погрешность сравнивает величину абсолютной погрешности с действительным значением измеряемой величины и выражается в процентах:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_q} \cdot 100 \%$$

Чтобы охарактеризовать точность прибора по всей шкале пользуются относительной приведенной погрешностью. Она сравнивает абсолютную погрешность с максимальным значением измеряемой величины, которое имеется на шкале прибора и выражает ее в процентах от номинального значения шкалы прибора:

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta A}{A_{\text{макс}}} \cdot 100 \%$$

Класс точности прибора и есть гарантийный заводом верхний предел относительной приведенной погрешности, которую может давать этот прибор.

Нужно заучить значения условных знаков, которые наносятся на шкале приборов и разобратся в значении отдельных деталей, являющихся общим для всех приборов. Необходимо уяснить физические процессы, происходящие в измерительных механизмах различных систем.

При измерении напряжения и тока важно понять принципы, на которых основаны эти измерения. Измеряемый ток пропускается через измерительный механизм, и по величине воздействия судят о величине измеряемого тока.

Отсюда следует, что амперметр нужно включать в цепь последовательно с участком цепи, в котором измеряется ток.

Измерение напряжения основано на оценке величины тока в цепи с известным сопротивлением, к которому подведено искомое напряжение. Значение напряжения определяется как произведение тока на величину известного сопротивления. Необходимо помнить, что вольтметр включается параллельно.

Очень важно усвоить, что расширение пределов измерения амперметров с помощью шунтов основано на ответвлении всего излишка измеряемого тока и что даже при максимальном, предусмотренном расчетном токе, в измерительном механизме ток достигнет лишь номинального значения. Необходимо иметь в виду, что шунты применяются в цепях постоянного тока, а в цепях переменного тока применяют трансформаторы тока, работающие в режиме, близком к короткому замыканию.

В вольтметрах на добавочном сопротивлении гасится весь излишек напряжения. Добавочное сопротивление может использоваться и в цепях переменного тока, так как сопротивление вольтметра велико, и его изменения с изменением положения подвижной системы практически не ощутимо. Распределение измеряемого напряжения между измерительным механизмом и добавочным сопротивлением с изменением положения подвижной системы практически не изменяется.

Необходимо разобратся, почему трансформатор напряжения работает в режиме холостого хода.

Известно, что мощность в цепи постоянного тока зависит от величины напряжения и тока. Поэтому прибор для измерения мощности (ваттметр) должен в своем устройстве иметь два чувствительных элемента, один из которых реагирует на изменение напряжения, другой – на изменение тока, а результат передавать на указатель прибора.

Известно, что два чувствительных элемента имеют приборы электродинамической, ферродинамической и индукционной систем. Нужно обратить внимание на обозначение генераторных зажимов обмоток ваттметров, как это учитывается при включении приборов. В цепях переменного тока мощность зависит от величины угла сдвига фаз между током нагрузки и напряжением на ее зажимах. При измерении мощности следует обратить внимание на схемы включения ваттметров в однофазных и трехфазных цепях.

Известно, что энергия – это мощность за единицу времени. Поскольку счетчик должен реагировать на всякие изменения мощности, то его электрическая часть должна быть подобна ваттметру. Но показания счетчика должны увеличиваться, для этого счетчик имеет в своем устройстве счетный механизм. Это суммирующий прибор. Надо обратить внимание на обозначение зажимов обмоток счетчиков. Генераторные зажимы токовых обмоток счетчиков обозначаются буквой *г*, а зажимы, к которым подключается нагрузка – буквой *Н*. Необходимо знать типы счетчиков и значение букв и цифр.

При измерении сопротивлений следует уделить особое внимание измерительным мостам и уяснить принцип их действия.

При изучении принципа действия и устройства омметра важно обратить внимание на то, что измерять величину сопротивления постоянному току можно с помощью того же измерительного механизма, который применяется для измерения тока и напряжения. При неизменном напряжении величина тока зависит только от величины измеряемого сопротивления. Чем больше R_x , тем меньше ток и тем меньшим будет отклонение стрелки измерительного механизма. Значения делений возрастают справа налево. Нужно знать, как измеряется сопротивление авометром.

Литература: 1, с. 200-232; 2, с. 130-153; 3, с. 318-359; 4, с. 126-148.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие существуют погрешности и как они вычисляются?
2. Как определяется класс точности прибора?
3. Перечислите основные детали электроизмерительных приборов.
4. Перечислите признаки, по которым классифицируются электроизмерительные приборы.
5. Что такое чувствительность, относительная погрешность и действительная постоянная счетчика?
6. Начертите схему включения электродинамического ваттметра.
7. Начертите схемы включения ваттметров для измерения мощности в трехфазных цепях при симметричной и несимметричной нагрузках.
8. Начертите схему включения ваттметра в цепи однофазного переменного тока через измерительные трансформаторы.

1.7. Трансформаторы

Назначение и применение трансформаторов. Устройство, принцип действия однофазного трансформатора: принципиальная схема, ЭДС обмоток.

Режим холостого хода трансформаторов, определение коэффициента трансформации и потерь мощности в стали трансформатора.

Работа трансформатора под нагрузкой. Понятие о трехфазном трансформаторе. Потери энергии и КПД трансформатора. Опыт короткого замыкания. Понятие о специальных трансформаторах.

Методические указания

Приступая к изучению трансформаторов, следует уделить внимание процессу передачи энергии из первичной обмотки во вторичную. При изучении однофазного трансформатора следует обратить внимание на равенство ЭДС, приходящихся на один виток первичной и вторичной обмоток при холостом ходе трансформатора, поэтому если число витков первичной и вторичной обмоток будет одинаковым, то и ЭДС обмоток будет одинаковым. Если при данном первичном напряжении и числе витков вторичной обмотки изменить число витков первичной обмотки (уменьшить, например), то изменится напряжение вторичной обмотки (увеличится для

нашего случая), так как при этом увеличится ЭДС на один виток на вторичной обмотке, и общая ЭДС на вторичной обмотке также увеличится.

Изучая работу трансформатора под нагрузкой, следует твердо усвоить, что магнитный поток в сердечнике трансформатора остается практически постоянным при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной. Это означает постоянство результирующей намагничивающей силы, определяемой геометрической суммой намагничивающей силы первичной обмотки I_1W_1 и намагничивающей силы вторичной обмотки I_2W_2 , то есть $I_1W_1 + I_2W_2$.

При холостом ходе ($I_2 = 0$) намагничивающая сила вызывается током холостого хода I_0 только в первичной обмотке.

Баланс намагничивающих сил объясняет автоматическое изменение первичного тока при изменении нагрузки трансформатора, то есть вторичного тока.

Необходимо обратить внимание на параметры, определяемые в режиме холостого хода и короткого замыкания трансформатора.

Полезно помнить, что К.П.Д. трансформатора зависит от нагрузки и достигает максимального значения, когда потери в обмотках равны потерям в стали.

Обязательно нужно помнить особенности рабочего процесса измерительных трансформаторов тока.

Литература: 1, с. 234-251; 2, с. 153-177; 3, с.182-199; 4, с. 148-164.

Вопросы для самоконтроля

1. Почему обмотки трансформатора должны располагаться на стальном сердечнике? Как будет работать трансформатор, если стальной сердечник заменить алюминиевым?
2. Начертите схему устройства стержневого и броневое сердечника.
3. Что называется номинальной мощностью трансформатора?
4. Напишите формулы для определения ЭДС обмоток.
5. Почему коэффициент трансформации трансформатора определяется в режиме холостого хода?
6. Какое напряжение называют напряжением короткого замыкания?
7. Почему недопустимо размыкание вторичной обмотки работающего трансформатора тока?
8. Указать особенности устройства сварочного трансформатора.
9. Какова роль индуктивной катушки в батарейном зажигании карбюраторных двигателей?

1.8. Электрические машины переменного тока

Назначение машин переменного тока, их классификация и применение.

Трехфазный асинхронный двигатель, его устройство. Получение вращающегося магнитного поля. Зависимость частоты вращения магнитного поля от частоты тока в обмотке статора и числа пар полюсов. Принцип действия трехфазного асинхронного электродвигателя, скольжение. Способы пуска в ход трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным роторами; рабочие характеристики асинхронного двигателя.

Регулирование частоты вращения и реверс асинхронного двигателя.

Понятие об однофазном асинхронном электродвигателе и синхронных машинах.

Методические указания

К изучению электрических машин следует приступить после четкого усвоения закона электромагнитной индукции, правил правой и левой руки и правила буравчика. Полезно знать, что для асинхронных электродвигателей единой серии 4А установлена следующая структура обозначений типоразмера:

4А Х.Х.ХХХ.Х.Х.Х.ХХ.Х.Х,

где 4 – порядковый номер серии;

А – вид двигателя (асинхронный);

Х – исполнение по степени защиты

- (Н – 1Р23 – защитное исполнение;
 1Р–44 – закрытое исполнение);
 X – исполнение двигателя по материалу станины и щита (А – станина и щиты алюминиевые, X – станина алюминиевая, щиты чугунные. Отсутствие буквы X означает, что станина и щиты чугунные);
 XXX – высота оси вращения, мм (50-355);
 X – условная длина станины:
 S – короткая;
 L – длинная;
 M – промежуточная;
 X – длина сердечника статора А или В при условии сохранения установочного размера;
 X – число полюсов (2, 4, 6, 8, 10 или 12);
 XX – исполнение двигателя:
 X – химически стойкий;
 С – сельскохозяйственный;
 УП – пылезащищенный;
 X – вид климатического исполнения:
 У – умеренного климата;
 УХЛ – умеренно холодного;
 Т – тропического;
 X – условия размещения (1, 2, 3, 4, 5):
 1 – на открытом воздухе;
 2 – под навесом или в неотапливаемых помещениях;
 3 – в закрытых помещениях с естественной вентиляцией;
 4 – в помещениях с искусственно регулируемым климатическими условиями;
 5 – в помещениях с повышенной влажностью.

При изучении темы нужно хорошо представить зависимость скольжения от нагрузки, изменение частоты тока в роторе по мере разгона двигателя. Необходимо знать основные математические выражения для вращающего момента и уметь их анализировать. Особенно большое практическое значение имеет зависимость вращающего момента от напряжения сети, так как вращающий момент прямо пропорционален квадрату напряжения сети.

Нужно хорошо представить физический процесс, в результате которого в момент пуска асинхронного двигателя потребляемый ток становится значительно большим, чем номинальный, а также знать, какие принимаются меры для уменьшения тока.

Применение однофазных асинхронных двигателей в определенных условиях бывает более выгодным, чем применение трехфазных. Иногда бывает целесообразным использование трехфазных двигателей в качестве однофазных.

Синхронные машины, как и все электрические машины обратимы, то есть могут работать в режимах либо генератора, либо двигателя, в зависимости от того, какая энергия подводится к машине.

Литература: 1, с. 251-277; 2, с. 175-212; 3, с. 199-239; 4, с. 164-187.

Вопросы и задачи для самоконтроля

1. Почему при пуске двигателя в ход скольжение ротора равно 100%?
2. ЭДС, наводимая в обмотке неподвижного ротора равна 68 В. Скольжение ротора – 3%. Определить ЭДС во вращающемся роторе.
3. Поясните принцип работы однофазного асинхронного двигателя. Почему такой двигатель без специального приспособления не может взять с места?
4. Какие потери энергии имеют место в асинхронном двигателе?
5. Каковы способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя?

1.9. Электрические машины постоянного тока

Классификация машин постоянного тока по назначению и способу возбуждения. Обратимость машин постоянного тока. Устройство и принцип действия машин постоянного тока. Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением.

Электродвигатели постоянного тока. Пуск, регулирование частоты вращения, реверсирование двигателей постоянного тока. Их применение в отрасли.

Методические указания

Изучение устройства и принципа работы машины постоянного тока желательно проводить при наличии разобранной машины, например, стартера. Нужно обратить внимание на то, что все обмотки якоря машины, имеющие коллектор, должны быть замкнуты на себя.

Большинство явлений при эксплуатации машин может быть объяснено действием реакции якоря, при этом важно знать, как влияет реакция якоря на работу машины.

Плохая коммутация внешне выражается в том, что под щетками на коллекторе возникает искрение. Если оно выходит за допустимые пределы, то это приводит к порче коллектора и щеток и преждевременному выходу машины из строя. Необходимо знать, что хорошее состояние коллектора, щеток и всего токосъемного аппарата является необходимым условием нормальной работы машины.

Различные способы присоединения обмотки возбуждения к обмотке якоря резко изменяют характеристики генератора, показывающие зависимость между основными величинами, определяющими работу генератора.

Рассматривая работу электродвигателей постоянного тока, необходимо обратить внимание на физические процессы, которые обуславливают зависимость потребляемого тока от нагрузки. Следует учесть, что главную роль здесь играет противо-ЭДС. Важно запомнить, что в установившемся режиме для электрических машин вращающий момент равен тормозному.

Нужно рассмотреть физические процессы, обуславливающие изменение вращающего момента при изменении тормозного момента, связанного с изменением нагрузки на валу двигателя.

Следует обратить внимание на способы регулирования частоты вращения электродвигателей.

Причины возникновения потерь в электрических машинах постоянного и переменного тока одинаковы.

Необходимо отчетливо представлять связь между напряжением на зажимах U , ЭДС E (для двигателя – противо-ЭДС) и падением напряжения $I_a r_a$ в обмотке якоря генератора и двигателя:

- для генератора $E = U + I_a r_a$;

- для двигателя $U = E + I_a r_a$.

Необходимо внимательно изучить роль пускового и регулировочного реостатов и усвоить, что двигатель должен пускаться при максимальном магнитном потоке, так как электромагнитный момент, развиваемый двигателем, пропорционален магнитному потоку:

$$M_{эм} = \frac{P \cdot N}{2Pa} \cdot \Phi \cdot I_a,$$

где P – число пар полюсов;

N – число проводников обмотки якоря;

Φ – магнитный поток, в веберах;

a – число пар параллельных ветвей.

Усвоение процессов, происходящих в двигателях постоянного тока, облегчится, если запомнить основные формулы: вращающего момента, механической мощности, уравнение моментов, уравнение равновесия ЭДС и формулы, поясняющие регулирование частоты вращения двигателя.

Литература: 1, с. 108-138; 2, с. 212-240; 3, с. 239-281; 4, с. 187-204.

Вопросы для самоконтроля

1. Почему станина машины постоянного тока изготавливается литой, а полюса собираются из отдельных листов?

2. С какой целью применяются клинья и бандажи на якоре?
3. Написать формулы, связывающие ЭДС, напряжение на зажимах якоря и падение напряжения в обмотке якоря, для генератора и двигателя.
4. В чем заключается обратимость машины постоянного тока?
5. От каких величин зависит вращающий момент машины постоянного тока?
6. Что называется периодом коммутации?
7. В чем заключается принцип самовозбуждения машины постоянного тока и какие необходимы для этого условия?
8. Объясните процесс самовозбуждения генератора постоянного тока.
9. От каких факторов зависят потери в стали машины постоянного тока?
10. Каково влияние противо-ЭДС на величину тока, потребляемого двигателем?

1.10. Электропривод и аппаратура управления

Понятие об электроприводе. Аппаратура управления и защиты.

Электромагнитный пускатель, его назначение, устройство, схема, принцип действия.

Методические указания

При изучении темы, нужно усвоить понятие электропривода как системы, состоящей из электродвигателя, передаточного механизма к рабочей машине и аппаратуры управления.

Необходимо уяснить, от чего зависит мощность, развиваемая электродвигателем; изучить классы изоляции, которые определяют допустимую температуру нагрева двигателя; уяснить сущность нагрева и отметить факторы, от которых зависит температура двигателя; выявить, как влияет на тепловое состояние двигателя температура окружающей среды.

Выбор электродвигателей осуществляется в зависимости от мощности, продолжительности и характера нагрузки производственного механизма, с учетом окружающей среды. Режимы работы электродвигателя условно обозначаются индексами на щитах двигателей.

S1 – продолжительный;

S2 – кратковременный;

S3 – повторно-кратковременный.

При продолжительном режиме с переменной нагрузкой мощность электродвигателя определяется приближенно методом эквивалентной мощности (тока, момента) на основании графика нагрузки. Определение эквивалентных величин производится аналитически, в зависимости от формы участков графика нагрузки:

1. для прямоугольных участков

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}};$$

2. для треугольных участков

$$P_{\text{э}} = \frac{P_1}{\sqrt{3}};$$

3. для трапециевидных участков

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_1 \cdot P_2 + P_2^2}{3}}.$$

Если график имеет все три участка, тогда

$$P_3 = \sqrt{\frac{\frac{P_1^2 t_1}{3} + P_1^2 t_2 + (P_1^2 + P_1 \cdot P_2 + P_2^2) \cdot \frac{t_3}{3}}{t_1 + t_2 + t_3}}$$

Электродвигатель выбирают из каталога по условию $P_n > P_3$. Выбранный электродвигатель проверяют на перегрузочную способность.

При кратковременном режиме определяют эквивалентную мощность

$$P_3 = \sqrt{\frac{P_n^2 t_n + P_p^2 t_p}{t_n + t_p}},$$

где $P_n = k_i \cdot P_n$ – фиктивная пусковая мощность;

k_i – кратность пускового тока;

P_p – мощность рабочего периода, кВт;

t_n – время пуска, с;

t_p – время рабочего периода, с.

Промышленность выпускает двигатели для их работы в течение 6, 10, 15, 30, 60, 90 и 120 мин.

При отсутствии специальных может быть выбран электродвигатель, рассчитанный на продолжительный режим работы, но меньшей мощности, с учетом перегрузки его в допустимых пределах и достаточности пускового момента.

Повторно-кратковременный режим характеризуется относительной продолжительностью рабочего периода:

$$ПВ = \frac{t_{раб}}{t_{раб} + t_{пер}} \cdot 100\%,$$

где $t_{раб}$ – время рабочего периода;

$t_{пер}$ – время перерыва в работе.

Если в процессе работы несколько перерывов, то

$$ПВ = \frac{\sum t_{раб}}{\sum t_{раб} + \sum t_{пер}} \cdot 100\%,$$

где $\sum t_{раб}$ – суммарное время всех рабочих периодов за полный цикл, с;

$\sum t_{пер}$ – суммарное время всех перерывов в работе за полный цикл, с.

Мощность электродвигателя определяется за полный цикл работы по графику нагрузки:

$$P_3 = \sqrt{\frac{P_n^2 \cdot \sum t_n + P_p^2 \cdot \sum t_p}{0,75 \sum t_n + \sum t_p + 0,5 \sum t_0}}$$

Перерасчет P_3 , отнесенный к одному полному циклу ($ПВ = 100\%$), на мощность кранового электродвигателя ($P_{15}, P_{25}, P_{40}, P_{60}$) со стандартными ПВ (15; 25; 40; 60%), ближайшими к фактической ПВ, полученной из графика нагрузки, производится по следующим соотношениям:

$$P_{15} = 2,25P_3; \quad P_{25} = 2P_3; \quad P_{40} = 1,5P_3; \quad P_{60} = 1,27P_3.$$

При величине фактической ПВ больше 60-70% выбирают двигатель, рассчитанный на длительную работу, а при ПВ меньшей 10% - электродвигатели для кратковременной работы.

Литература: 1, с. 277-283, 294-301; 2, с. 283-308; 3, с. 398-414; 4, с. 205-216.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое рабочая температура изоляции электродвигателей?
2. Какая существует связь между номинальной мощностью двигателя, рабочей температурой изоляции и температурой окружающей среды?
3. Дайте определение кратковременному режиму работы электродвигателя.
4. Дайте определение повторно-кратковременному режиму работы электродвигателя.
5. Для чего определяют эквивалентные величины тока, момента и мощности электродвигателей?
6. В чем различие магнитных и контактных систем электромагнитных пускателей ПМЕ и ПАЕ, ПМЛ?

1.11. Передача и распределение электрической энергии

Понятие об энергетической системе. Схемы электроснабжения потребителей электрической энергии. Назначение и устройство трансформаторных подстанций и распределительных пунктов. Электрические сети и линии, их классификация.

Методические указания

Процесс современного производства и распределения электроэнергии заключается в следующем: генераторы электростанций вырабатывают трехфазный переменный ток частотой 50 Гц, напряжением 6,3 – 21 кВ. Чтобы передать электрическую энергию на дальнее расстояние без потерь, необходимо генераторное напряжение на повысительных трансформаторных подстанциях повысить до 38,5-78,7 кВ. Ток повышенного напряжения по линиям электропередач направляется в сторону потребителя. Так как большинство потребителей рассчитано на напряжение до 1000 В, высокое напряжение линий электропередач понижается на понизительных подстанциях.

Необходимо знать показатели качества электрической энергии: отклонение и колебание частоты, отклонение и колебание напряжения, несимметрию трехфазной системы и несинусоидальность формы кривой напряжения.

В зависимости от степени концентрации электрических нагрузок, уровня потребления электроэнергии и ущерба, наносимого перерывами в электроснабжении, все производственные потребители электрической энергии, с точки зрения обеспечения их надежности, делятся на три категории.

Литература: 1, с. 301-321; 2, с. 313-329; 3, с. 362-395; 4, с. 217-226.

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы особенности производства электрической энергии?
2. Дайте определения понятиям «энергетическая система», «электрическая система», «электрические сети».
3. Назовите основные элементы воздушной линии. Каково ее назначение?
4. Перечислите аппаратуру, применяемую на подстанциях. Каково ее назначение?
5. Какие типы подстанций применяются для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей?

РАЗДЕЛ 2. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

2.1. Полупроводниковые приборы

Полупроводниковые приборы, их достоинства и недостатки. Виды примесей и проводимостей в полупроводниках. Собственный и примесный полупроводник. Электронно-дырочный p-n-переход и его свойства. Вольт-амперная характеристика p-n-перехода.

Полупроводниковый диод, его устройство, принцип действия и применение. Понятие о пробое диода, виды пробоя. Максимальное обратное напряжение и допустимый ток.

Биполярный транзистор. Устройство, принцип действия и применение. Схемы включения транзисторов. Статические входные и выходные характеристики транзистора.

Понятие о полевом транзисторе.

Тиристоры, их устройство, свойства, применение. Вольт-амперная характеристика.

Условно-графические и буквенно-цифровые обозначения полупроводниковых приборов.

Методические указания

Прежде всего следует уяснить, как в химически чистом проводнике возникает собственная проводимость, какие факторы обуславливают ее увеличение и что является носителем электрических зарядов в полупроводниках.

Изменение электропроводности полупроводника зависит от воздействия различных факторов: сжатия или растяжения полупроводника, введения донорных или акцепторных примесей, изменения температуры, освещенности, электромагнитного поля.

Необходимо ясно представлять сущность полупроводников с примесной электронной и дырочной проводимостью, не забывая о том, что они обладают и собственной проводимостью. В полупроводниках с электронной примесной проводимостью (донорная примесь) основными носителями заряда являются свободные электроны, неосновными – дырки, а в полупроводниках с дырочной примесной проводимостью (акцепторная примесь) основные носители – дырки, неосновные – свободные электроны.

При изучении этой темы особенно важно понять, как формируется p-n переход, возникающий в тончайшем слое на границе соприкосновения полупроводника с металлом или двух полупроводников с разной проводимостью; какими свойствами он обладает и как изменяется под действием электрических полей.

В приграничном слое происходит рекомбинация основных носителей заряда, в результате чего этот слой лишается подвижных носителей заряда, его электрическое сопротивление резко возрастает, образуется запирающий слой. Области, примыкающие к запирающему слою, получают избыточный неподвижный разноименный заряд (ионы доноров и акцепторов), препятствующий расширению запирающего слоя. Устанавливается потенциальный барьер (контактная разность потенциалов): со стороны n-области образуется положительный заряд, а со стороны p-области - отрицательный. Чтобы создать возможность прохождения основных носителей зарядов, нужно приложить напряжение от внешнего источника питания плюсом к p-области и минусом к n-области. При этом потенциальный барьер скомпенсируется, а внутреннее сопротивление резко уменьшится и через запирающий слой потечет ток основных носителей зарядов (прямой ток). Если изменить полярность питающего напряжения, то потенциальный барьер для основных носителей резко увеличится (обратное напряжение) и через переход потечет обратный ток очень малой величины, обусловленный не основными носителями зарядов.

При изучении данной темы важно понять, что p-n переход ведет себя, как плоский конденсатор (барьерная емкость), емкость которого изменяется в зависимости от приложенного напряжения. Кроме барьерной емкости, p-n переход представляет собой диффузионную емкость, величина которой пропорциональна величине тока через переход и становится малой, когда на переход подано обратное напряжение.

При увеличении обратного напряжения до определенного критического значения может произойти пробой p-n-перехода. Различают электрический (туннельный, полевой и лавинный) и тепловой пробой. Вследствие малой ширины p-n перехода напряженность электрического поля в нем достигает большой величины при сравнительно небольших напряжениях, и создаются условия для пробоя.

Туннельный пробой проявляется в том, что под действием сильного электрического поля в узком p-n-переходе электроны преодолевают потенциальный барьер и образуют сравнительно большой обратный ток при небольших обратных напряжениях. Лавинный пробой характерен

тем, что под действием сильного электрического поля носители заряда, попавшие в переход, приобретают энергию, достаточную для ионизации атомов. При этом происходит лавинообразное нарастание свободных носителей заряда. Лавинный пробой сопровождается увеличением температуры перехода, и при плохих условиях теплопередачи может произойти тепловой пробой, который часто приводит к разрушению переходов.

При изучении биполярных транзисторов нужно обратить внимание на статические характеристики и схемы включения. Следует отметить, что наибольшее применение получила схема с общим эмиттером.

В последние годы все больше применяются униполярные полевые транзисторы с модулируемым каналом, образующимся между истоком и стоком, под воздействием входного управляющего напряжения, приложенного между затвором и истоком, а также полевые транзисторы с изолированным металлическим затвором, имеющие структуру МОП (металл-окисел-полупроводник). В них токопрохождение осуществляется одним видом носителей зарядов, а изменение величины выходного тока происходит под воздействием изменяющегося входного напряжения. Благодаря более простой технологии они широко используются в микроэлектронике.

При изучении диристоров и тиристоров особое внимание следует уделить их вольтамперным характеристикам и области применения в технике, в том числе сельскохозяйственной (в системах электрооборудования автомобиля, трактора, комбайна), а также маркировке основных наиболее широко применяемых приборов.

Литература: 1, с. 385-413; 3, с. 457-510; 4, с. 231-251; 5, с. 55-104; 6, с. 31-81.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется собственной проводимостью полупроводника?
2. Что называется примесной проводимостью?
3. Как изменяется собственная проводимость полупроводника при увеличении температуры?
4. Что представляет собой запирающий слой p-n перехода?
5. Как изменится толщина p-n перехода при прямом и обратном напряжении?
6. Что называется транзистором? Какие возможные схемы их включения?
7. Чем отличаются биполярные и униполярные транзисторы?

2.2. Фотоэлектронные приборы

Общие понятия о фотоэлектронных явлениях (фотоэлектронная эмиссия, фотопроводимость полупроводников, фотогальванический эффект).

Устройство и принцип действия вакуумного, газонаполненного и полупроводникового фотоэлемента. Краткие сведения о фотодиодах, фототранзисторах, солнечных фотоэлементах. Области применения, условное обозначение фотоэлектронных приборов.

Методические указания

Фотоэлектрическим прибором называется преобразователь лучистой энергии, под воздействием которой изменяются электрические свойства.

При изучении этой темы особое внимание следует обратить на рассмотрение видов фотоэлектрического эффекта.

Внешний фотоэффект – это выход электронов за пределы поверхности вещества под действием излучения. Внешний фотоэффект лежит в основе работы электронных и ионных фотоэлементов.

Внутренний фотоэффект – возбуждение электронов вещества, то есть их переход на более высокий уровень под действием излучения, благодаря чему изменяется концентрация свободных носителей, а следовательно, и электрические свойства вещества.

Внутренний фотоэффект наблюдается в полупроводниках и диэлектриках.

Нужно изучить устройство, применение и условные обозначения по ЕСКД вакуумного и газонаполненного фотоэлемента, фоторезистора, фотодиода, фототранзистора и светодиода.

Литература: 1, с. 413-423; 3, с. 510-523; 4, с. 266-276; 5, с. 105-121; 6, с. 81-99.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем отличие внешнего фотоэффекта от внутреннего?
2. Как устроен фотоэлемент с внешним фотоэффектом?
3. Объясните устройство фоторезистора.
4. Почему полупроводники обладают фотоэлектронной эмиссией?
5. Назовите отличительные особенности фото- и светодиода.
6. Назовите технические устройства, в которых применяются фотоэлектронные приборы.

2.3. Электронные выпрямители и стабилизаторы

Основные сведения о выпрямителях. Структурная схема выпрямителя. Схемы выпрямителей однофазного тока: одно- и двухполупериодные, с выводом от средней точки и мостовая.

Соотношение между переменными и выпрямленными токами и напряжениями для различных схем выпрямления. Сглаживающие фильтры. Управляемые выпрямители.

Методические указания

При изучении темы необходимо иметь в виду, что примерно третья часть вырабатываемой электроэнергии переменного тока используется в виде энергии постоянного тока. Для преобразования переменного тока в постоянный используются различные выпрямительные устройства. Выпрямительные устройства выполняются с использованием электровакуумных, ионных и полупроводниковых приборов и сглаживающих фильтров.

Особое внимание следует обратить на изучение однофазной двухполупериодной схемы выпрямления со средней точкой, однофазной и трехфазной мостовых схем выпрямителей на полупроводниковых вентилях. Нужно тщательно рассмотреть принцип работы и области применения управляемых выпрямителей, собранных на тиристорах.

Выпрямленное напряжение на выходе выпрямителя является пульсирующим и содержит постоянные и переменные составляющие. Для уменьшения пульсаций в выпрямленном напряжении применяются сглаживающие фильтры. Необходимо понять назначение и типовые схемы сглаживающих фильтров, уметь производить простейшие их расчеты.

Литература: 1, с. 423-443; 3, с. 525-537; 4, с. 278-296; 5, с. 121-140; 6, с. 100-123.

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы назначение и классификация выпрямителей?
2. Каковы достоинства и недостатки полупроводниковых вентилях? По каким основным параметрам они выбираются для схем выпрямления?
3. Для каких целей применяются сглаживающие фильтры на выходе выпрямителей?
4. Какие устройства предусмотрены для стабилизации выпрямленного напряжения?
5. Как изменяется обратное напряжение на вентиле в однополупериодной схеме выпрямления при подключении емкостного фильтра?
6. Опишите работу однофазного двухполупериодного выпрямителя на управляемых вентилях.

2.4. Электронные усилители

Назначение и классификация усилителей. Основные технические показатели и характеристики усилителей. Усилительный каскад, назначение элементов схемы, принцип действия.

Методические указания

Для усиления любых электрических сигналов до необходимой мощности в электронных устройствах различного назначения широко применяются усилители разных типов, которые классифицируются по многим признакам: по месту включения нагрузки, количеству каскадов, связи между каскадами, виду входного сигнала, роду усиливаемой величины.

Для понимания работы сложной многокаскадной схемы усилителя необходимо сначала изучить и понять назначение и принцип работы отдельных типовых каскадов усиления напряжения и

тока, а также одноконтурных и двухконтурных каскадов усиления мощности. Усиливаемый сигнал содержит постоянную и переменные гармонические составляющие, поэтому нужно понимать путь прохождения как постоянной, так и переменных составляющих анодного (коллекторного, стокового) тока, в цепях усилителя, помня при этом, что мощность электрических сигналов усиливается за счет энергии источников питания.

Многие современные усилители собирают на транзисторах, это объясняется их преимуществом. В усилителях, используемых в автоматике, измерительной и вычислительной технике, наибольшее распространение получили схемы усилительных каскадов с общим эмиттером.

Литература: 1, с. 443-477; 4, с. 296-323; 3, с. 541-558; 5, с. 141-176; 6, с. 124-171.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите три варианта элементарных усилителей.
2. Какова сущность работы схем эмиттерной и коллекторной стабилизации рабочей точки транзистора?
3. Чем объясняется отсутствие усиления по току в схеме с общей базой?
4. Назовите виды межкаскадных связей в транзисторных усилителях.
5. Изобразите схему усилителя мощности низкой частоты на транзисторах. Какую роль выполняет выходной трансформатор?
6. Чем отличаются усилители постоянного тока от других усилителей?
7. Где применяются усилители постоянного тока? Каковы их основные недостатки?

2.5. Электронные генераторы и измерительные приборы

Назначение и классификация электронных генераторов. Электронный генератор синусоидальных напряжений. Генераторы пилообразного напряжения. Схемы, принцип действия, применение.

Электронно-лучевая трубка, ее назначение, применение, устройство.

Электронный осциллограф. Устройство, назначение.

Методические указания

Для получения электрических колебаний заданной формы и частоты применяют генераторы. В зависимости от формы генерируемых колебаний различают генераторы синусоидальных прямоугольных и других колебаний. Электронный генератор представляет собой схему электронного усилителя с положительной обратной связью, величина которой равна критическому значению.

При критической величине положительной обратной связи для получения незатухающих колебаний должны быть выполнены два условия:

1. Баланс амплитуды – базовое напряжение сигнала должно быть меньше или равно напряжению положительной обратной связи в этой же точке.
2. Баланс фаз – базовое напряжение сигнала должно совпадать по фазе с напряжением положительной обратной связи в той же точке схемы.

Частота генераторов в самовозбуждении может изменяться в зависимости от различных факторов, воздействующих на параметры контура или транзистора.

Для лучшего усвоения физических процессов в генераторе необходимо вспомнить различные виды гармонических и несинусоидальных электрических колебаний, проявляющихся в изменении тока и напряжения в цепях переменного тока; нужно повторить условия возникновения и характерные особенности резонансных явлений. Известно, что в цепях с R, L, C независимо от способа соединения элементов, подключенных к источнику электрической энергии, возникают электрические колебания, частота которых определяется L и C. Эти колебания затухают из-за того, что часть энергии теряется на активном сопротивлении. Чтобы получить процесс незатухающих автоколебаний, необходимо колебательной системе в такт с ее собственными колебаниями добавлять энергию от источника питания.

После изучения генераторов гармонических колебаний синусоидальной формы, необходимо изучить и понять принципы действия и область применения генераторов релаксационных колебаний. При этом следует иметь в виду, что релаксационные генераторы широко применяются в автоматических системах управления и других устройствах автоматики.

Электронные омметры, мегомметры охватывают широкий диапазон измерения сопротивлений. Погрешность измерения этими приборами составляет 1,5-2,5%.

Электронный омметр обычно состоит из двух элементов: входной цепи, представляющей собой делитель измеряемого и образцового сопротивлений, и электронного вольтметра, измеряющего напряжение на одном из сопротивлений усилителя.

Электронный осциллограф является одним из наиболее распространенных приборов, которые широко применяются для получения на экране графиков исследуемых напряжений, кроме того, с его помощью можно измерять частоту, фазу, короткие промежутки времени.

Литература: 1, с. 478-496; 3, с. 560-581; 4, с. 324-335; 5, с. 176-218; 6, с. 173-199.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите условие самовозбуждения генератора синусоидальных колебаний.
2. Каким образом можно изменить частоту пилообразного напряжения?
3. Каким образом осуществляется запуск триггеров?
4. Чем характеризуется быстроедействие триггера и от чего оно зависит?
5. От параметров каких элементов мультивибратора зависит частота повторения импульсов?
6. Каковы достоинства электронных вольтметров?
7. Каково назначение электронного осциллографа?
8. Нарисуйте схему генератора пилообразного напряжения на транзисторе. Объясните ее работу.

2.6. Интегральные схемы микроэлектроники

Общие сведения. Понятие о гибридных, толсто- и тонкопленочных полупроводниковых интегральных микросхемах. Классификация, маркировка и применение микросхем.

Логические элементы “ИЛИ”, “И”, “НЕ”.

Методические указания

При изучении темы нужно уяснить, что микроэлектроника – новое научно-техническое направление в электронике, на базе которого решается проблема создания высоконадежных и экономичных микроминиатюрных электронных схем и устройств. Рост функциональной сложности электронных схем и повышение требований к их надежности привели к миниатюризации и микроминиатюризации электронных схем.

При микроминиатюризации задача решается принципиально новым путем – применением полупроводниковых интегральных микросхем (ПИМС), пленочных (ПМС) и гибридных интегральных микросхем (ГИМС).

Интегральная микросхема изготавливается в групповом технологическом процессе и представляет собой неразрывную совокупность ряда взаимосвязанных активных и пассивных элементов: резисторов, конденсаторов, индуктивностей, диодов, транзисторов с плотностью элементов 50 – 500 в одной схеме. Их преимущества перед электронными схемами следующие: самостоятельно выполняют любые функции, не требуют соединения элементов в схему; обладают повышенной надежностью за счет отсутствия паянных и сварных соединений и т.п.

По функциональному назначению интегральные микросхемы подразделяют на цифровые (логические) и аналоговые, причем цифровые интегральные микросхемы наиболее перспективные, так как они применяются для цифровой обработки информации в вычислительной технике, цифровых измерительных приборах и системах автоматики.

Литература: 3, с. 584-607; 5, с. 251-276; 6, с. 199-227.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое интегральная микросхема?
2. Какие существуют основные виды интегральных микросхем, в чем их различие?
3. Какие активные и пассивные элементы используют в интегральных микросхемах?
4. Какова технология изготовления микросхем?
5. Как обозначаются микросхемы?

Методические указания к выполнению задач №1 и №2

В таблице 1 указаны номера задач к соответствующей теме и номера таблиц с данными к этим задачам.

Таблица 1. Задачи и таблицы к контрольной работе №1

№ темы	Наименование темы	№ задачи	№ таблицы
-	Введение	-	-
1.1	Электрическое поле	-	-
1.2	Электрические цепи постоянного тока	1	4-7
1.3	Электромагнетизм	-	-
1.4	Однофазные электрические цепи переменного тока	-	-
1.5	Трёхфазные электрические цепи	3	10-18
1.6	Электрические измерения	-	-
1.7	Трансформаторы	-	-

При решении задач индексы токов, напряжений и мощности должны соответствовать номеру резистора. Например, ток I_2 проходит через резистор R_2 ; I_3 , P_3 , U_3 – ток, мощность и напряжение на резисторе R_3 .

Указания к решению задачи 1

Перед выполнением контрольной работы следует ознакомиться с общими методическими указаниями. Решение задач сопровождается краткими пояснениями. Решение задач этой группы требует знания закона Ома для всей цепи и ее участков, первого и второго законов Кирхгофа,

методики определения эквивалентного сопротивления цепи при смешанном соединении резисторов. Достоверность расчетов следует проверять составлением уравнения баланса мощности электрической цепи, согласно которому мощность, развиваемая источником электрической энергии, должна быть равна мощности преобразования в цепи электрической энергии в другие виды энергии.

Перед решением задач нужно рассмотреть решение типового примера 1.

Пример 1. Для схемы, приведенной на рисунке 8, определить эквивалентное сопротивление, токи, проходящие через каждый резистор, I_1, I_2, I_3, I_4 , общую мощность цепи P и расход энергии W , если известны значения сопротивлений резисторов $R_1 = 3 \text{ Ом}, R_2 = 10 \text{ Ом}, R_3 = 15 \text{ Ом}, R_4 = 1 \text{ Ом}$, напряжение на зажимах цепи $U_{cd} = 110 \text{ В}$, время работы цепи $t = 10 \text{ ч}$.

Выполнить проверку решения задачи:

- составлением баланса мощностей;
- составлением уравнения, используя первый и второй законы Кирхгофа.

Дано: $R_1 = 3 \text{ Ом}, R_2 = 10 \text{ Ом}, R_3 = 15 \text{ Ом},$

$R_4 = 1 \text{ Ом}, U_{cd} = 110 \text{ В}, t = 10 \text{ ч}.$

Определить: $I_1, I_2, I_3, I_4, P, W.$

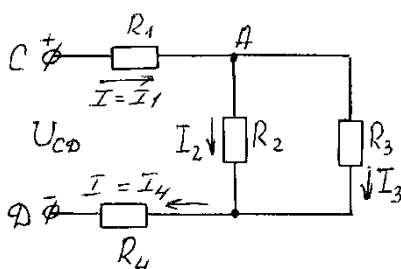


Рис. 8

Решение. 1. Обозначим стрелками токи, проходящие через каждый резистор с учетом их направления (см. рис. 8)

2. Определим общее эквивалентное сопротивление цепи, метод подсчета которого для цепи со смешанным соединением резисторов сводится к последовательному упрощению схемы.

Сопротивления R_2 и R_3 соединены параллельно. Найдем общее сопротивление при таком соединении:

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Приведа к общему знаменателю, получим

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 6 \text{ Ом}.$$

Схема примет вид (рис. 9).

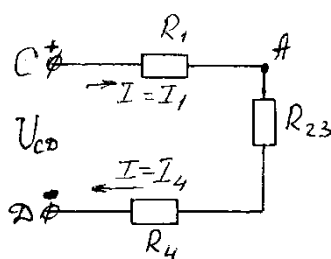


Рис. 9

Теперь резисторы R_1 , R_{23} , R_4 соединены последовательно, их общее сопротивление

$$R_{\text{эк}} = R_1 + R_{23} + R_4 = 3 + 6 + 1 + 10 \text{ Ом.}$$

Это общее сопротивление, включенное в цепь вместо четырех сопротивлений схемы (рис.10) при таком же значении напряжения не изменит тока в цепи. Поэтому это сопротивление чаще называется общим эквивалентным сопротивлением цепи или просто эквивалентным.

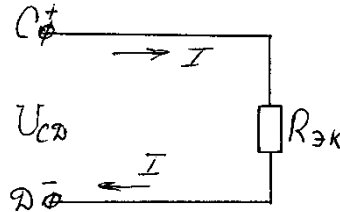


Рис. 10

3. По закону Ома для внешнего участка цепи определим ток

$$I = \frac{U}{R_{\text{эк}}} = \frac{110}{10} = 11 \text{ А.}$$

4. Найдем токи, проходящие через все резисторы. Через резистор R_1 проходит ток $I_1 = I$. Через резистор R_4 проходит ток $I_4 = I$.

Для определения токов, проходящих через резисторы R_2 и R_3 , нужно найти напряжение на параллельном участке U_{23} . Это напряжение можно определить двумя способами:

$$U_{23} = IR_{23} = 11 \cdot 6 = 66 \text{ В} \quad \text{или} \quad U_{23} = U_{CD} - IR_1 - IR_4 = 110 - 11 \cdot 3 - 11 \cdot 1 = 66 \text{ В.}$$

По закону Ома для параллельного участка цепи найдем

$$I_2 = \frac{U_{23}}{R_2} = \frac{66}{10} = 6,6 \text{ А;}$$

$$I_3 = \frac{U_{23}}{R_3} = \frac{66}{15} = 4,4 \text{ А.}$$

Или, применяя первый закон Кирхгофа, получим

$$I_3 = I - I_2 = 11 - 6,6 = 4,4 \text{ А.}$$

5. Найдем общую мощность цепи:

$$P = UI = 110 \cdot 11 = 1210 \text{ Вт} \quad \text{или} \quad P = I^2 R_{\text{эк}} = 11^2 \cdot 10 = 1210 \text{ Вт.}$$

6. Определим расход энергии:

$$W = P \cdot t = 1,21 \cdot 10 = 12,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

7. Выполним проверку решения задачи.

а) Проверим баланс мощности:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 = 11^2 \cdot 3 + 6,6^2 \cdot 10 + 4,4^2 \cdot 15 + 11^2 \cdot 1 = 363 + 435,6 + 290,4 + 121 = 1210 \text{ Вт};$$

$$1210 \text{ Вт} = 1210 \text{ Вт}.$$

б) Для узловой точки А схемы (рис.8) составим уравнение по первому закону Кирхгофа:

$$I = I_2 + I_3 = 6,6 + 4,4 = 11 \text{ А};$$

$$11 \text{ А} = 11 \text{ А}$$

в) Составим уравнение по второму закону Кирхгофа, обходя контур цепи по часовой стрелке

$$U = U_1 + U_{23} + U_4 = IR_1 + R_{23} + IR_4;$$

$$110 \text{ В} = 11 \cdot 3 + 11 \cdot 6 + 11 \cdot 1 = 110 \text{ В};$$

$$110 \text{ В} = 110 \text{ В}.$$

Все способы проверки подтверждают, что решение правильно. В любом из вариантов достаточно использовать только тот способ, который предусмотрен условием.

Указания к решению задачи 2

Для решения задачи 2 нужно знать программный материал темы «Трехфазные цепи», отчетливо представлять соотношения между фазными и линейными значениями токов и напряжений при соединении потребителей электрической энергии звездой и треугольником. При затруднениях в применении формул и понимании физических процессов в трехфазных цепях рекомендуется использовать учебный материал и проанализировать решенные примеры § 7.1—7.6 учебника [1, с. 188—198.

Для ознакомления с общей методикой решения задач по данной теме приведены формулы, показано их практическое применение.

Соединение потребителей звездой. На рисунке 20 показано разное выполнение схем такого соединения с нейтральным проводом и без него. Принятые обозначения на схемах: линейное напряжение $U_{\text{л}} = U_{\text{AB}} = U_{\text{BC}} = U_{\text{CA}}$; фазные напряжения $U_{\text{ф}}, U_{\text{A}}, U_{\text{B}}, U_{\text{C}}$, линейные токи (они же фазные токи) $I_{\text{л}}, I_{\text{ф}}, I_{\text{A}}, I_{\text{B}}, I_{\text{C}}$, ток в нейтральном проводе, равный геометрической сумме фазных токов, $I_0 = I_{\text{A}} + I_{\text{B}} + I_{\text{C}}$. При одинаковой нагрузке фаз ток $I_0 = 0$ и надобность в нем отпадает (рис. 20 в).

Соединение потребителей треугольником. На рисунке 21(а, б) показано разное выполнение схем такого соединения. Принятые обозначения на схемах: линейные (они же фазные) напряжения $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}} = U_{\text{AB}} = U_{\text{BC}} = U_{\text{CA}}$, фазные токи $I_{\text{ф}}, I_{\text{AB}}, I_{\text{BC}}, I_{\text{CA}}$, линейные токи $I_{\text{л}}, I_{\text{A}}, I_{\text{B}}, I_{\text{C}}$.

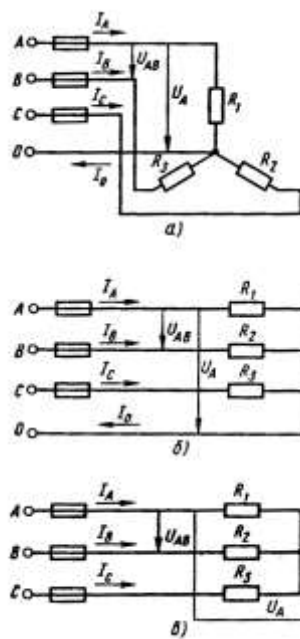


Рис. 20

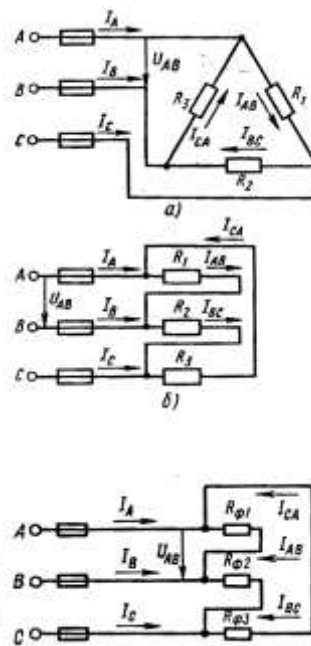


Рис. 21

Подсчет активной мощности для любого соединения в трехфазных цепях выполняется по формулам: фазные мощности $P_{\phi 1} = U_{\phi 1} I_{\phi 1} \cos \varphi_1$; $P_{\phi 2} = U_{\phi 2} I_{\phi 2} \cos \varphi_2$; $P_{\phi 3} = U_{\phi 3} I_{\phi 3} \cos \varphi_3$, а общая мощность $P = P_{\phi 1} + P_{\phi 2} + P_{\phi 3}$.

При одинаковой нагрузке фаз $P = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{ф}}$. Для подсчета параметров ламп накаливания и электронагревательных элементов ТЭН нужно применять формулы $P_{\text{нагр}} = U_{\text{нагр}} I_{\text{нагр}} \cos \varphi_{\text{нагр}}$; $P_{\text{лампы}} = U_{\text{лампы}} I_{\text{лампы}} \cos \varphi_{\text{лампы}}$; учитывая, что $\cos \varphi_{\text{лампы}} = \cos \varphi_{\text{нагр}} = 1$, так как эта нагрузка активная. Применение формул рассмотрено в решенных примерах 4-6.

Пример 4. Три активных сопротивления $R_{\phi 1} = 22 \text{ Ом}$, $R_{\phi 2} = 27,5 \text{ Ом}$, $R_{\phi 3} = 11 \text{ Ом}$ соединены треугольником и присоединены к трехпроводной трехфазной линии с линейным напряжением $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$ (рис. 21). Определить фазные (I_{AB} , I_{BC} , I_{CA}) и линейные (I_{A} , I_{B} , I_{C}) токи, фазные ($P_{\phi 1}$, $P_{\phi 2}$, $P_{\phi 3}$) и общую P мощности трехфазной цепи.

Дано: $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$; $R_{\phi 1} = 22 \text{ Ом}$; $R_{\phi 2} = 27,5 \text{ Ом}$; $R_{\phi 3} = 11 \text{ Ом}$.

Определить: I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} , I_{A} , I_{B} , I_{C} ; $P_{\phi 1}$, $P_{\phi 2}$, $P_{\phi 3}$, P .

Решение. Найдем значения фазных токов по закону Ома:

$$I_{\phi 1} = U_{\phi 1} / Z_{\phi 1}; \quad I_{\phi 2} = U_{\phi 2} / Z_{\phi 2}; \quad I_{\phi 3} = U_{\phi 3} / Z_{\phi 3}.$$

Так как в каждой фазе приемника энергии только по одному активному сопротивлению, то полные сопротивления фаз будут им равны: $Z_{\phi 1} = R_{\phi 1}$; $Z_{\phi 2} = R_{\phi 2}$; $Z_{\phi 3} = R_{\phi 3}$.

Зная, что при соединении треугольником линейное напряжение равно фазному $U_{\text{л}} = U_{\phi 1} = U_{\phi 2} = U_{\phi 3}$, окончательно получим:

$$\begin{aligned} I_{\phi 1} &= U_{\text{л}} / R_{\phi 1} = 220 / 22 = 10 \text{ А}; \\ I_{\phi 2} &= U_{\text{л}} / R_{\phi 2} = 220 / 27,5 = 8 \text{ А}; \\ I_{\phi 3} &= U_{\text{л}} / R_{\phi 3} = 220 / 11 = 20 \text{ А}. \end{aligned}$$

В этом случае линейные токи I_{A} , I_{B} , I_{C} нужно определить по векторной диаграмме, которую необходимо строить в масштабе по данным задачи и вычисленным значениям фазных токов. Подробное построение векторной диаграммы описано далее.

Нужно обратить особое внимание на порядок построения и точность вычерчивания диаграммы, так как от этого зависит, насколько правильно будут определены величины линейных токов.

Для облегчения понимания построения векторной диаграммы при соединении потребителей треугольником придерживаются порядка, который был рассмотрен при построении векторных диаграмм для электрических цепей однофазного переменного тока.

1. Выписываем значения токов и напряжений. Напряжения $U_{\text{л}} = U_{\text{AB}} = U_{\text{BC}} = U_{\text{CA}} = 220$ В. Фазные токи $I_{\text{ф1}} = I_{\text{AB}} = 10$ А; $I_{\text{ф2}} = I_{\text{BC}} = 8$ А; $I_{\text{ф3}} = I_{\text{CA}} = 20$ А.
2. Задаемся масштабом: по току $m_I = 8$ А/см, по напряжению $m_U = 66$ В/см.
3. Определяем длину векторов напряжений и токов

$$\begin{aligned} \ell_{\bar{U}_{\text{AB}}} = \ell_{\bar{U}_{\text{BC}}} = \ell_{\bar{U}_{\text{CA}}} &= U_{\text{л}} / m_U = 220 \text{ В} / 66 \text{ В/см} = 3,33 \text{ см}; \\ \ell_{\bar{I}_{\text{AB}}} &= I_{\text{AB}} / m_I = 10 \text{ А} / 8 \text{ А/см} = 1,25 \text{ см}; \\ \ell_{\bar{I}_{\text{BC}}} &= 1 \text{ см} \text{ и } \ell_{\bar{I}_{\text{CA}}} = 2,5 \text{ см}. \end{aligned}$$

4. Откладываем векторы фазных (линейных) напряжений найденной длины под углом 120° относительно друг друга (рис. 22).

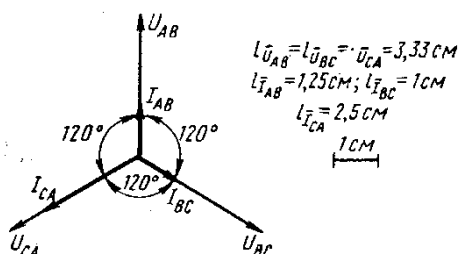


Рис. 22

5. В фазах с \bar{U}_{AB} , \bar{U}_{BC} , \bar{U}_{CA} откладываем векторы фазных токов \bar{I}_{AB} , \bar{I}_{BC} , \bar{I}_{CA} , вдоль векторов напряжений, так как по условию задачи нагрузка всех приемников энергии активная, т. е. углы сдвига фаз равны нулю ($\varphi = \varphi_{\text{ф1}} = \varphi_{\text{ф2}} = \varphi_{\text{ф3}} = 0$).

6. Векторы линейных токов \bar{I}_{A} , \bar{I}_{B} , \bar{I}_{C} определяем из соответствующей геометрической разности фазных токов (учебник [1], с.96); $\bar{I}_{\text{A}} = \bar{I}_{\text{AB}} - \bar{I}_{\text{CA}}$; $\bar{I}_{\text{B}} = \bar{I}_{\text{BC}} - \bar{I}_{\text{AB}}$; $\bar{I}_{\text{C}} = \bar{I}_{\text{CA}} - \bar{I}_{\text{BC}}$ (рис. 23).

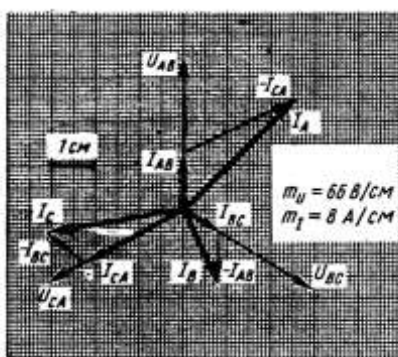


Рис. 23

Вычитание векторов можно свести к геометрическому сложению. Для этого к векторам \bar{I}_{AB} , \bar{I}_{BC} , \bar{I}_{CA} следует прибавить векторы \bar{I}_{CA} , \bar{I}_{AB} , \bar{I}_{BC} , предварительно повернув их на 180° ; получим на векторной диаграмме векторы $-\bar{I}_{\text{CA}}$, $-\bar{I}_{\text{AB}}$, $-\bar{I}_{\text{BC}}$. Попарное сложение векторов, например, \bar{I}_{AB} и $-\bar{I}_{\text{CA}}$ и т. д., следует выполнять по правилу многоугольника, когда к концу одного вектора пристраивают начало другого, а замыкающий вектор является результирующим, т. е. в данном случае линейный ток $\bar{I}_{\text{A}} = \bar{I}_{\text{AB}} - \bar{I}_{\text{CA}} = \bar{I}_{\text{AB}} + (-\bar{I}_{\text{CA}})$. Аналогично, для токов \bar{I}_{B} , \bar{I}_{C} .

Измерив линейкой длину векторов линейных токов и зная масштаб для тока m_I , определяем их числовые значения. Например, $\ell_{\bar{I}_{\text{A}}} = 3,4$ см, тогда $I_{\text{A}} = \ell_{\bar{I}_{\text{A}}} m_I = 3,4 \text{ см} \cdot 8 \text{ А/см} = 27,2$ А. Аналогично $\bar{I}_{\text{B}} = 16$ А и $\bar{I}_{\text{C}} = 24$ А.

Зная вычисленные значения фазных токов $I_{\text{ф1}}$, $I_{\text{ф2}}$, $I_{\text{ф3}}$ и сопротивления приемников энергии $R_{\text{ф1}}$, $R_{\text{ф2}}$, $R_{\text{ф3}}$ можно определить фазные $P_{\text{ф1}}$, $P_{\text{ф2}}$, $P_{\text{ф3}}$ и полную P мощности трехфазного потребителя энергии.

а). **Фазные мощности.** Так как нагрузка активная, то и мощности приемников энергии активные. Активная мощность первой фазы $P_{\phi 1} = U_{\phi 1} I_{\phi 1} \cos \varphi_{\phi 1}$. Учитывая, что при активной нагрузке $\varphi_{\phi} = 0$, а $\cos \varphi = 1$, $P_{\phi 1} = U_{\phi 1} I_{\phi 1}$, но $U_{\phi 1} = I_{\phi 1} R_{\phi 1}$, тогда $P_{\phi 1} = I_{\phi 1}^2 R_{\phi 1}$.

Для второй и третьей фаз: $P_{\phi 2} = I_{\phi 2}^2 R_{\phi 2}$, $P_{\phi 3} = I_{\phi 3}^2 R_{\phi 3}$. Подставляя значения токов и сопротивлений, получим:

$$\begin{aligned} P_{\phi 1} &= P_{AB} = I_{\phi 1}^2 R_{\phi 1} = 10^2 \cdot 22 = 100 \cdot 22 = 2200 \text{ Вт} = 2,2 \text{ кВт}; \\ P_{\phi 2} &= P_{BC} = I_{\phi 2}^2 R_{\phi 2} = 8^2 \cdot 27,5 = 64 \cdot 27,5 = 1760 \text{ Вт} = 1,76 \text{ кВт}; \\ P_{\phi 3} &= P_{CA} = I_{\phi 3}^2 R_{\phi 3} = 20^2 \cdot 11 = 400 \cdot 11 = 4400 \text{ Вт} = 4,4 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

б). **Активная мощность всей цепи.** Для ее подсчета применить формулу $P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi_{\phi}$ нельзя, так как в данном примере нагрузка приемников энергии неодинаковая. Поэтому полную активную мощность P можно определить как сумму фазных мощностей всех трех приемников энергии: $P = P_{\phi 1} + P_{\phi 2} + P_{\phi 3} = 2,2 + 1,76 + 4,4 = 8,36 \text{ кВт}$.

Пример 5. В трехфазную сеть включили треугольником несимметричную нагрузку (рис. 24а): в фазу АВ — конденсатор с емкостным сопротивлением $X_{AB} = 10 \text{ Ом}$; в фазу ВС — катушку с активным сопротивлением $R_{BC} = 4 \text{ Ом}$ и индуктивным $X_{BC} = 3 \text{ Ом}$; в фазу СА — активное сопротивление $R_{CA} = 10 \text{ Ом}$. Линейное напряжение сети $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$. Определить фазные токи, углы сдвига фаз и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. По векторной диаграмме определить числовые значения линейных токов. Как изменится векторная диаграмма, если произойдет обрыв линейного провода С?

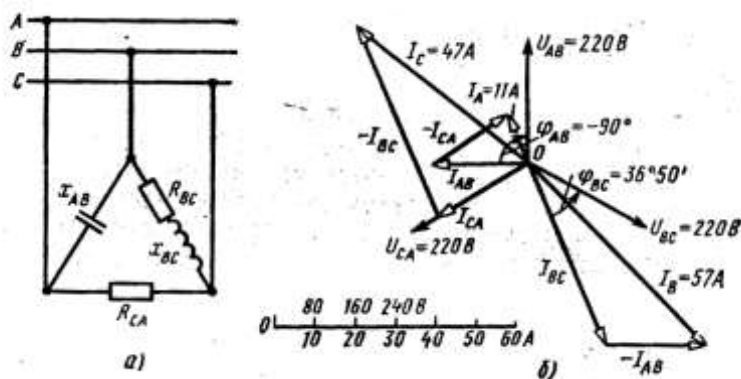


Рис. 24

Решение 1. Определяем фазные токи и углы сдвига фаз:

$$I_{AB} = U / X_{AB} = 220 / 10 = 22 \text{ А}; \quad \varphi_{AB} = -90^\circ;$$

$$I_{BC} = \frac{U_{\text{ном}}}{Z_{BC}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{R_{BC}^2 + X_{BC}^2}} = \frac{220}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = 44 \text{ А};$$

$$\cos \varphi_{BC} = R_{BC} / Z_{BC} = 4 / 5 = 0,8 \quad \text{где} \quad Z_{BC} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Ом}.$$

Отсюда угол $\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$.

$$I_{CA} = U_{\text{ном}} / R_{CA} = 220 / 10 = 22 \text{ А}; \quad \varphi_{CA} = 0.$$

Для построения векторной диаграммы выбираем масштаб по току: 1 см — 10 А, по напряжению: 1 см — 80 В. Затем в принятом масштабе откладываем векторы фазных (они же линейные) напряжений U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} под углом 120° относительно друг друга (рис. 24 б). Под углом $\varphi_{AB} = 90^\circ$ к вектору напряжения U_{AB} откладываем вектор тока I_{AB} ; в фазе BC вектор тока I_{BC} должен отставать от вектора напряжения U_{BC} на угол $\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$, а в фазе CA вектор тока I_{CA} совпадает с вектором напряжения U_{CA} . Затем строим векторы линейных токов на основании известных уравнений

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} = I_{AB} + (-I_{CA}); \quad I_B = I_{BC} + (-I_{AB}); \quad I_C = I_{CA} + (-I_{BC}).$$

Измеряя длины векторов линейных токов и пользуясь принятым масштабом, находим значения линейных токов:

$$I_A = 11 \text{ А}; \quad I_B = 57 \text{ А}; \quad I_C = 47 \text{ А}.$$

При обрыве линейного провода C схема приобретает следующий вид (рис. 25).

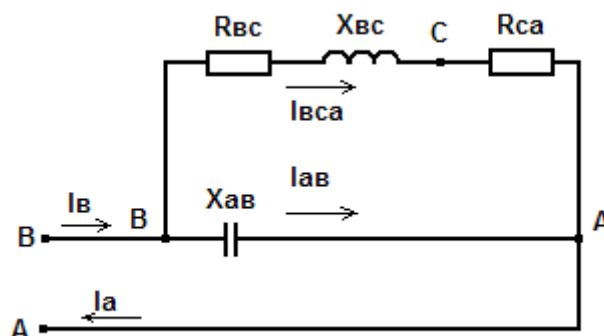


Рис. 25

Находим токи I_{AB} и I_{BCA} :

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{X_{AB}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А};$$

$$I_{BCA} = \frac{U_{AB}}{Z_{BCA}} = \frac{U_{AB}}{\sqrt{(R_{BC} + R_{CA})^2 + X_{BC}^2}} = \frac{220}{\sqrt{(4+10)^2 + 3^2}} = \frac{220}{14,3} = 15,3 \text{ А}.$$

Угол сдвига между током I_{BCA} и напряжением U_{AB} определяем из формулы

$$\cos \varphi_{BCA} = \frac{r_{BC} + r_{CA}}{Z_{BCA}} = \frac{4 + 10}{14,3} = 0,9.$$

С помощью микрокалькулятора с тригонометрическими функциями определяем угол $\varphi_{BCA} = 26^\circ$; $\varphi_{AB} = 90^\circ$.

Векторная диаграмма будет следующей (рис. 26).

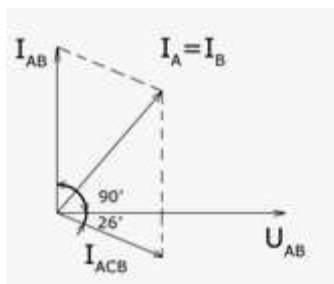


Рис.26

Измерив длину вектора линейного тока и пользуясь принятым масштабом, находим значение линейных токов $I_A = I_B = 21$ А.

Пример 6. Три активных сопротивления $R_{\phi 1} = 10$ Ом, $R_{\phi 2} = 20$ Ом, $R_{\phi 3} = 5$ Ом соединены звездой с нейтральным проводом и присоединены к четырехпроводной трехфазной линии с линейным напряжением $U_{л} = 220$ В (рис.27).

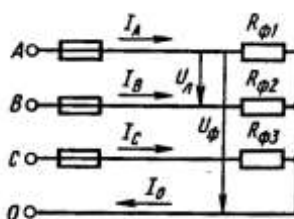


Рис. 27

Определить: 1) фазные токи $I_{\phi 1}$, $I_{\phi 2}$, $I_{\phi 3}$; 2) ток в нулевом (нейтральном) проводе I_o ; 3) фазные мощности $P_{\phi 1}$, $P_{\phi 2}$, $P_{\phi 3}$; 4) общую активную мощность трехфазного потребителя энергии P .

Дано: $U_{л} = 220$ В, $R_{\phi 1} = 10$ Ом, $R_{\phi 2} = 20$ Ом, $R_{\phi 3} = 5$ Ом.

Определить: $I_{\phi 1}$, $I_{\phi 2}$, $I_{\phi 3}$, I_o , $P_{\phi 1}$, $P_{\phi 2}$, $P_{\phi 3}$, P .

Решение. При наличии нейтрального провода при любой нагрузке (равномерной или неравномерной) справедливо соотношение между фазным U_{ϕ} и линейным $U_{л}$ напряжениями $U_{\phi} = U_{л} / \sqrt{3}$, тогда $U_{\phi} = 220 / 1,73 = 127$ В.

Помня, что нейтральный провод при любых нагрузках обеспечивает равенство фазных напряжений приемников энергии, получим $U_{\phi} = U_A = U_B = U_C = 127$ В.

1. Определяем значение фазных (они же линейные) токов по закону Ома:

$$\begin{aligned} I_{\phi 1} = I_A &= U_{\phi} / R_{\phi 1} = 127 / 10 = 12,7 \text{ А}; \\ I_{\phi 2} = I_B &= U_{\phi} / R_{\phi 2} = 127 / 20 = 6,35 \text{ А}; \\ I_{\phi 3} = I_C &= U_{\phi} / R_{\phi 3} = 127 / 5 = 25,4 \text{ А}. \end{aligned}$$

2. Нагрузка чисто активная, поэтому мощности фаз определяем по тем же формулам, которые применялись в примере 4.

$$P_{\phi 1} = P_A = I_{\phi 1}^2 R_{\phi 1} = 12,7^2 \cdot 10 = 161,29 \cdot 10 = 1612,9 \text{ Вт} = 1,613 \text{ кВт};$$

$$P_{\phi 2} = P_B = I_{\phi 2}^2 R_{\phi 2} = 6,35^2 \cdot 20 = 40,32 \cdot 20 = 806,45 \text{ Вт} = 0,806 \text{ кВт};$$

$$P_{\phi 3} = P_C = I_{\phi 3}^2 R_{\phi 3} = 25,4^2 \cdot 5 = 645,16 \cdot 5 = 322,8 \text{ Вт} = 3,228 \text{ кВт}.$$

Активную мощность трехфазного потребителя энергии P определим как сумму мощностей трех фаз: $P = P_A + P_B + P_C = 1,613 + 0,806 + 3,226 = 5,645$ кВт. Для определения тока в нейтральном проводе при соединении приемников энергии звездой нужно построить векторную диаграмму, придерживаясь такой последовательности.

1. Выписываем значения вычисленных напряжений и токов: фазные напряжения $U_{\phi} = U_A = U_B = U_C = 127$ В, фазные (линейные) токи $I_A = 12,7$ А; $I_B = 6,35$ А; $I_C = 25,4$ А.

2. Задаемся масштабом: по напряжению $m_U = 30$ В/см, по току $m_i = 7$ А/см.

3. Определяем длину векторов напряжения и токов:

$$\ell_{\bar{U}_A} = \ell_{\bar{U}_B} = \ell_{\bar{U}_C} = U_{\phi} / m_U = 127 \text{ В} / 30 \text{ В/см} = 4,23 \text{ см};$$

$$\ell_{\bar{I}_A} = I_A / m_I = 12,7 \text{ А} / 7 \text{ А/см} = 1,81 \text{ см};$$

$$\ell_{\bar{I}_B} = I_B / m_I = 6,35 \text{ А} / 7 \text{ А/см} = 0,9 \text{ см};$$

$$\ell_{\bar{I}_C} = I_C / m_I = 25,4 \text{ А} / 7 \text{ А/см} = 3,62 \text{ см}.$$

4. Откладываем векторы фазных напряжений $\bar{U}_A, \bar{U}_B, \bar{U}_C$ найденной длины под углом 120° относительно друг друга.

5. В фазе с векторами фазных напряжений $\bar{U}_A, \bar{U}_B, \bar{U}_C$ откладываем векторы фазных токов $\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$, так как нагрузка всех фаз активная ($\varphi = \varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = 0$).

6. Геометрическое сложение фазных токов $\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$ производим, используя формулу $\bar{I}_0 = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C$, по правилу многоугольника, которое рассмотрено выше, и получим вектор тока в нейтральном проводе (рис. 28). На построенной в масштабе векторной диаграмме линейкой измеряем длину вектора тока в нейтральном проводе $\ell_{\bar{I}_0}$, и, зная масштаб по току m_I , определяем числовое значение I_0 :

$$\ell_{\bar{I}_0} = 2,3 \text{ см}; I_0 = \ell_{\bar{I}_0} m_I = 2,3 \text{ см} \cdot 7 \text{ А/см} = 16,1 \text{ А}.$$

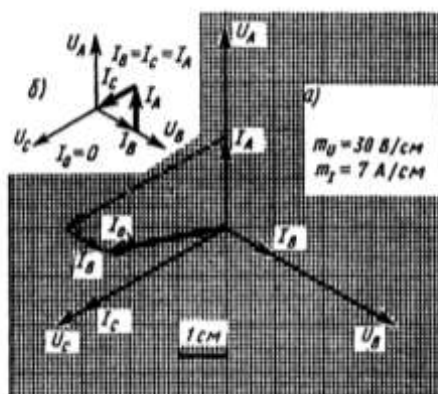


Рис. 28

Методические указания к выполнению задач №3 и №4

В таблице 27 указаны номера задач к соответствующей теме, номера таблиц с данными к этим задачам.

Таблица 27. Задачи и таблицы к контрольной работе №2

№ темы	Наименование темы	№ задачи	№ таблицы
1.8	Электрические машины переменного тока	3	30-34
1.9	Электрические машины постоянного тока	-	-
1.10	Электропривод и аппаратура управления	-	-
1.11	Передача и распределение электрической энергии	-	-
2.1	Полупроводниковые приборы	-	-
2.2	Фотоэлектронные приборы	-	-
2.3	Электронные выпрямители и стабилизаторы	4	44-53
2.4	Электронные усилители	-	-
2.5	Электронные генераторы и измерительные приборы	-	-
2.6	Интегральные схемы микроэлектроники	-	-

Методические указания к решению задачи 3

Задачи данной группы относятся к теме «Электрические машины переменного тока». Для их решения необходимо знать устройство и принцип действия асинхронного двигателя и зависимости между электрическими величинами, характеризующими его работу.

Частота вращения магнитного поля статора n_1 зависит от числа пар полюсов обмотки статора p и частоты переменного тока f

$$n_1 = \frac{60f}{p}.$$

Поэтому ряд возможных синхронных частот вращения n_1 магнитного поля статора при частоте 50 Гц может быть: 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/мин и т.д. При частоте вращения ротора, например, $n_2 = 950$ об/мин, из этого ряда выбираем ближайшую к ней частоту вращения поля $n_1 = 1000$ об/мин. Тогда можно определить скольжение ротора, даже не зная числа пар полюсов двигателя:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05.$$

Из формулы для скольжения можно определить частоту вращения ротора

$$n_2 = n_1 (1 - S).$$

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором нашли широкое применение для привода агрегатов и установок сельскохозяйственного назначения. В настоящее время промышленность выпускает асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором различных типов, но наиболее распространенными являются двигатели серии 4А; цифры и буквы, входящие в обозначение типа электродвигателя, расшифровываются так: 4 - порядковый номер серии; А - асинхронный; Х - алюминиевая оболочка и чугунные щиты (отсутствие буквы Х означает, что корпус полностью выполнен из чугуна); В - двигатель встроен в оборудование; Н - исполнение защищенное IP23, для закрытых двигателей исполнения IP44 обозначение защиты не приводится; Р - двигатель с повышенным пусковым моментом; С - сельскохозяйственного назначения; цифра после буквенного обозначения показывает высоту оси вращения в миллиметрах (100, 112 и т.д.); буквы S, M, L после цифр - установочные размеры по длине корпуса (S - самая короткая станина; M - промежуточная; L - самая длинная); цифра после установочного размера - число полюсов; буква У - климатическое исполнение (для умеренного климата); последняя цифра - категория размещения; I - для работы на открытом воздухе; 3 - для закрытых неотопливаемых помещений.

В обозначениях типов двухскоростных двигателей после установочного размера указывают через дробь оба числа полюсов, например, 4А160S4/2У3. Здесь цифры 4 и 2 означают, что обмотки статора могут переключаться так, что в двигателе образуется 4 или 2 полюса, т.е. может работать при двух скоростях вращения магнитного поля статора (1500 и 3000 об/мин.).

Каждый электродвигатель обладает рядом номинальных технических характеристик. К ним относятся номинальная мощность $P_{ном}$ (мощность на валу ротора), частота вращения ротора n_2 , коэффициент мощности $\cos\varphi_{ном}$, коэффициент полезного действия $\eta_{ном}$, пусковой $I_{п}$ и номинальный $I_{ном}$ токи, пусковой $M_{п}$, номинальный $M_{ном}$ и максимальный M_{max} моменты на валу ротора. В справочниках приводятся кратность пускового тока $K_i = I_{п}/I_{ном}$; и кратность пускового $K_{п} = M_{п}/M_{ном}$ и максимального $K_{м} = M_{max}/M_{ном}$ моментов, показывающие, во сколько раз соответствующая величина больше номинальной, а также другие данные.

Часть из указанных характеристик вместе с условным обозначением, заводским номером, номинальным напряжением $U_{ном}$, на которое рассчитан двигатель, и указанием способа подключения двигателя в сеть приводится на шильдике каждого двигателя.

Перед решением задач рассмотрите типовые примеры 1, 2.

Пример 1. Расшифровать условное обозначение двигателя 4А250S4У3.

Это двигатель четвёртой серии, асинхронный, корпус полностью чугунный (нет буквы X), высота оси вращения 250 мм, размеры корпуса по длине S (самый короткий), четырёхполюсный, для умеренного климата, третья категория размещения.

Пример 2. Трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором питается от сети с линейным напряжением $U_{ном} = 380$ В при частоте $f_1 = 50$ Гц. Номинальные данные двигателя: $P_{ном} = 20$ кВт; $n_2 = 960$ об/мин; $\cos\varphi_{ном} = 0,84$; $\eta_{ном} = 0,88$; $k_M = 1,8$.

Определить номинальный ток в фазе обмотки статора, число пар полюсов обмотки статора, номинальное скольжение, номинальный момент на валу ротора, максимальный момент, критическое скольжение.

Решение. Мощность, потребляемая двигателем из сети,

$$P_1 = P_{ном} / \eta_{ном} = 20 / 0,88 = 22,73 \text{ кВт.}$$

Номинальный ток, потребляемый двигателем из сети,

$$I_{ном} = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_{ном} \cos\varphi_{ном}} = \frac{22,73 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,84} = 41,16 \text{ А.}$$

Число пар полюсов может быть определено из формулы частоты вращения поля статора. При частоте вращения 50 Гц частота вращения поля

$$n_1 = \frac{60 f_1}{P} = \frac{60 \cdot 50}{P} .$$

При $n_2 = 960$ об/мин ближайшая синхронная частота $n_1 = 1000$ об/мин и число пар полюсов

$$P = 60 f_1 / n_1 = 60 \cdot 50 / 1000 = 3.$$

Номинальное скольжение

$$S_{ном} = (n_1 - n_2) / n_1 = (1000 - 960) / 1000 = 0,04.$$

Номинальный момент на валу двигателя

$$M_{ном} = 9550 \frac{P_{ном}}{n_2} = \frac{9550 \cdot 20}{960} = 200 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Максимальный момент

$$M_{max} = k_M \cdot M_{ном} = 1,8 \cdot 200 = 360 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Критическое скольжение

$$S_k = S_n (K_M + \sqrt{K_M^2 - 1}).$$

Пусковой момент

$$M_{п} = K_{п} \cdot M_{н} .$$

Технические данные некоторых асинхронных электродвигателей трёхфазного тока с короткозамкнутым ротором серии 4А приведены в таблице 28.

Таблица 28. Технические данные асинхронных электродвигателей трёхфазного тока с короткозамкнутым ротором серии 4А

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	n_2 , об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$	$\cos \varphi_{\text{НОМ}}$	$k_i = I_n/I_{\text{НОМ}}$	$k_n = M_n/M_{\text{НОМ}}$	$k_M = M_{\text{max}}/M_{\text{НОМ}}$
4A63A2Y3	0,37	2750	0,700	0,86	4,5	2,0	2,2
4A71B2Y3	1,10	2810	0,775	0,87	5,5	2,0	2,2
4A80B2Y3	2,20	2850	0,830	0,87	6,5	2,1	2,6
4A90L2Y3	3,00	2840	0,845	0,87	6,5	2,1	2,5
4A100L2Y3	5,50	2880	0,875	0,91	7,5	2,0	2,5
4A112M2Y3	7,50	2900	0,875	0,88	7,5	2,0	2,8
4A132M2Y3	11,00	2900	0,880	0,90	7,5	1,7	2,8
4A250M2Y3	90,00	2960	0,920	0,90	7,5	1,2	2,5
4A80B4Y3	1,50	1415	0,770	0,83	5,0	2,0	2,2
4A112M4Y3	5,50	1445	0,855	0,85	7,0	2,0	2,2
4A160S4Y3	15,00	1465	0,885	0,88	7,0	1,4	2,3
4A100L6Y3	2,20	950	0,810	0,73	5,0	2,0	2,2
4A132M6Y3	11,00	870	0,855	0,81	6,5	2,0	2,5
4A160S6Y3	7,50	975	0,875	0,86	6,0	1,2	2,0
4A160M6Y3	15,00	970	0,860	0,87	6,0	1,2	2,0
4A180M6Y3	18,00	975	0,880	0,87	5,0	1,2	2,0
4A280M6Y3	90,00	985	0,920	0,89	5,5	1,4	2,0
4A90L2CY1	3,00	2840	0,845	0,88	6,5	2,0	2,2
4A100L2CY1	5,50	2880	0,875	0,91	7,5	2,0	2,2
4A132M2CY1	11,00	2900	0,880	0,90	7,5	1,6	2,2
4A80B4CY1	1,50	1400	0,770	0,85	5,0	2,0	2,2
4A90L4CY1	2,20	1420	0,800	0,85	6,0	2,0	2,2
4A100L4CY1	4,00	1420	0,840	0,85	6,5	2,0	2,5
4A132S4CY1	7,50	1450	0,875	0,86	7,5	2,0	2,2
4A132M4CY1	11,00	1450	0,875	0,87	7,5	2,0	2,2
4AP160S4CY	15,00	1465	0,875	0,87	7,5	2,0	2,2
4A100L6CY1	2,20	920	0,810	0,73	5,5	2,0	2,2
4A112MA6CY	3,00	950	0,810	0,76	6,0	2,0	2,2
4A132M6CY1	7,50	960	0,855	0,81	7,0	2,0	2,2
4AP160S6CY	11,00	975	0,855	0,83	7,0	2,0	2,2
4AP160M6CY	15,00	975	0,875	0,83	7,0	2,0	2,2
4AP180M6CY	18,50	970	0,870	0,80	6,5	2,0	2,2

1 ЗАДАНИЯ ДЛЯ ДОМАШНИХ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

По учебному предмету предусматривается выполнение одной домашней контрольной работы. Контрольная работа дает возможность осуществлять текущий контроль за самостоятельной работой учащихся и координировать их работу над учебным материалом в межсессионный период.

Варианты заданий определяются по приведенным ниже таблицам. Числовые данные в каждой задаче выбираются в зависимости заданного шифра.

Контрольная работа должна быть написана разборчивым почерком в ученической тетради.

Домашняя контрольная работа, представленная после установленного учебным графиком срока ее сдачи, принимается на рецензирование с разрешения директора колледжа.

Не засчитывается и возвращается учащемуся на доработку, если в ней имеются грубые ошибки в решении задач.

Контрольная работа, оформленная небрежно, написанная неразборчивым почерком, а также выполненная по неправильно выбранному варианту, возвращается учащемуся без проверки с указанием причин возврата. В случае выполнения работы по неправильно выбранному варианту учащийся должен выполнить работу согласно своему варианту задания.

2 ДОМАШНЯЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

ТАБЛИЦА 1- РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ ПО ВАРИАНТАМ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.

ПРЕДП ЦИФРА ШИФР А	ПОСЛЕДНЯЯ ЦИФРА ШИФРА									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,40	11,50	22,60	21,9	41,19	51,29	61,39	10,49	20,59	30,8
1	2,41	12,51	23,61	32,10	42,20	52,30	1,40	11,50	21,60	31,9
2	3,42	13,52	24,1	33,11	43,21	53,31	2,41	12,51	22,61	32,15
3	4,43	14,53	25,2	34,12	44,22	54,32	3,42	13,52	23,1	33,16
4	5,44	15,54	26,3	35,13	45,23	55,33	4,43	14,53	24,2	34,17
5	6,45	16,55	27,4	36,14	46,24	56,34	5,44	15,54	25,3	35,40
6	7,46	17,56	28,5	37,15	47,25	57,35	6,45	16,55	26,4	36,61
7	8,47	18,57	29,6	38,16	48,26	58,36	7,46	17,56	27,5	37,29
8	9,48	19,58	30,7	39,17	49,27	59,37	8,47	18,57	28,6	38,5
9	10,49	20,59	31,8	40,18	50,28	60,38	9,48	19,58	29,7	39,11

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ. НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ. ЗАКОН КУЛОНА.
2. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ. ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ. ЗАКОНЫ ОМА.
3. ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ.
4. ПРОВОДНИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ИНДУКЦИЯ.
5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ.
6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ РЕЗИСТОРОВ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ РЕЗИСТОРОВ.
7. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ РЕЗИСТОРОВ. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ РЕЗИСТОРОВ.
8. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА.
9. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВУЮ.
10. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОВОДАХ.

11. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ДВА РЕЖИМА РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ.
12. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ПРАВИЛА КИРХГОФА.
13. РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА. МЕТОД УЗЛОВЫХ КОНТУРНЫХ УРАВНЕНИЙ.
14. РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА. МЕТОД КОНТУРНЫХ ТОКОВ.
15. РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА. МЕТОД УЗЛОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ.
16. ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ.
17. ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ИСТОЧНИКИ Э.Д.С.
18. ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. СОПРОТИВЛЕНИЕ И ПРОВОДИМОСТЬ ПРОВОДНИКОВ. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ И ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ.
19. КОНДЕНСАТОРЫ (ОПРЕДЕЛЕНИЕ, НАЗНАЧЕНИЕ): ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ.
20. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА: ВКЛЮЧЕНИЕ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЦЕПЬ.
21. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ. ТЕПЛОВЫЕ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ.
22. ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ДЕЙСТВИЯ ТОКА В ТЕХНИКЕ.
23. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. РАСЧЕТ СЛОЖНОЙ ЦЕПИ ПО ЗАКОНУ КИРХГОФА.
24. ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ: ЕДИНИЦЫ МАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН.
25. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ; ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.
26. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ. ПРОВОДНИКИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ.
27. ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ.
28. ЗАКОН АМПЕРА ДЛЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА.
29. СИЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ПРОВОДНИКОВ С ТОКОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ.
30. ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ. НАПРАВЛЕНИЕ И ВЕЛИЧИНА Э.Д.С.

ИНДУКЦИИ, ПРАВИЛО ПРАВОЙ РУКИ.

31. ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ. НАПРАВЛЕНИЕ И ВЕЛИЧИНА Э.Д.С.

ИНДУКЦИИ, ПРАВИЛО ЛЕНЦА.

32. ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЕ, ИНДУКТИВНОСТЬ, САМОИНДУКЦИЯ.

33. ОПРЕДЕЛЕНИЕ Э.Д.С. САМОИНДУКЦИИ.

34. ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.

35. ВЗАИМНАЯ ИНДУКЦИЯ.

36. ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ Э.Д.С. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СИНУСОИДАЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТОКЕ.

37. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕМЕННЫХ Э.Д.С, НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА.

38. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

39. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ИНДУКТИВНОСТЬ И ЕМКОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

40. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ФАЗА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. СДВИГ ФАЗ.

41. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ИЗОБРАЖЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН С ПОМОЩЬЮ ВЕКТОРОВ.

42. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. СЛОЖЕНИЕ И ВЫЧИТАНИЕ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА.

43. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. ЦЕПЬ С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ.

44. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. ЦЕПЬ С ИНДУКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ.

45. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. ЦЕПЬ С ЕМКОСТНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ.

46. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНОВ ОМА И КИРХГОФА ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

47. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. ЦЕПЬ С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ЕМКОСТЬЮ.

48. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. ЦЕПЬ С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ИНДУКТИВНОСТЬЮ.

49. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. ЦЕПЬ С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ, ИНДУКТИВНОСТЬЮ И ЕМКОСТЬЮ.

50. Однофазные электрические цепи. Резонанс напряжений и токов: векторные диаграммы, частотные и энергетические характеристики.
51. Однофазные электрические цепи. Мощность в цепи переменного тока.
52. Однофазные электрические цепи. Коэффициент мощности и способы его повышения: разветвленная и неразветвленная цепи переменного тока.
53. Трехфазные электрические цепи. Принцип получения трехфазной Э.д.с.
54. Трехфазные электрические цепи. Основные схемы соединения трехфазных цепей. Соединение обмоток генераторов и потребителей «звездой». Схемы. Векторные диаграммы. Основные расчетные уравнения.
55. Трехфазные электрические цепи. Основные схемы соединения трехфазных цепей. Соединение обмоток генераторов и потребителей «треугольником». Схемы. Векторные диаграммы. Основные расчетные уравнения.
56. Трехфазные электрические цепи. Мощность трехфазной системы, измерение активной мощности в симметричной трехфазной системе.
57. Трехфазные электрические цепи. Расчетные уравнения для симметричной трехфазной системы. Мощность трехфазной цепи.
58. Трехфазные электрические цепи. Выбор схем соединения силовой и осветительной сети.
59. Трехфазные электрические цепи. Активная, реактивная и полная мощности трехфазной цепи. Коэффициент мощности.
60. Трехфазные электрические цепи. Назначение нулевого провода в четырехпроводной цепи.
61. Трехфазные электрические цепи. Соотношения между фазными и линейными токами и напряжениями при симметричной нагрузке в трехфазной цепи, соединенной «звездой».

Задача № 1

Цепь постоянного тока содержит шесть резисторов, соединенных смешанно. Номер рисунка, значения резисторов и величина одного из заданных токов или напряжений приведены в таблице № 1. Индекс тока или напряжения совпадает с индексом резистора, по которому проходит этот ток или действует указанное напряжение. Определить эквивалентное сопротивление цепи относительно вводов АВ, ток в каждом резисторе, напряжение на каждом резисторе, расход электрической энергии цепью за 10 часов работы.

С помощью логических рассуждений пояснить характер изменения одного из значений, заданных в таблице вариантов (увеличится, уменьшится,

останется прежней), если заданный в таблице резистор замыкается накоротко, либо выключается из схемы. Пояснения следует подтвердить расчетами.

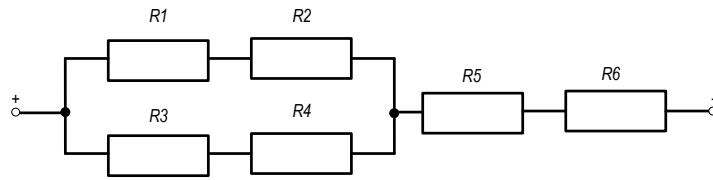


Рисунок 1

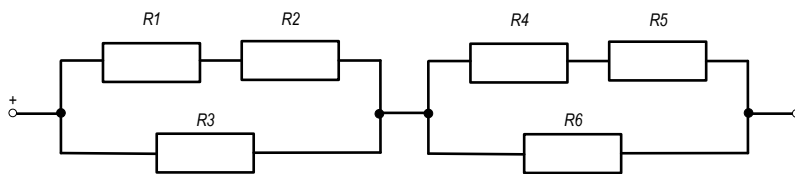


Рисунок 2

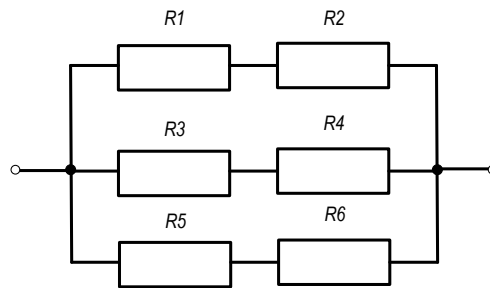


Рисунок 3

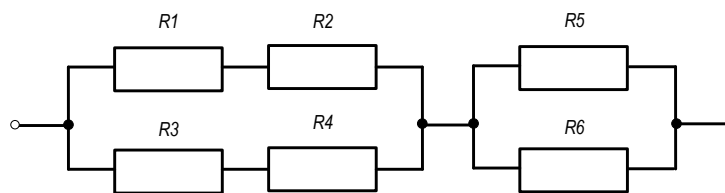


Рисунок 4

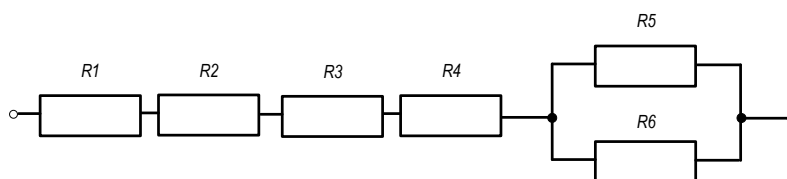


Рисунок 5

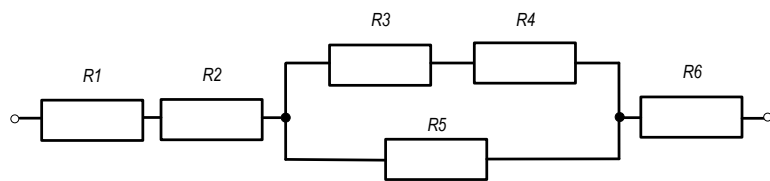


Рисунок 6

Таблица № 1

№ вар.	№ рис.	R ₁ Ом	R ₂ Ом	R ₃ Ом	R ₄ Ом	R ₅ Ом	R ₆ Ом	Заданная величина
01	1	5	10	4	6	4	15	I _{5,6} = 6A
02	2	6	8	4	2	10	12	U=100B
03	3	10	8	6	4	2	10	I ₂ = 20A
04	4	10	15	4	4	15	10	I = 20A
05	5	5	10	4	6	4	15	U ₆ = 60B
06	6	6	8	4	2	10	12	U ₄ = 36B
07	1	15	4	6	4	4	15	I _{3,4} = 3A
08	2	12	10	8	6	4	4	U _{AB} =200B
09	3	10	6	4	8	4	8	I ₁ = 10A
10	4	4	2	8	4	3	15	I ₃ = 5A
11	5	4	5	6	3	5	10	U ₂ =150B
12	6	12	10	8	6	4	4	U _{AB} =30B
13	1	4	6	12	12	12	10	I ₃ = 2A
14	2	10	12	8	6	10	4	U ₄ =12B
15	3	12	4	6	6	8	10	I ₆ = 13A
16	4	10	11	15	2	2	3	I _{4,5} = 6A
17	5	7	4	8	2	5	7	U ₂ =80B
18	6	8	4	8	3	5	7	I ₂ = 10A
19	1	5	5	4	64	5	8	I ₁ = 20A
20	2	12	8	4	8	5	4	U ₆ = 60B
21	3	2	8	5	7	5	5	U ₄ = 36B
22	4	11	2	7	5	5	1	I _{3,4} = 3A
23	5	3	2	2	6	7	20	U _{AB} =300B
24	6	4	10	10	6	7	20	I ₁ = 80A
25	1	5	10	10	7	8	5	I ₃ = 5A
26	2	7	14	20	7	8	5	U ₂ =10B
27	3	6	7	30	8	8	4	U _{AB} =30B
28	4	8	7	5	5	4	7	I ₃ = 2A
29	5	10	8	5	2	4	8	U ₄ =12B
30	6	12	5	4	4	4	4	I ₆ = 3A
31	1	14	3	12	8	2	5	I _{4,5} = 6A
32	2	1	6	1	7	2	7	U ₂ =100B
33	3	2	5	4	5	2	8	I ₂ = 10A
34	4	4	5	7	4	2	7	I ₁ = 20A
35	5	5	2	8	3	2	4	U ₆ = 60B
36	6	8	4	6	6	5	5	U ₄ = 36B
37	1	6	10	9	653	5	3	I _{3,4} = 3A
38	2	13	12	5	4	5	3	U _{AB} =120B
39	3	25	14	8	10	7	6	I ₁ = 10A
40	4	47	15	3	10	7	9	I ₃ = 5A
41	5	5	15	6	20	7	6	U ₂ =50B
42	6	7	17	5	20	2	5	U _{AB} =30B
43	1	8	4	8	30	2	8	I ₃ = 2A
44	2	11	4	7	5	5	9	U ₄ =12B
45	3	14	2	10	57	7	3	I ₆ = 3A
46	4	12	5	10	4	8	5	I _{4,5} = 6A

47	5	1	6	15	8	4	2	$U_2=88B$
48	6	13	8	12	4	4	3	$I_2 = 10A$
49	1	2	7	14	4	10	5	$I_1 = 20A$
50	2	5	7	2	5	10	7	$U_6 = 60B$
51	3	5	8	2	8	10	5	$U_4= 36B$
52	4	62	5	3	4	10	11	$I_{3,4} = 3A$
53	5	85	6	3	10	20	15	$U_{AB}=80B$
54	6	78	8	6	15	4	4	$I_1 = 10A$
55	1	57	7	5	4	4	5	$I_3 = 5A$
56	2	2	4	8	9	5	9	$U_2=50B$
57	3	4	5	9	8	8	8	$U_{AB}=90B$
58	4	5	5	4	7	7	3	$I_3 = 8A$
59	5	7	2	5	4	5	3	$U_4=75B$
60	6	2	3	2	5	6	6	$I_6 = 3A$
61	1	3	3	8	3	6	5	$I_1 = 20A$
62	2	6	5	7	6	3	2	$U_6 = 60B$
63	3	9	4	9	10	3	10	$U_4= 36B$
64	4	9	10	6	15	5	10	$I_{3,4} = 3A$
65	5	8	10	10	4	8	10	$U_{AB}=60B$
66	6	5	15	10	2	7	8	$U_{AB}=130B$
67	1	4	16	15	2	5	6	$I_3 = 12A$
68	2	2	1	14	3	8	7	$U_4=12B$
69	3	12	4	12	5	8	8	$I_6 = 3A$
70	4	22	5	11	7	7	5	$I_{4,5}=1, 6A$
71	5	5	5	10	8	4	9	$U_{AB}=70B$
72	6	4	6	12	9	5	5	$I_3 = 2A$
73	1	6	7	12	5	8	4	$U_4=12B$
74	2	8	8	14	10	7	7	$I_6 = 3A$
75	3	7	9	5	12	5	8	$I_1 = 20A$
76	4	12	9	6	12	5	5	$U_6 = 60B$
77	5	4	5	6	14	2	5	$U_4= 36B$
78	6	8	8	9	15	2	2	$I_{3,4} = 3A$
79	1	7	5	8	16	6	4	$U_{AB}=190B$
80	2	4	4	3	12	6	4	$U_{AB}=30B$
81	3	5	5	3	10	9	7	$I_3 = 2A$
82	4	12	6	5	2	10	9	$U_4=12B$
83	5	23	8	4	12	12	9	$I_6 = 3A$
84	6	5	7	6	2	5	9	$I_{4,5}= 6A$
85	1	5	2	8	2	5	5	$I_1 = 20A$
86	2	4	2	10	2	5	6	$U_6 = 60B$
87	3	7	5	15	4	5	2	$U_4= 36B$
88	4	7	6	2	4	6	2	$I_{3,4} = 3A$
89	5	5	8	2	5	6	8	$U_{AB}=300B$
90	6	4	8	3	7	6	7	$U_{AB}=130B$
91	1	10	4	6	6	8	5	$I_3 = 2A$
92	2	10	10	7	8	8	6	$U_4=12B$
93	3	12	10	7	3	8	8	$I_6 = 3A$
94	4	14	11	5	5	9	7	$I_{4,5}= 6A$
95	5	5	12	6	4	9	4	$U_{AB}=30B$
96	6	6	14	9	7	9	5	$I_3 = 2A$
97	10	8	10	10	5	9	8	$U_4=12B$
98	2	7	5	14	8	2	5	$I_6 = 3A$
99	3	5	5	15	6	2	10	$I_{4,5}= 6A$

ЗАДАЧА № 2

Неразветвлённая цепь переменного тока, показанная на соответствующем рисунке, содержит активные и реактивные сопротивления, величины которых заданы в таблице №2. Кроме того известна дополнительная величина. Определить следующие величины, если они не заданы в таблице вариантов: полное сопротивление цепи; напряжение U , приложенное к цепи; силу тока в цепи I ; угол сдвига фаз (величину и знак); активную, реактивную и полную мощности, потребляемые цепью.

Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. С помощью логических рассуждений пояснить, как изменится ток в цепи, если частоту тока увеличить в двое. Напряжение, приложенное к цепи считать неизменным.

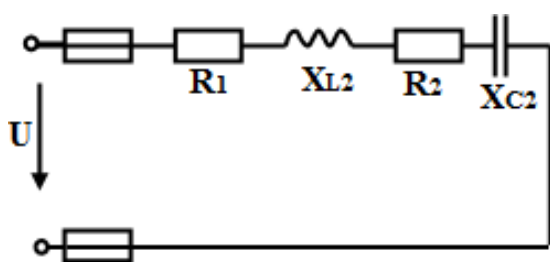


Рис. 6

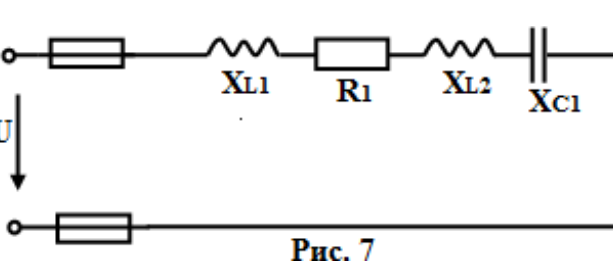


Рис. 7

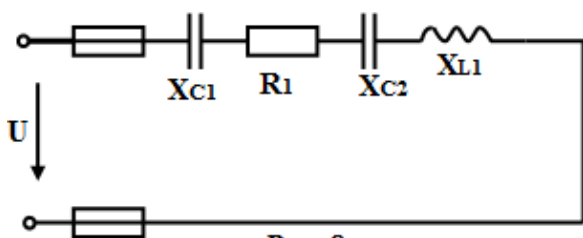


Рис. 8

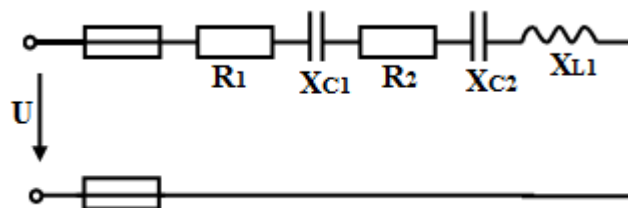


Рис.9

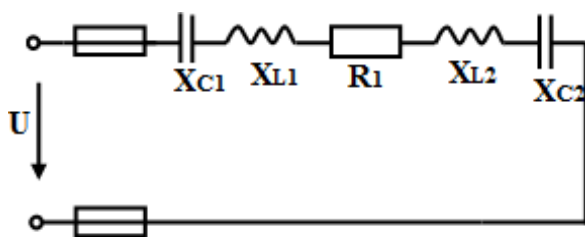


Рис.10

Таблица № 2

№ вар.	№ рис.	R_1 Ом	R_2 Ом	X_{L1} Ом	X_{L2} Ом	X_{C1} Ом	X_{C2} Ом	Дополнительная величина
01	6	8	4	18	-	2	-	$I = 10$ А
02	6	10	20	50	-	10	-	$P = 120$ Вт
03	6	3	1	5	-	2	-	$P_2 = 100$ Вт
04	7	6	-	2	10	4	-	$U = 40$ В
05	7	4	-	6	2	5	-	$P = 16$ Вт
06	7	16	-	15	5	8	-	$Q_{L1} = 135$ вар

07	8	4	-	6	-	4	5	P = 100 Вт
08	8	8	-	6	-	8	4	U _{C2} = 40 В
09	8	80	-	100	-	25	15	I = 1 А
10	9	10	14	18	-	20	30	U _{R2} = 40 В
11	9	6	2	10	-	1	3	P = 200 Вт
12	9	40	20	20	-	80	20	Q _{C1} = - 135 вар
13	10	12	-	10	4	20	10	Q = - 64 вар
14	10	32	-	20	20	6	10	I = 4 А
15	10	32	-	25	15	8	8	U _{L1} = 125 В
16	6	18	14	18	-	2	-	I = 18А
17	6	15	20	5	-	10	-	U = 120 Вт
18	6	3	12	45	-	2	-	P ₂ = 100 Вт
19	7	16	-	20	10	40	-	U = 240 В
20	7	9	-	9	9	9	-	U = 90 В
21	7	5	-	15	5	18	-	P = 200 Вт
22	8	40	-	60	-	40	50	Q _{C1} = - 135 вар
23	8	7	-	6	-	8	4	Q = - 64 вар
24	8	60	-	100	-	25	15	I = 4 А
25	9	10	14	18	-	20	30	U _{L1} = 125 В
26	9	6	2	10	-	1	3	I = 10 А
27	9	40	20	20	-	80	20	P ₁ = 120 Вт
28	10	12	-	10	4	20	10	P ₂ = 100 Вт
29	10	32	-	20	20	6	10	U = 40 В
30	10	32	-	25	15	8	8	P = 90 Вт
31	6	8	4	18	-	2	-	P ₂ = 500 Вт
32	6	10	20	50	-	10	-	U = 40 В
33	6	3	1	5	-	2	-	P = 16 Вт
34	7	7	-	2	10	4	-	U _{C2} = 40 В
35	7	8	-	6	2	5	-	I = 1 А
36	7	10	-	15	5	8	-	U _{R2} = 40 В
37	8	10	-	6	-	4	5	P = 200 Вт
38	8	20	-	6	-	8	4	Q _{C2} = - 135 вар
39	8	2	-	100	-	25	15	I = 1 А
40	9	5	14	18	-	20	30	U _{R2} = 40 В
41	9	6	2	10	-	1	3	P = 200 Вт
42	9	6	20	20	-	80	20	Q _{C1} = - 135 вар
43	10	68	-	10	4	20	10	Q = - 64 вар
44	10	9	-	20	20	6	10	I = 4 А
45	10	5	-	25	15	8	8	U _{L1} = 125 В
46	6	8	4	18	-	2	-	I = 10 А
47	6	7	20	50	-	10	-	P = 120 Вт
48	6	5	1	5	-	2	-	P ₂ = 100 Вт
49	7	8	-	2	10	4	-	U = 40 В
50	7	8	-	6	2	5	-	P = 16 Вт
51	7	9	-	15	5	8	-	Q _{L1} = 135 вар
52	8	9	-	6	-	4	5	P = 100 Вт
53	8	6	-	6	-	8	4	U _{C2} = 40 В
54	8	10	-	100	-	25	15	I = 1 А
55	9	10	14	18	-	20	30	U _{R2} = 40 В
56	9	20	2	10	-	1	3	P = 200 Вт
57	9	20	20	20	-	80	20	Q _{C1} = - 135 вар
58	10	25	-	10	4	20	10	Q = - 64 вар
59	10	25	-	20	20	6	10	I = 4 А

60	10	24	-	25	15	8	8	$U_{L1} = 125 \text{ B}$
61	6	25	4	18	-	2	-	$I = 10 \text{ A}$
62	6	10	20	50	-	10	-	$P = 120 \text{ Вт}$
63	6	2	1	5	-	2	-	$P_2 = 100 \text{ Вт}$
64	7	2	-	2	10	4	-	$U = 40 \text{ B}$
65	7	3	-	6	2	5	-	$P = 16 \text{ Вт}$
66	7	3	-	15	5	8	-	$Q_{L1} = 135 \text{ вар}$
67	8	6	-	8	-	4	5	$P = 100 \text{ Вт}$
68	8	9	-	7	-	8	4	$U_{C2} = 40 \text{ B}$
69	8	5	-	9	-	25	15	$I = 1 \text{ A}$
70	9	8	14	6	-	20	30	$U_{R2} = 40 \text{ B}$
71	9	8	2	10	-	1	3	$P = 200 \text{ Вт}$
72	9	7	20	15	-	80	20	$Q_{C1} = - 135 \text{ вар}$
73	10	5	-	14	4	20	10	$Q = - 64 \text{ вар}$
74	10	6	-	18	20	6	10	$I = 4 \text{ A}$
75	10	8	-	12	15	8	8	$U_{L1} = 125 \text{ B}$
76	6	9	4	21	-	2	-	$I = 10 \text{ A}$
77	6	7	20	24	-	10	-	$P = 120 \text{ Вт}$
78	6	50	1	25	-	2	-	$P_2 = 100 \text{ Вт}$
79	7	50	-	50	10	4	-	$U = 40 \text{ B}$
80	7	54	-	50	2	5	-	$P = 16 \text{ Вт}$
81	7	80	-	100	5	8	-	$Q_{L1} = 135 \text{ вар}$
82	8	7	-	28	-	4	5	$P = 100 \text{ Вт}$
83	8	8	-	9	-	8	4	$U_{C2} = 40 \text{ B}$
84	8	2	-	6	-	25	15	$P = 190 \text{ Вт}$
85	9	5	14	8	-	20	30	$U_{R2} = 40 \text{ B}$
86	9	6	2	7	-	1	3	$P_1 = 400 \text{ Вт}$
87	9	8	20	5	-	80	20	$Q_{C2} = - 160 \text{ вар}$
88	10	4	-	180	4	20	10	$Q = - 98 \text{ вар}$
89	10	10	-	20	20	6	10	$I = 44 \text{ A}$
90	10	12	-	25	15	8	8	$U_{L1} = 125 \text{ B}$
91	6	15	4	18	-	2	-	$I_{R1} = 25 \text{ A}$
92	6	18	20	50	-	10	-	$P_2 = 170 \text{ Вт}$
93	6	20	1	5	-	2	-	$P = 245 \text{ Вт}$
94	7	25	-	2	10	4	-	$U = 99 \text{ B}$
95	7	6	-	6	2	5	-	$P = 216 \text{ Вт}$
96	7	6	-	15	5	8	-	$Q_{L1} = 58 \text{ вар}$
97	8	8	-	6	-	4	5	$P = 780 \text{ Вт}$
98	8	9	-	6	-	8	4	$U_{C1} = 60 \text{ B}$
99	8	7	-	100	-	25	15	$I = 15 \text{ A}$

ЗАДАЧА 3

Понижающий однофазный двухобмоточный трансформатор с естественным воздушным охлаждением подключен к сети напряжением $U_{1НОМ}=230$ В. Трансформатор работает в номинальном режиме и используется для питания специальной, аппаратуры, имеющей активное сопротивление $R_{НАГР}$ (рисунок 17).

Определить значения, не заданные в условиях задачи: 1) напряжение вторичной обмотки $U_{2НОМ}$; 2) сопротивление нагрузки $R_{НАГР}$; 3) ток вторичной обмотки $I_{2НОМ}$; 4) коэффициент трансформации трансформатора k ; 5) ток первичной обмотки $I_{1НОМ}$; 6) номинальную мощность трансформатора $S_{2НОМ}$. Данные для своего варианта взять из таблицы 3.

ТАБЛИЦА 3- ВАРИАНТЫ ЗАДАЧИ 3

НОМЕР ВАРИАНТА	U, I, S, R _{НАГР} , K
1	$U_{2НОМ}=22$ В; $R_{НАГР}=2,2$ Ом
2	$I_{2НОМ}=10$ А; $R_{НАГР}=2,2$ Ом
3	$K=10$; $R_{НАГР}=2,2$ Ом
4	$U_{2НОМ}=22$ В; $S_{2НОМ}=220$ ВА
5	$U_{2НОМ}=22$ В; $I_{2НОМ}=10$ А
6	$I_{1НОМ}=1$ А; $K=10$
7	$I_{2НОМ}=10$ А; $S_{2НОМ}=220$ В*А
8	$S_{2НОМ}=220$ В*А; $K=10$
9	$I_{1НОМ}=1$ А; $U_{2НОМ}=22$ В
10	$I_{2НОМ}=10$ А; $K=10$
11	$U_{2НОМ}=322$ В; $R_{НАГР}=62,2$ Ом
12	$I_{2НОМ}=103$ А; $R_{НАГР}=52,2$ Ом

13	$K = 10; R_{\text{НАГР}} = 2,2 \text{ Ом}$
14	$U_{2\text{НОМ}} = 22 \text{ В}; S_{2\text{НОМ}} = 220 \text{ ВА}$
15	$I_{2\text{НОМ}} = 40 \text{ А}; R_{\text{НАГР}} = 9,8 \text{ Ом}$
16	$K = 16; R_{\text{НАГР}} = 11,5 \text{ Ом}$
17	$U_{2\text{НОМ}} = 55 \text{ В}; R_{\text{НАГР}} = 3,2 \text{ Ом}$
18	$I_{2\text{НОМ}} = 50 \text{ А}; R_{\text{НАГР}} = 6,2 \text{ Ом}$
19	$K = 15; R_{\text{НАГР}} = 6,2 \text{ Ом}$
20	$U_{2\text{НОМ}} = 52 \text{ В}; S_{2\text{НОМ}} = 220 \text{ ВА}$
21	$U_{2\text{НОМ}} = 42 \text{ В}; I_{2\text{НОМ}} = 5,0 \text{ А}$
22	$I_{1\text{НОМ}} = 11 \text{ А}; K = 16$
23	$I_{2\text{НОМ}} = 19 \text{ А}; S_{2\text{НОМ}} = 620 \text{ В} \cdot \text{А}$
27	$S_{2\text{НОМ}} = 320 \text{ В} \cdot \text{А}; K = 17$
25	$I_{1\text{НОМ}} = 9 \text{ А}; U_{2\text{НОМ}} = 22 \text{ В}$
26	$I_{2\text{НОМ}} = 17 \text{ А}; K = 10$
27	$U_{2\text{НОМ}} = 222 \text{ В}; R_{\text{НАГР}} = 62,2 \text{ Ом}$
28	$I_{2\text{НОМ}} = 5 \text{ А}; R_{\text{НАГР}} = 0,9 \text{ Ом}$

29	$K = 60; R_{\text{НАГР}} = 52,2 \text{ Ом}$
30	$U_{2\text{НОМ}} = 290 \text{ В}; S_{2\text{НОМ}} = 620 \text{ ВА}$
31	$U_{2\text{НОМ}} = 42 \text{ В}; I_{2\text{НОМ}} = 3,0 \text{ А}$
32	$I_{1\text{НОМ}} = 1,6 \text{ А}; K = 19$
33	$I_{2\text{НОМ}} = 1,6 \text{ А}; S_{2\text{НОМ}} = 320 \text{ В} \cdot \text{А}$
34	$S_{2\text{НОМ}} = 290 \text{ В} \cdot \text{А}; K = 9$
35	$I_{1\text{НОМ}} = 6,9 \text{ А}; U_{2\text{НОМ}} = 622 \text{ В}$
36	$I_{2\text{НОМ}} = 1,7 \text{ А}; K = 15$
37	$U_{2\text{НОМ}} = 49 \text{ В}; R_{\text{НАГР}} = 2,2 \text{ Ом}$
38	$U_{2\text{НОМ}} = 222 \text{ В}; R_{\text{НАГР}} = 62,2 \text{ Ом}$
39	$I_{2\text{НОМ}} = 10,9 \text{ А}; R_{\text{НАГР}} = 1,7 \text{ Ом}$
40	$K = 18; R_{\text{НАГР}} = 9,2 \text{ Ом}$
41	$U_{2\text{НОМ}} = 72 \text{ В}; S_{2\text{НОМ}} = 320 \text{ ВА}$
42	$U_{2\text{НОМ}} = 222 \text{ В}; I_{2\text{НОМ}} = 17 \text{ А}$
43	$I_{1\text{НОМ}} = 1,6 \text{ А}; K = 11$
44	$I_{2\text{НОМ}} = 19 \text{ А}; S_{2\text{НОМ}} = 420 \text{ В} \cdot \text{А}$

45	$S_{2HOM}=220B*A; K=17$
46	$I_{1HOM}=5,2A; U_{2HOM}=122B$
47	$I_{2HOM}=1,9A; K=19$
48	$U_{2HOM}=220 B; R_{HATP}=2,2 OM$
49	$I_{2HOM}=1,9 A; R_{HATP}=2,2 OM$
50	$K=10; R_{HATP}=8,2 OM$
51	$U_{2HOM}=122 B; S_{2HOM}=120 BA$
52	$I_{2HOM}=6,0 A; R_{HATP}=1,8 OM$
53	$K=1,6; R_{HATP}=15,5 OM$
54	$U_{2HOM}=155 B; R_{HATP}=13,2 OM$
55	$I_{2HOM}=5,0 A; R_{HATP}=66,2 OM$
56	$K=1,5; R_{HATP}=96,2 OM$
57	$U_{2HOM}=252 B; S_{2HOM}=520 BA$
58	$U_{2HOM}=412B; I_{2HOM}=15,0A$
59	$I_{1HOM}=1,1A; K=16$
60	$I_{2HOM}=1,9A; S_{2HOM}=120B*A$

61	$S_{2HOM}=220B*A; K=17$
62	$I_{1HOM}=6,9A; U_{2HOM}=222B$
63	$I_{2HOM}=1,7A; K=10$
64	$U_{2HOM}=262 B; R_{HATP}=92,2 OM$
65	$I_{2HOM}=75 A; R_{HATP}=7,9 OM$
66	$K=10; R_{HATP}=42,2 OM$
67	$U_{2HOM}=260 B; S_{2HOM}=520 BA$
68	$U_{2HOM}=49B; I_{2HOM}=7,0A$
69	$I_{1HOM}=1,16A; K=1,9$
70	$I_{2HOM}=1,69A; S_{2HOM}=120B*A$
71	$S_{2HOM}=290B*A; K=9$
72	$I_{1HOM}=6,9A; U_{2HOM}=622B$
73	$I_{2HOM}=11,7A; K=15$
74	$U_{2HOM}=149 B; R_{HATP}=12,2 OM$
75	$I_{1HOM}=21,1A; K=16$
76	$I_{2HOM}=21,9A; S_{2HOM}=1120B*A$

77	$S_{2HOM}=620B \cdot A; K=17$
78	$I_{1HOM}=96,9A; U_{2HOM}=1222B$
79	$I_{2HOM}=1,7A; K=16$
80	$U_{2HOM}=292 B; R_{HATP}=2,2 OM$
81	$I_{2HOM}=7,5 A; R_{HATP}=7,9 OM$
82	$K=10; R_{HATP}=92,2 OM$
83	$U_{2HOM}=260 B; S_{2HOM}=320 BA$
84	$U_{2HOM}=88B; I_{2HOM}=9,0A$
85	$I_{2HOM}=6,9 A; R_{HATP}=32,2 OM$
86	$K=10; R_{HATP}=18,2 OM$
87	$U_{2HOM}=192 B; S_{2HOM}=420 BA$
88	$I_{2HOM}=66,0 A; R_{HATP}=11,8 OM$
89	$K=1,9; R_{HATP}=5,5 OM$
90	$U_{2HOM}=159 B; R_{HATP}=13,2 OM$
91	$I_{2HOM}=45,0 A; R_{HATP}=6,2 OM$
92	$S_{2HOM}=320B \cdot A; K=18$

93	$I_{1НОМ}=9,9А; U_{2НОМ}=78В$
94	$I_{2НОМ}=10А; κ =10$
95	$U_{2НОМ}=111В; R_{НАГР}=12,5 ОМ$
96	$I_{2НОМ}=7,5 А; R_{НАГР}=1,9 ОМ$
97	$κ =10; R_{НАГР}=2,2 ОМ$
98	$U_{2НОМ}=360 В; S_{2НОМ}=1120 ВА$
99	$U_{2НОМ}=249В; I_{2НОМ}=17,0А$

Задача 4

ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПРИВОДИТСЯ В РАБОТУ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА СЕРИИ 4А И ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ. СОПРОТИВЛЕНИЕ ОБМОТОК ЯКОРЯ $R_я=0,2 ОМ$, ВОЗБУЖДЕНИЯ $R_в=50 ОМ$, К.П.Д. ГЕНЕРАТОРА $=0,89$.

О П Р Е Д Е Л И Т Ь значения, характеризующие работу генератора, которые не заданы в условиях задачи: 1) Э.Д.С. генератора E ; 2) напряжение на зажимах генератора U ; 3) значения токов в нагрузке I , в обмотке якоря $I_я$, в обмотке возбуждения $I_в$; 4) полезную мощность, отдаваемую генератором, P_2 ; 5) мощность, затраченную электродвигателем на работу генератора, P_1 .

Данные для своего варианта взять из таблицы 4.

Таблица 4- Варианты задачи 4

Номер варианта задачи	E, U, P, I
1	$U=200 В; I_я=100 А$
2	$E=210 В; I_я=100 А$

3	$I=96 \text{ A}; U=200\text{B}$
4	$P_2=19200 \text{ BT}; I=96 \text{ A}$
5	$P_2=19200 \text{ BT}; I_B=4 \text{ A}$
6	$P_1=21330 \text{ BT}; I=96 \text{ A}$
7	$P_1=21330 \text{ BT}; I_B=4 \text{ A}$
8	$I_B=4 \text{ A}; I_{\text{я}}=100 \text{ A}$
9	$U=200\text{B}; I=96 \text{ A}$
10	$E=210 \text{ B}; U=200\text{B}$
11	$U=220 \text{ B}; I_{\text{я}}=150 \text{ A}$
12	$E=310 \text{ B}; I_{\text{я}}=100 \text{ A}$
13	$I=86 \text{ A}; U=100\text{B}$
14	$P_2=17200 \text{ BT}; I=76 \text{ A}$
15	$P_2=10200 \text{ BT}; I_B=4,5 \text{ A}$
16	$P_1=11330 \text{ BT}; I=76 \text{ A}$
17	$P_1=61330 \text{ BT}; I_B=45 \text{ A}$
18	$I_B=40 \text{ A}; I_{\text{я}}=500 \text{ A}$
19	$U=100\text{B}; I=9,6 \text{ A}$
20	$E=250 \text{ B}; U=100\text{B}$

21	$U=280 \text{ B}; I_{\text{я}}=90 \text{ A}$
22	$E=290 \text{ B}; I_{\text{я}}=99 \text{ A}$
23	$I=196 \text{ A}; U=400 \text{ B}$
24	$P_2=9200 \text{ BT}; I=1,96 \text{ A}$
25	$P_2=1200 \text{ BT}; I_{\text{B}}=4,4 \text{ A}$
26	$P_1=2330 \text{ BT}; I=6 \text{ A}$
27	$P_1=330 \text{ BT}; I_{\text{B}}=7 \text{ A}$
28	$I_{\text{B}}=14 \text{ A}; I_{\text{я}}=300 \text{ A}$
29	$U=500 \text{ B}; I=69,6 \text{ A}$
30	$E=290 \text{ B}; U=800 \text{ B}$
31	$U=200 \text{ B}; I_{\text{я}}=100 \text{ A}$
32	$E=210 \text{ B}; I_{\text{я}}=100 \text{ A}$
33	$I=96 \text{ A}; U=200 \text{ B}$
34	$P_2=19200 \text{ BT}; I=96 \text{ A}$
35	$P_2=19200 \text{ BT}; I_{\text{B}}=4 \text{ A}$
36	$P_1=21330 \text{ BT}; I=96 \text{ A}$

37	$P_1=21330 \text{ BT}; I_B=4 \text{ A}$
38	$I_B=4 \text{ A}; I_A=100 \text{ A}$
39	$U=200\text{B}; I=96 \text{ A}$
40	$E=210 \text{ B}; U=200\text{B}$
41	$U=1200 \text{ B}; I_A=190 \text{ A}$
42	$E=220 \text{ B}; I_A=110 \text{ A}$
43	$I=9,6 \text{ A}; U=100\text{B}$
44	$P_2=7400 \text{ BT}; I=96 \text{ A}$
45	$P_2=8200 \text{ BT}; I_B=4 \text{ A}$
46	$P_1=1330 \text{ BT}; I=5 \text{ A}$
47	$P_1=2530 \text{ BT}; I_B=1,4 \text{ A}$
48	$I_B=4,5\text{A}; I_A=150 \text{ A}$
49	$U=230\text{B}; I=9,1 \text{ A}$
50	$E=220 \text{ B}; U=220\text{B}$
51	$U=500 \text{ B}; I_A=200 \text{ A}$
52	$E=290 \text{ B}; I_A=130 \text{ A}$

53	$I=66 \text{ A}; U=320\text{B}$
54	$P_2=1880\text{BT}; I=8,8 \text{ A}$
55	$P_2=16600 \text{ BT}; I_B=24 \text{ A}$
56	$P_1=5330 \text{ BT}; I=2,3 \text{ A}$
57	$P_1=7860 \text{ BT}; I_B=4,4 \text{ A}$
58	$I_B=4,1 \text{ A}; I_A=99\text{A}$
59	$U=600\text{B}; I=0\text{A}$
60	$E=210 \text{ B}; U=200\text{B}$
61	$U=200 \text{ B}; I_A=100 \text{ A}$
63	$E=210 \text{ B}; I_A=100 \text{ A}$
64	$I=96 \text{ A}; U=200\text{B}$
65	$P_2=19200 \text{ BT}; I=96 \text{ A}$
66	$P_2=19200 \text{ BT}; I_B=4 \text{ A}$
67	$P_1=21330 \text{ BT}; I=96 \text{ A}$
68	$P_1=21330 \text{ BT}; I_B=4 \text{ A}$
69	$I_B=4 \text{ A}; I_A=100 \text{ A}$

70	$U=200\text{B}; I=96\text{ A}$
71	$E=210\text{ B}; U=200\text{B}$
72	$U=700\text{ B}; I_{\text{я}}=500\text{ A}$
73	$E=400\text{ B}; I_{\text{я}}=80\text{ A}$
74	$I=7,7\text{ A}; U=200\text{B}$
75	$P_2=8900\text{ BT}; I=96\text{ A}$
76	$P_2=11250\text{ BT}; I_{\text{B}}=8\text{ A}$
77	$P_1=20550\text{ BT}; I=95\text{ A}$
78	$P_1=14000\text{ BT}; I_{\text{B}}=34\text{ A}$
79	$I_{\text{B}}=9\text{ A}; I_{\text{я}}=300\text{ A}$
80	$U=700\text{B}; I=196\text{ A}$
81	$E=110\text{ B}; U=100\text{B}$
82	$U=1200\text{ B}; I_{\text{я}}=1100\text{ A}$
83	$E=610\text{ B}; I_{\text{я}}=100\text{ A}$
84	$I=36\text{ A}; U=200\text{B}$
85	$P_2=17200\text{ BT}; I=69\text{ A}$

86	$P_2=12550 \text{ BT}; I_B=24 \text{ A}$
87	$P_1=21500 \text{ BT}; I=77 \text{ A}$
88	$P_1=24560 \text{ BT}; I_B=34 \text{ A}$
89	$I_B=8,8 \text{ A}; I_A=100 \text{ A}$
90	$U=270 \text{ B}; I=1,96 \text{ A}$
91	$E=290 \text{ B}; U=100 \text{ B}$
92	$U=200 \text{ B}; I_A=100 \text{ A}$
93	$E=210 \text{ B}; I_A=100 \text{ A}$
94	$I=96 \text{ A}; U=200 \text{ B}$
95	$P_2=19200 \text{ BT}; I=96 \text{ A}$
96	$P_2=19200 \text{ BT}; I_B=4 \text{ A}$
97	$P_1=21330 \text{ BT}; I=96 \text{ A}$
98	$P_1=21330 \text{ BT}; I_B=4 \text{ A}$
99	$I_B=4 \text{ A}; I_A=100 \text{ A}$