

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**  
**Государственное бюджетное профессиональное**  
**образовательное учреждение Московской области**  
**«Электростальский колледж»**



**У Т В Е Р Ж Д А Ю**

Зам. директора по УР

И.В.Краснобельмова

« 28 » ноября 2018 г.

**Методические рекомендации по выполнению**  
**внеаудиторных (самостоятельных) работ**

по дисциплине

**ОП.02 «Электротехника и электроника»**

по профессии **13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание**  
**электрического и электромеханического оборудования**  
(технический профиль)

г.о. Электросталь, 2018 год

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы.....	5
2. Указания к внеаудиторному самостоятельному изучению тем учебно–тематического плана дисциплины.....	7
3. Указания по подготовке к выполнению лабораторных работ.....	21
4. Указания по подготовке к зачету, экзамену.....	21
5. Методические указания по написанию рефератов.....	22
6. Тематика рефератов.....	25
Информационное обеспечение обучения. Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы.....	26

## Введение

Методические указания являются составной частью учебно-методического комплекса (УМК) дисциплины «Электротехника и электроника», содержат сведения о содержании дисциплины, а также рекомендации по ее самостоятельному изучению.

*Целью изучения дисциплины является:*

- обеспечение специалиста теоретической и практической подготовки специалиста в области электротехники и электроники;
- развитие инженерного мышления;
- приобретение знаний, необходимых для изучения специальных дисциплин, связанных с эксплуатацией электротехнического оборудования;
- развитие творческих способностей, умение формулировать и решать на высоком научном уровне проблемы изучаемой специальности;
- умение творчески применять и самостоятельно повышать свои знания.

Эти цели достигаются на основе фундаментализации образования и широкого применения вычислительной техники в учебном процессе.

*Конечной целью обучения является:*

овладение студентами знаниями, умениями и навыками, необходимыми для квалифицированного использования того или иного электротехнического устройства для решения проектно-конструкторских задач; теоретическая и практическая подготовка в области электротехники и электроники в такой степени, чтобы они могли выбрать необходимые электротехнические, электронные, электроизмерительные устройства. Уметь правильно их эксплуатировать и составлять совместно с инженерами-электриками технические задания на разработку электрических частей автоматизированных устройств для управления энергетическими установками.

*Решаемые задачи:*

освоение теоретических основ и получение практических навыков по построению моделей и схем замещения электрических цепей, электромагнитных устройств, электрических машин, электронных устройств, а также расчет основных эксплуатационных характеристик электротехнического оборудования, необходимых как при изучении дальнейших специальных дисциплин, так и в практической деятельности техников при работе с технологическим оборудованием, имеющим электрический привод и современные измерительные системы.

Перед изучением каждой темы студент должен ознакомиться по программе с содержанием изучаемого материала. После этого прочесть методические указания к данной теме и материал указанной литературы, относящийся к данной теме, детально разбирая изложенные вопросы.

Полезно при работе с литературой вести конспект, который помогает студенту закрепить в памяти полученные сведения. После проработки какой – либо темы необходимо ответить на вопросы самопроверки, которые даются в конце каждой темы, а также разобрать решения типовых примеров, помещенных в учебнике и настоящем методическом указании.

В системе подготовки специалистов дисциплина занимает важное место, вооружая их теоретическими знаниями и практическими умениями в вопросах составления и расчета электрических цепей.

При изучении курса предусматривается проведение практических занятий, целью которых является углубление и закрепление лекционного материала. Самостоятельные работы предусматривают практическое закрепление лекционного материала на конкретных расчетах, примерах. Самостоятельные работы выполняются в течении учебного семестра по индивидуальным заданиям, выданным преподавателем.

Работы должны быть выполнены самостоятельно вне семинарских занятий. В указанные преподавателем сроки каждая работа предоставляется для проверки и защиты во время консультаций по расписанию.

Самостоятельная работа по дисциплине подразумевает не только изучение теоретических вопросов и решение задач, но и выполнение в семестре лабораторных и расчетно-графических работ, ориентированных на использование измерительной и вычислительной техники. Предмет изучается студентами путем самостоятельной работы над учебниками и учебными пособиями. Обязательным элементом учебного процесса является выполнение лабораторных работ. При самостоятельной работе над учебниками и учебными пособиями рекомендуется придерживаться определенной последовательности. Читая и конспектируя тот или иной раздел учебника, необходимо твердо усвоить основные определения электрических величин и понятий и те закономерности, которыми определяется связь и зависимость одних величин от других.

Формулировки законов и методику вывода их математических выражений надо знать на память. После усвоения соответствующих понятий и закономерностей следует решить примеры и задачи, закрепляя тем самым проработанный теоретический материал, а затем приступить к выполнению контрольных или расчетно-графических работ.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен уметь:

- подбирать устройства электронной техники, электрические приборы и оборудование с определенными параметрами и характеристиками;
- правильно эксплуатировать электрооборудование и механизмы передачи движения технологических машин и аппаратов;
- рассчитывать параметры электрических, магнитных цепей;
- снимать показания электронизмерительных приборов и приспособлений и пользоваться ими;
- собирать электрические схемы;
- читать принципиальные, электрические и монтажные схемы;

**вариативная часть:**

- рассчитывать несимметричные трехфазные цепи;
- рассчитывать цепи переменного тока символическим методом;
- составлять круговые диаграммы цепи.

**знать:**

- классификацию электронных приборов, их устройство и область применения;
- методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей;
- основные законы электротехники;
- основные правила эксплуатации электрооборудования и методы измерения электрических величин;
- основы теории электрических машин, принцип работы типовых электрических устройств;
- основы физических процессов в проводниках, полупроводниках и диэлектриках;
- параметры электрических схем и единицы их измерения;
- принципы выбора электрических и электронных устройств и приборов;
- принципы действия, устройство, основные характеристики электротехнических и электронных устройств и приборов;
- свойства проводников, полупроводников, электроизоляционных, магнитных материалов;
- способы получения, передачи и использования электрической энергии;
- устройство, принцип действия и основные характеристики электротехнических приборов;
- характеристики и параметры электрических и магнитных полей

**вариативная часть:**

- параметры резонанса в электрических цепях;
- законы коммутации;
- общую характеристику нелинейных цепей.

**Перечень формируемых компетенций:**

Общие компетенции (ОК):

- ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.
- ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.
- ОК3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.
- ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.
- ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.
- ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.
- ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.
- ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности

#### **Профессиональные компетенции ПК**

- ПК 1.1. Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования.
- ПК 1.2. Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования.
- ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования.
- ПК 2.1. Организовывать и выполнять работы по эксплуатации, обслуживанию и ремонту бытовой техники.
- ПК 2.2. Осуществлять диагностику и контроль технического состояния бытовой техники.
- ПК 2.3. Прогнозировать отказы, определять ресурсы, обнаруживать дефекты электробытовой техники.

### **1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы**

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Объем часов</b>
Максимальная учебная нагрузка (всего)	174
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)	116
в том числе:	
Лабораторные и практические работы	38
Самостоятельная работа обучающегося (всего)	58
Итоговая аттестация в форме	Экзамен

## 2. Указания к внеаудиторному самостоятельному изучению тем учебно – тематического плана дисциплины

### Тема №1.3, 1.4,1.5

#### *Электрические цепи постоянного тока.*

При изучении материала данной темы необходимо обратить особое внимание на основные закономерности для электрических цепей при наличии в них токов и напряжений, не изменяющихся в зависимости от времени. Прежде всего надо вспомнить из физики единицы измерения электрического тока, напряжения, ЭДС, электрической работы, электрической мощности, электрического сопротивления и проводимости. Кроме того, надо помнить о физических факторах, влияющих на электрические сопротивления и проводимости проводников.

Прежде чем изучать методы расчета электрических цепей, надо ясно представить себе, что электрическая схема любой реальной электрической цепи является ее отображением с той или иной степенью приближения.

Основные законы электрического состояния любой цепи — это законы Ома и Кирхгофа. Для быстрого и правильного расчета электрических цепей с помощью законов Кирхгофа необходимо приобрести навыки в составлении уравнений на основании этих законов.

При расчете разветвленных электрических цепей с источниками электрической энергии приходится чаще всего определять токи в ветвях по заданным ЭДС и сопротивлениям ветвей. Правило составления уравнений на основании этого закона изложено в учебниках и учебных пособиях, указанных в рекомендуемой литературе. Если в результате решения системы уравнений получаются отрицательные значения для токов в каких-либо ветвях, то это означает, что действительные направления токов в соответствующих ветвях не совпадают с первоначально выбранными положительными направлениями. После определения токов во всех ветвях следует показать на схеме их действительные направления.

Чрезвычайно важным свойством линейных электрических цепей является линейная связь между током и напряжением или между токами различных ветвей при изменении сопротивлений этих ветвей от нуля до бесконечности.

#### Вопросы для самопроверки

1) Чем отличаются между собой источники напряжения и тока? Изобразите для них схемы питания двух параллельных приемников.

2) Начертите схему электрической цепи, состоящей из источников питания, потребителя (не содержащего ЭДС) и соединительных проводов. Обозначьте элементы схемы и напишите выражение закона Ома для всей цепи.

3) Напишите закон Ома для участка цепи, содержащего только приемник энергии (пассивный).

4) Напишите обобщенный закон Ома (для активного участка цепи).

5) Сформулируйте законы Кирхгофа и напишите их математические выражения.

6) Два резистора  $R_1$  и  $R_2$  соединены параллельно. Напишите выражение для эквивалентного сопротивления.

7) Напишите выражение для эквивалентного сопротивления трех резисторов ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ), соединенных параллельно.

8) Сформулируйте определения понятий линейной и нелинейной цепей постоянного тока.

9) Начертите вольтамперную характеристику линейного и какого-нибудь нелинейного элементов.

10) Напишите выражение баланса мощности для цепи с несколькими источниками питания и несколькими резисторами.

11) Изложите сущность методов расчета разветвленных цепей с несколькими источниками ЭДС; методы непосредственного применения законов Кирхгофа.

12) Можно ли для контура, содержащего только пассивные элементы, составить уравнение по второму закону Кирхгофа? Какой вид оно будет иметь?

13) Что называется двухполюсником (активным и пассивным)?

14) Изложите сущность метода эквивалентного генератора.

15) Изложите на примере расчета простейшей нелинейной цепи сущность графоаналитического метода.

16) В цепи действует несколько источников питания. Некоторые из них работают в режиме генератора, а остальные в режиме потребителя. По какому признаку определяется режим работы тех и других источников питания?

#### Тема № 1.6.

##### *Электромагнетизм.*

Прежде всего необходимо понять физическую природу и единицы основных магнитных величин.

Различные свойства неферромагнитного и ферромагнитного материалов наглядно иллюстрируются зависимостью  $B(H)$  - основной характеристикой ферромагнитного материала. Для неферромагнитного материала эта зависимость линейна, а для ферромагнитного - нелинейная. В последнем случае она изображается кривой намагничивания или дается в табличной форме.

Основной закон, используемый при расчете магнитных цепей, - закон полного тока. При расчете магнитных цепей различают прямую и обратную задачи. Задача определения  $I_w$  по заданному магнитному потоку  $\Phi$  или индукции  $B$  называется прямой задачей расчета магнитной цепи. Задача определения  $\Phi$  (или  $B$ ) по заданному значению  $I_w$  называется обратной задачей расчета магнитной цепи. Для решения этой задачи применяется метод последовательных приближений или графоаналитический метод.

В начале изучения раздела «Магнитные цепи с переменными магнитными потоками» необходимо обратить внимание на приближенность расчетов таких цепей.

При синусоидальном напряжении на зажимах катушки, кривая тока имеет несинусоидальную форму и, наоборот, в катушке с синусоидальным током на ее зажимах напряжение меняется не по синусоидальному закону.

Формы кривых тока и напряжения в этих случаях зависят от свойств стали и определяются графическим способом. Необходимо запомнить связь и зависимость потерь в магнитопроводе от частоты и индукции магнитного поля. Для анализа процессов в катушках со стальными сердечниками пользуются электрической схемой замещения, параметры которой, за исключением активных сопротивлений, имеют расчетный смысл. Причина этого заключается в том, что электрическая схема замещения (эквивалентная схема) не может заменить в работе реальную катушку, так как изменение одного из параметров катушки (витков, воздушного зазора и т. д.) или приложенного напряжения меняет значение почти всех параметров схемы замещения. Иначе говоря, электрическая схема замещения является эквивалентной только при вполне определенных условиях работы реальной катушки.

При расчете разветвленной симметричной магнитной цепи магнитную систему мысленно разрезают по оси симметрии, после чего задача сводится к расчету последовательной магнитной цепи.

##### *Вопросы для самопроверки*

1) Какой зависимостью характеризуются свойства ферромагнитных материалов? В какой форме она задается?

2) Чему практически равна магнитная проницаемость неферромагнитных материалов?

3) Начертите петлю гистерезиса ферромагнитных материалов и покажите на ней характерные точки остаточной магнитной индукции, коэрцитивной силы.

4) Начертите основную кривую намагничивания для какого-либо ферромагнитного материала (чугун, сталь, электротехническая сталь).

5) Напишите закон полного тока для магнитной цепи и объясните его физическую сущность.

6) Определите, основываясь на законе полного тока для магнитной цепи, напряженность магнитного поля в ферромагнитном кольцевом сердечнике с равномерной обмоткой, число которой равно  $w$ .

7) Начертите схему неразветвленной магнитной цепи с воздушным зазором в ферромагнитном сердечнике. Напишите для нее закон полного тока.

- 8) Изложите метод расчета указанной выше магнитной цепи, если задано значение магнитного потока в воздушном зазоре и требуется определить МДС катушки.
- 9) Изложите метод расчета той же магнитной цепи, если задана МДС катушки и требуется определить значение магнитной индукции в сердечнике.
- 10) Выведите закон Ома для магнитной цепи. Почему это выражение не может быть непосредственно использовано для расчета магнитной цепи?
- 11) Начертите вольт-амперную характеристику катушки с ферромагнитным сердечником и постройте на том же графике кривую индуктивности.
- 12) Постройте кривую тока  $i(t)$  в катушке с ферромагнитным сердечником, если напряжение на ее зажимах синусоидально.

### Тема № 1.7.

#### *Электрические измерения.*

Электроизмерительные приборы подразделяются на приборы непосредственной оценки и приборы, работающие по методу сравнения. К первой группе относятся, в частности, наиболее распространенные приборы: амперметры, вольтметры, ваттметры, счетчики.

Приборы непосредственной оценки подразделяются на системы в зависимости от того, на каком принципе создается вращающий момент в измерительном механизме. Наиболее употребительные системы магнитоэлектрическая, электромагнитная, электродинамическая, индукционная.

Качество (точность) электроизмерительного прибора оценивается приведенной основной погрешностью, под которой понимают отношение абсолютной погрешности прибора к пределу измерения данного прибора.

Электроизмерительные приборы непосредственной оценки имеют следующие классы точности: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Каждый класс точности характеризуется допустимой приведенной основной погрешностью. Выраженная в процентах, эта погрешность соответствует классу точности.

Для различения и правильного использования систем приборов на их шкалах наносят обозначения, указывающие систему прибора, класс точности, род тока, способ установки, напряжение испытания изоляции.

Для повышения точности измерения следует выбирать прибор с таким пределом измерения, чтобы значение измеряемой величины лежало в правой части шкалы.

На ваттметрах у зажимов имеется обозначение "звездочка", служащее для того, чтобы отличать "начало" обмоток ваттметра от их "концов". Только при соблюдении определенных направлений токов в катушках стрелка будет отклоняться в нужную сторону. К зажимам с обозначением "звездочка" должны присоединяться провода, идущие к источнику питания, а не к нагрузке. При несоблюдении этого условия стрелка будет стремиться отклониться влево, за нуль шкалы.

Измерение незлектрических величин возможно при условии преобразования их в электрические величины. Нужно усвоить принципы действия основных преобразователей (датчиков). На примере мостовой схемы следует усвоить принципы измерения незлектрических величин.

Необходимо уяснить принципиальные отличия аналоговых измерительных приборов (непрерывного действия) от цифровых (дискретного действия).

#### *Вопросы для самопроверки*

- 1) Сформулируйте определения понятий абсолютной, относительной и приведенной погрешностей. Какой из этих погрешностей оценивается точность измерительного прибора?
- 2) Поясните типовые обозначения на шкале прибора. Как определить цену деления прибора?
- 3) Изобразите схематически устройства приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и индукционной систем и объясните принципы их работы.
- 4) В чем различие между приборами электродинамической и ферродинамической систем? К приборам какой системы относятся ваттметры?
- 5) Начертите схему включения в цепь ваттметра, предназначенного для измерения активной мощности, потребляемой приемником.



- 6) Начертите схему включения ваттметра для измерения активной мощности в трехфазной цепи при симметричной нагрузке, отсутствии нейтрального провода и недоступности нейтральной точки.
- 7) Начертите схему измерения активной мощности в трехфазной трехпроводной цепи по способу двух ваттметров.
- 8) Почему сопротивление амперметра должно быть мало, а сопротивление вольтметра - велико?
- 9) Что покажет вольтметр, включенный в цепь последовательно?
- 10) Что произойдет, если ошибочно включить амперметр в цепь параллельно?
- 11) Для чего служит добавочное сопротивление в вольтметре? Выведите формулу для определения значения этого сопротивления.
- 12) Для чего служит шунт в амперметре? Выведите формулу для определения значения сопротивления шунта.
- 13) Изобразите схему измерения напряжения с помощью трансформатора напряжения и напишите формулу для определения искомого напряжения.
- 14) Изобразите схему измерения тока с помощью трансформатора тока и напишите формулу для определения искомого тока.

### Тема № 1.5

#### *Цепи однофазного переменного тока*

При изучении материала этой темы необходимо твердо усвоить основные понятия и определения мгновенных и действующих значений переменных токов и напряжений. Расчет электрических цепей при синусоидальных токах и напряжениях значительно упрощается с помощью комплексных чисел. Поэтому необходимо особенно детально изучить и понять принцип изображения векторов синусоидальных колебаний в виде комплексов в осях комплексной плоскости и обратный переход - от комплексов тока и напряжения к их мгновенным значениям. Комплексные числа можно также представить как векторы на комплексной плоскости. Алгебраические действия над синусоидальными величинами можно заменить действиями над комплексными величинами или над векторами. Поэтому алгебра комплексных чисел является основным математическим аппаратом при расчете цепей однофазного синусоидального тока, а векторная алгебра - наглядным средством изображения синусоидально изменяющихся величин.

При расчете цепей синусоидального тока, в отличие от расчета цепей постоянного тока, необходимо учитывать не один, а три пассивных элемента: резистивный, индуктивный и емкостный, которые характеризуются соответственно активным сопротивлением  $R$ , индуктивностью  $L$  (индуктивным сопротивлением  $X_L = \omega L$ ) емкостью  $C$  (емкостным сопротивлением  $X_C = 1/\omega C$ ), где  $\omega$  - угловая частота.

Индуктивное  $X_L$  и емкостное  $X_C$  сопротивления определяют не только значения токов в цепи, но также сдвиг фаз между напряжениями и токами.

Надо запомнить, что ток в активном сопротивлении совпадает по фазе с напряжением на его зажимах, ток в индуктивности отстает, а в емкости - опережает напряжение на четверть периода. При изучении свойств идеализированных элементов электрических цепей следует также обратить внимание на то, что реактивные сопротивления индуктивности и емкости есть функции частоты и, по существу говоря, с помощью этих сопротивлений учитывается влияние ЭДС самоиндукции и токов смещения на режим цепи.

Важным вопросом этой темы является рассмотрение параметров реальных катушек, конденсаторов и сопротивлений.

Все методы расчета линейных электрических цепей при постоянных токах и напряжениях целиком распространяются на электрические цепи без взаимной индукции при синусоидальных токах и напряжениях. Для этого достаточно соответствующие уравнения, определяющие электрическое состояние цепи, написать в комплексной форме; при этом все токи и сопротивления должны входить в уравнения электрического состояния в виде комплексных.

Чрезвычайно полезной иллюстрацией расчета любой электрической цепи является ее топографическая диаграмма, которая должна строиться так, чтобы указанным точкам схемы

соответствовали вполне определенные точки на векторной диаграмме. Такая диаграмма позволяет находить графическим путем напряжения между любыми точками электрической цепи без дополнительных вычислений.

При изучении материала этой темы следует также обратить особое внимание на резонансные явления в последовательных и параллельных цепях. Резонансные явления широко применяются в самых разнообразных радиотехнических устройствах.

Явление резонанса токов также используется для уменьшения угла сдвига фаз (улучшения коэффициента мощности) между токами и напряжениями трансформаторов и генераторов, что в свою очередь приводит, как правило, к уменьшению потерь электрической энергии в распределительных сетях и к возможности увеличения активной нагрузки генераторов.

Основными законами, применяемыми для расчета электрических цепей, являются законы Кирхгофа.

#### Вопросы для самопроверки

- 1) Сформулируйте определение понятия действующего значения синусоидального тока.
- 2) Найдите графически сумму двух периодических синусоидальных токов. Определите действующее значение и начальную фазу суммарного тока. Решите эту задачу построением векторной диаграммы токов.
- 3) Мгновенное значение тока  $i = 2,82 \times \sin 314t$ . Запишите действующее значение тока в комплексной форме.
- 4) Как осуществить переход от алгебраической формы записи комплексного тока  $I \& = I' + jI''$  к мгновенному значению?
- 5) Как зависят индуктивное и емкостное сопротивления от частоты?
- 6) От чего зависит угол сдвига фаз в электрической цепи однофазного синусоидального тока?
- 7) Почему при постоянном токе включение в цепь конденсатора равносильно разрыву в цепи, а при переменном токе цепь остается замкнутой (ток через емкость проходит)?
- 8) Напишите выражение для действующего значения тока в цепи, состоящей из последовательно соединенных элементов R и L (а также R и C), если к зажимам цепи приложено напряжение  $u = U_m \sin(\omega t + \psi_i)$ . Постройте векторную диаграмму.
- 9) Напишите выражение для действующего значения напряжения на зажимах цепи, состоящей из катушки с активным сопротивлением R и индуктивностью L, если мгновенное значение тока  $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ . Начертите векторную диаграмму.
- 10) В цепь включены последовательно две катушки с параметрами  $R_k = 3 \text{ Ом}$ ,  $L_k = 0,0125 \text{ Гн}$ ,  $f = 50 \text{ Гц}$  и конденсатор емкостью  $C = 39,8 \text{ мкФ}$ . Действующее значение приложенного напряжения  $U = 50 \text{ В}$ . Напишите выражения для действующего значения тока и коэффициента мощности цепи. Постройте векторную диаграмму.
- 11) Определите условия наступления в цепи резонанса напряжений и начертите для этого режима векторную диаграмму.
- 12) Напишите закон Ома и законы Кирхгофа в комплексной форме, а также выражение эквивалентного комплексного сопротивления для смешанного соединения сопротивлений.
- 13) Начертите треугольники сопротивлений и проводимостей и выведите формулы перехода от сопротивлений к проводимостям и обратно.
- 14) Выведите формулу емкости, которая должна быть включена параллельно потребителю для повышения коэффициента мощности цепи.
- 15) Начертите треугольник мощностей и напишите формулы для расчета мощностей.
- 16) ЭДС катушки равна 10 В. Чему равен ток, протекающий через нее, если индуктивность  $L_k = 0,016 \text{ Гн}$  и частота тока  $\omega = 50 \text{ Гц}$ ? Указание. Активным сопротивлением катушки пренебречь.
- 17) Изобразите простейшую схему фазосдвигающего устройства и напишите в комплексном виде выражения для напряжения на выходе цепи.

## Тема № 1.8

### *Трехфазные цепи переменного тока.*

При изучении материала этой темы необходимо в самом начале обратить внимание на связь между фазными и линейными токами, а также между фазными и линейными напряжениями для соединенной звездой и треугольником как при симметричной, так и при несимметричной нагрузке. В частности для звезды при любой нагрузке сумма линейных напряжений равна нулю, а для треугольника - сумма линейных токов всегда равна нулю

В уравновешенной многофазной системе сумма мгновенных мощностей всех фаз не зависит от времени и равна числу фаз системы, умноженному на среднюю мощность одной фазы. Следует сравнить кривые суммарной мгновенной мощности трехфазной системы при симметричной и несимметричной нагрузке и установить принципиальное различие в этих кривых.

При расчете несимметричных трехфазных цепей со статической нагрузкой (не имеющей вращающихся частей электрических машин) рекомендуется строить векторные топографические диаграммы, которые дают во многих случаях наглядное представление о соотношениях между напряжениями и токами в различных участках цепи.

Необходимо обратить особое внимание на способы определения последовательности фаз для трехфазной системы, а также на измерение мощности с помощью двух ваттметров. Необходимо подчеркнуть, что схема с двумя ваттметрами получила широкое распространение в электротехнической практике.

#### Вопросы для самопроверки

- 1) В трехфазную линию включены два приемника по схеме "треугольник". Начертите соответствующую схему и введите в нее измерительные приборы для измерения линейных и фазных токов и напряжений.
- 2) Начертите такую же схему для приемников, соединенных по схеме "звезда" с нейтральным проводом.
- 3) Напишите выражения для мгновенных значений напряжений, образующих трехфазную симметричную систему (для фазы А начальную фазу напряжения принять равной нулю).
- 4) Напишите выражения для мгновенных значений токов, образующих симметричную трехфазную систему, если начальная фаза тока в фазе А равна  $30^\circ$ .
- 5) Приемник соединен треугольником. В фазу А включен реостат, в фазу В - катушка (L, R), в фазу С - конденсатор. Начертите топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.
- 6) Действующее значение линейного тока в симметричном приемнике, соединенном по схеме "звезда" без нейтрального провода, равно I. В одном из линейных проводов произошел обрыв. Чему равны токи в двух других линейных проводах?
- 7) Напишите выражения для активной, реактивной и полной мощностей трехфазной системы.
- 8) К трехфазной линии подключен электродвигатель. Для повышения коэффициента мощности цепи подключены статические конденсаторы, соединенные треугольником. Начертите соответствующую схему.
- 9) Трехфазный приемник соединен по схеме "звезда" с нейтральным проводом. Фазные токи в приемнике равны соответственно 50, 80 и 20 А и сдвинуты относительно фазных напряжений соответственно на углы  $-30^\circ$ ,  $-60^\circ$  и  $+60^\circ$ . Начертите топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.
- 10) Изобразите топографическую векторную диаграмму напряжений покажите на ней векторы токов для трехфазной системы, соединенной по схем "звезда" с нейтральным проводом, если в одну фазу включен резистор с сопротивлением R, а в две другие - катушки с индуктивностями L1 и L2
- 11) Изобразите топографическую векторную диаграмму напряжений и покажите на ней векторы токов для трехфазной системы, соединенной треугольником, если в одну фазу включен элемент с параметром R, во вторую - с параметром L, и в третью - с параметром C.
- 12) Изобразите схему компенсации реактивной мощности для повышения коэффициента мощности трехфазной системы.

## Тема № 1.9

### *Трансформаторы.*

Прежде чем приступить к изучению раздела о трансформаторах, необходимо повторить основной закон электромагнетизма – закон электромагнитной индукции - и явления самоиндукции и взаимной индукции, которые лежат в основе принципа работы трансформатора.

Режим холостого хода для первичной обмотки трансформатора аналогичен режиму работы катушки с ферромагнитным сердечником, поэтому этот раздел курса также следует повторить перед изучением темы.

В электротехнике коэффициентом трансформации  $k$  называется отношение номинального высшего напряжения трансформатора к номинальному низшему напряжению, т.е.  $k = U_{вн} / U_{нн}$  причем под номинальными понимают напряжения на обмотках трансформатора, работающего в режиме холостого хода.

Под номинальной мощностью трансформатора понимают его полную мощность  $S_n$  в номинальном режиме.

В работе трансформатора важное значение имеет то положение, что при изменении его нагрузки при постоянном первичном напряжении магнитный поток можно считать практически постоянным, поскольку  $U_1 = 4,44fW_1 \times \Phi_m$ .

Для анализа работы трансформатора применяется такая электрическая схема замещения, в которой отсутствует магнитная связь и величины, характеризующие эту связь, заменены электрическими параметрами. Замечания о свойствах схемы замещения катушки со стальным сердечником целиком относятся и к схеме замещения трансформатора.

#### *Вопросы для самопроверки*

- 1) Изобразите (схематически) однофазный трансформатор и объясните принцип его работы.
- 2) Выведите выражения для действующих ЭДС, наводимых в первичной и вторичной обмотках трансформатора основным магнитным потоком.
- 3) В чем состоит режим холостого хода трансформатора? Начертите векторную диаграмму режима холостого хода.
- 4) Что называют коэффициентом трансформации трансформатора?
- 5) Почему на сердечнике трансформатора обмотки высшего и низшего напряжений размещают на общем стержне?
- 6) Напишите уравнение МДС трансформатора.
- 7) В чем состоит явление рассеяния в трансформаторе? Как выражается ЭДС рассеяния обмоток?
- 8) Напишите уравнения напряжений (уравнения электрического состояния) для первичной и вторичной обмоток и объясните смысл каждого из членов этих уравнений.
- 9) Начертите схему замещения трансформатора. Что называют приведенными величинами вторичной обмотки?
- 10) Начертите схему опыта холостого хода трансформатора и объясните, какие величины определяются в этом опыте.
- 11) Почему в опыте холостого хода мощность потерь в меди настолько мала, что ею можно пренебречь?
- 12) Начертите схему опыта короткого замыкания трансформатора и объясните, какие величины определяются в этом опыте.
- 13) Почему в опыте короткого замыкания мощность потерь в стали настолько мала, что ею можно пренебречь?
- 14) Сформулируйте определение напряжения короткого замыкания; назовите его примерное значение.
- 15) Напишите общее выражение для КПД трансформатора с учетом относительного значения вторичного тока (с учетом коэффициента нагрузки).
- 16) Как осуществляется трансформирование трехфазной цепи?
- 17) Начертите схему автотрансформатора — однофазного и трехфазного. Каковы преимущества и недостатки автотрансформатора?
- 18) Изобразите условно-логическую схему и объясните по ней принцип работы трансформатора.

## Тема № 1.10

### Электрические машины переменного тока

#### Асинхронные двигатели

Асинхронные двигатели относятся к классу электрических машин переменного тока. В отличие от машин постоянного тока магнитное поле возбуждается в них трехфазной системой переменного тока.

В данной теме рассматривается одно из чрезвычайно важных явлений - вращающееся магнитное поле. Это явление положено в основу работы трехфазных асинхронных двигателей, получивших широкое распространение в промышленности. Необходимо изучить это явление во всех деталях и в частности выяснить условия, при которых получается вращающееся магнитное поле. Следует понять и запомнить, что для получения вращающегося магнитного поля необходимо иметь систему катушек, сдвинутых в пространстве, с токами, не совпадающими по фазе. Отсутствие одного из этих условий не дает вращающегося магнитного поля.

Асинхронные двигатели включаются в трехфазную сеть по схемам – звезда и треугольник, все расчеты электрических параметров (токов в обмотках и потребляемого тока, потребляемой мощности) проводятся, как это было рассмотрено в трехфазных цепях.

Необходимо четко представлять, что для создания вращающегося момента в двигателе, требуется наличие тока ротора, который образуется от ЭДС ротора, возникающей из-за разности скоростей магнитного поля и ротора – поэтому двигатель называется асинхронным. Частота вращения  $n_1$  магнитного поля больше частоты вращения  $n_2$  ротора. Относительная разность этих частот  $s = (n_1 - n_2)/n_1$  называется скольжением и существенно зависит от нагрузки двигателя.

Необходимо усвоить связь между ЭДС, частотой тока и индуктивным сопротивлением вращающегося и неподвижного ротора – при пуске  $s = 1$ , а индуктивное сопротивление ротора максимально.

Основной характеристикой является механическая характеристика  $n_2(M)$ , которая имеет достаточно сложный вид. Построение этой характеристики по паспортным данным двигателя является одной из основных задач данной темы.

#### Синхронные машины

В теории синхронных машин важное место отводится работе синхронной машины, присоединенной к сети, которая питается мощными генераторами. Исходят из предположения, что общая мощность генераторов несоизмеримо велика по сравнению с мощностью синхронной машины (сеть большой мощности). В соответствии с этим считают, что любое изменение режима работы рассматриваемой машины не в состоянии оказать заметного влияния на электрическое состояние сети, которое можно, следовательно, считать неизменным.

Синхронная машина, присоединенная к сети, может работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя. В обоих режимах вращение ротора происходит с синхронной частотой без каких-либо устройств для поддержания синхронизма.

Изучение процессов, происходящих в синхронной машине, можно существенно облегчить, если воспользоваться механической моделью.

Трехфазная система токов в обмотке якоря создает вращающееся магнитное поле. Это поле может быть заменено полюсной системой, скользящей вдоль внутренней поверхности статора с постоянной угловой скоростью, равной частоте вращения магнитного поля. Две вращающиеся полюсные системы - ротора и воображаемая, эквивалентная вращающемуся магнитному полю - статора, неподвижны одна относительно другой. Между ними возникают силы магнитного притяжения, которые могут быть уподоблены упругим связям, соединяющим обе системы. Благодаря этим связям достигается синхронность вращения ротора и магнитного поля. В случае повышения известного предела нагрузки машины происходит разрыв упругих связей. В результате частота вращения ротора становится не зависящей от частоты вращения магнитного поля. Это явление называется выпадением из синхронизма. Работа синхронной машины в таком режиме невозможна.

Упругие связи между двумя вращающимися полюсными системами могут появиться только в случае, если обе системы вращаются синхронно, а их полюсы расположены надлежащим образом - полюс одной системы против полюса другой системы.

Очень важную роль в синхронной машине играет реакция якоря, т.е. воздействие магнитодвижущей силы якоря на основное магнитное поле, создаваемое МДС возбуждения ротора. Магнитный поток создается магнитодвижущей силой, которая складывается из МДС обмотки возбуждения и МДС обмотки якоря. Для неизменности амплитудного значения магнитного потока необходимо, чтобы результирующая магнитодвижущая сила также оставалась неизменной. Всякое изменение тока в обмотке возбуждения ротора влечет за собой изменение значения и фазы тока в обмотке якоря и соответственное изменение МДС обмотки якоря. В частности, если вследствие увеличения тока в обмотке возбуждения ЭДС якоря станет (по модулю) больше, чем напряжение в сети ("перевозбуждение"), то синхронная машина, работающая в режиме двигателя, будет принуждена к потреблению из сети тока, опережающего по фазе напряжение сети. Иначе говоря, синхронный двигатель в этих условиях представляет собой активно-емкостную нагрузку.

#### Вопросы для самопроверки

- 1) Изобразите схематически устройство асинхронной машины.
- 2) Как происходит возбуждение вращающегося магнитного поля трехфазной системой токов?
- 3) Объясните принцип работы асинхронного двигателя по условно-логической схеме.
- 4) Что называется скольжением в асинхронном двигателе? Как измеряется скольжение?
- 5) Как зависит частота вращения вращающегося магнитного поля от частоты напряжения питающей сети и конструкции обмотки статора? Какая максимальная частота вращения ротора возможна при частоте в сети 50 Гц?
- 6) Как осуществить изменение направления вращения ротора двигателя?
- 7) Чему равна частота ЭДС в роторе, если частота в сети равна 50 Гц, а скольжение составляет 2 %?
- 8) При каких условиях асинхронная машина работает в режиме: а) генератора; б) электромагнитного тормоза?
- 9) Напишите выражения для ЭДС, наводимой в неподвижном и вращающемся роторах.
- 10) Выведите выражение для вращающего момента двигателя. Начертите кривую  $M(s)$ .
- 11) Какая часть кривой  $M(s)$  соответствует устойчивой работе двигателя и какая - неустойчивой?
- 12) Что называется механической характеристикой электродвигателя? Начертите естественную механическую характеристику асинхронного двигателя.
- 13) Как влияет значение сопротивления цепи ротора на пусковые свойства асинхронного двигателя?
- 14) Какие существуют пути уменьшения пускового тока в асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором?
- 15) Перечислите возможные способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя.
- 16) Начертите искусственную механическую характеристику асинхронного двигателя с фазным ротором при регулировании частоты вращения путем включения реостата в цепь ротора.
- 17) Начертите искусственные механические характеристики двигателя при регулировании частоты вращения путем изменения частоты питающего напряжения.
- 18) Начертите искусственные механические характеристики двигателя при регулировании частоты вращения путем изменения числа пар полюсов.

### **Тема № 1.9, 1.10**

#### *Электрические машины постоянного тока*

#### *Основы электропривода.*

При изучении данной темы прежде всего необходимо усвоить принцип действия генератора и двигателя постоянного тока, предварительно повторив из курса физики закон электромагнитной индукции (ЭМИ) – закон Фарадея и закон электромагнитной силы (ЭМС) - закон Ампера. Следует

уяснить принцип обратимости применительно к машине постоянного тока, обратив внимание на роль противодействующего и вращающего моментов, напряжения и ЭДС машины.

Основными величинами, характеризующими работу машины постоянного тока, являются: вырабатываемая мощность  $P$ , напряжение на зажимах  $U$ , ток возбуждения  $I_b$  ток якоря  $I_a$ , частота вращения  $n$ , электромагнитный момент  $M_{эм}$ .

Основные зависимости, полученные из закона электромагнитной индукции и закона электромагнитной силы описываются равенствами:

$$E_a = C\Phi, M = C\Phi I_a$$

Важнейшей для двигателя является механическая характеристика  $n(M)$  - зависимость частоты вращения от момента на валу. Она показывает влияние механической нагрузки на валу двигателя на частоту вращения, что особенно важно знать при выборе и эксплуатации двигателей.

Механические характеристики могут быть естественными и искусственными. Под естественными понимают характеристики, снятые при отсутствии в схеме каких-либо дополнительных сопротивлений, под искусственными - при наличии таких сопротивлений.

К пуску двигателя предъявляются два основных требования: обеспечить необходимый для трогания с места и разгона якоря вращающий момент; не допускать при пуске протекания через якорь чрезмерно большого тока, опасного для двигателя. Практически возможны три способа пуска: прямой пуск, пуск при включении реостата в цепь якоря и пуск при пониженном напряжении в цепи якоря.

Характеристики двигателей постоянного тока зависят от схемы включения обмотки возбуждения по отношению к обмотке якоря. Различают двигатели с независимым, параллельным, последовательным и смешанным включением обмотки возбуждения. Все эти схемы надо знать на память.

Особое внимание следует обратить на механические свойства двигателей постоянного тока. Только зная эти свойства, можно решить вопрос о пригодности того или иного двигателя постоянного тока для привода определенного механизма. Лишь на основе этих свойств станет понятно, почему для привода металлорежущего станка применяется двигатель параллельного возбуждения, а для привода подъемного механизма – двигатель последовательного возбуждения.

#### Вопросы для самопроверки

- 1) Изобразите схематически устройство машины постоянного тока.
- 2) Объясните принцип работы машины постоянного тока в качестве генератора и двигателя.
- 3) Объясните устройство и назначение коллектора.
- 4) Начертите характеристику холостого хода. Объясните, почему при токе возбуждения, равном нулю, ЭДС якоря не равна нулю.
- 5) Изобразите картину магнитного поля в машине постоянного тока для трех случаев: а) при холостом ходе (ток в обмотке якоря отсутствует) ; б) при наличии тока только в обмотке якоря; в) при наличии тока в обеих обмотках (возбуждения и якоря).
- 6) Объясните сущность явления реакции якоря. Как она влияет на работу машины?
- 7) Что называется коммутацией в машине постоянного тока? Какие процессы с нею связаны?
- 8) Какие существуют средства ослабления влияния реакции якоря? Какие существуют способы улучшения коммутации?
- 9) Напишите уравнения по второму закону Кирхгофа для цепи якоря машины, работающей в режимах генератора и двигателя.
- 10) Начертите электрическую схему машины постоянного тока с параллельным и последовательным возбуждением.
- 11) Напишите уравнения по первому закону Кирхгофа для машины с параллельным возбуждением, работающей в режимах генератора и двигателя.
- 12) Изобразите графически зависимости  $n(M)$  для машин с параллельным и последовательным возбуждением.
- 13) Напишите формулы механических характеристик двигателей с параллельным и последовательным возбуждением.

14) Перечислите способы регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока и укажите их преимущества и недостатки.

15) Начертите в общей системе координатных осей три механические характеристики двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением — естественную и две искусственные: а) при включении реостата в цепь якоря; б) при включении регулировочного реостата в цепь обмотки возбуждения.

16) Изобразите схему включения двигателя с параллельным возбуждением, позволяющую реверсировать двигатель.

17) Изобразите условно-логическую схему генератора постоянного тока независимого возбуждения и объясните по ней принцип его работы.

## Тема № 2.1

### *Физические основы электроники. Полупроводниковые приборы.*

Прежде, чем приступать к изучению данной темы, необходимо вспомнить из курса физики свойства полупроводниковых материалов, примесную проводимость: материалы с р - проводимостью и с п - проводимостью.

Полупроводниковые материалы (германий, кремний) по своему удельному электрическому сопротивлению занимают место между проводниками и диэлектриками. Разная величина проводимости у металлов, полупроводников и диэлектриков обусловлена разной величиной энергии, которую надо затратить на то, чтобы освободить валентный электрон от связей с атомами, расположенными в узлах кристаллической решетки. Причем проводимость полупроводников в значительной степени зависит от наличия примесей и температуры.

В полупроводниках присутствуют подвижные носители заряда двух типов: отрицательные электроны и положительные дырки. Если валентный электрон разорвал ковалентную связь и стал свободным, то в том месте, где он находился, будет преобладать положительный заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона. Эти вакантные места, появляющиеся в валентных связях, называются дырками. Процесс возникновения свободного электрона и дырки называется генерацией. Свободный электрон может занять дырку и вновь стать валентным. Процесс, приводящий к исчезновению свободного электрона и дырки, называется рекомбинацией.

Если в кристаллическую решетку 4-валентного кремния ввести примесь 5-валентного элемента (фосфора P, сурьмы Sb, мышьяка As), то четыре валентных электрона каждого примесного атома примут участие в образовании ковалентных связей с четырьмя соседними атомами кремния, а пятый валентный электрон окажется избыточным. Он слабо связан с атомом и легко превращается в свободный. При этом атом примеси превращается в положительный неподвижный ион. Увеличение концентрации свободных электронов увеличивает вероятность рекомбинации, поэтому концентрация дырок уменьшается. При нормальной температуре практически все атомы примеси превращаются в положительные неподвижные ионы, а число свободных электронов значительно превышает число дырок. Основными носителями заряда в таких полупроводниках являются электроны, поэтому такой полупроводник называется полупроводником п - типа (электронного типа). Неосновными носителями заряда в нем являются дырки. Примеси, атомы которых отдают электроны, называют донорами.

При введении примеси 3-валентного элемента (бора B, индия In алюминия Al) три валентных электрона каждого атома примеси принимают участие в образовании только трех ковалентных связей, а для четвертой связи атом примеси забирает электрон из какой-либо другой связи между атомами кремния, образуя при этом дырку. Атом примеси превращается в отрицательный неподвижный ион. Таким образом, 3-валентная примесь увеличивает концентрацию дырок, что свою очередь уменьшает концентрацию электронов. Основными носителями заряда таких полупроводников являются дырки, поэтому полупроводник называется полупроводником р - типа (дырочного типа). Неосновными носителями заряда являются электроны.

Примеси, отбирающие электроны, называются акцепторами. Чтобы примесная проводимость преобладала над собственной концентрация атомов примеси N должна превышать концентраций



электронов  $p_i$  и дырок  $p_j$  в собственном полупроводнике ( $p_i = p_j$ ). Практически всегда  $N$  гораздо больше  $p_i$  и  $p_j$ .

Концентрация основных носителей определяется концентрацией примеси и практически не зависит от температуры, так как уже при комнатной температуре все атомы примеси ионизированы, а число основных носителей, возникающих за счет генерации пар электрон-дырка, пренебрежимо мало по сравнению с общим числом основных носителей. В то же время концентрация неосновных носителей мала и сильно зависит от температуры, увеличиваясь в 2—3 раза при увеличении температуры на каждые  $10^\circ\text{C}$ .

Особое внимание необходимо обратить на принцип действия и характеристику  $p$ - $n$  перехода, т.к. именно они определяют свойства полупроводниковых приборов.

Полупроводниковым диодом называется электропреобразовательный полупроводниковый прибор с одним выпрямляющим электрическим переходом, имеющий два вывода.

Структура полупроводникового диода с электронно-дырочным переходом (а) и его условное графическое обозначение (б) приведены на рисунке

Буквами  $p$  и  $n$  обозначены слои полупроводника с проводимостями соответственно  $p$ -типа и  $n$ -типа.

Обычно концентрации основных носителей заряда (дырок в слое  $p$  и электронов в слое  $n$ ) сильно различаются. Слой полупроводника, имеющий большую концентрацию, называют эмиттером, а имеющий меньшую концентрацию, - базой.

Далее необходимо рассмотреть основные элементы диода ( $p$ - $n$ -переход и невыпрямляющий контакт металл-полупроводник), физические явления, лежащие в основе работы диода, а также важные понятия, используемые для описания диода. Глубокое понимание физических явлений и владение указанными понятиями необходимо не только для того, чтобы правильно выбирать конкретные типы диодов, но и для того, чтобы определять режимы работы соответствующих схем при выполнении традиционных расчетов по той или иной методике. В связи с быстрым внедрением в практику инженерной работы современных систем схемотехнического моделирования эти явления и понятия приходится постоянно иметь в виду.

Транзистор - нелинейный элемент, обладающий усилительными свойствами, является основным элементом усилителей - электронных устройств, предназначенных для усиления напряжения, тока или мощности слабых входных электрических колебаний (сигналов) за счет энергии источника питания. Управление процессом усиления осуществляется входным сигналом, воздействующим на транзистор. В полупроводниковой технике применяют два вида транзисторов - биполярные и полевые.

Биполярный транзистор - это электропреобразовательный полупроводниковый прибор с двумя  $p$ - $n$  переходами и тремя выводами (эмиттер, база и коллектор), пригодный для усиления мощности. Термин "биполярный" говорит о наличии в транзисторах данного класса двух различных типов носителей заряда - электронов и дырок, что связано со свойствами полупроводника. В зависимости от порядка чередования областей с дырочной ( $p$ ) и электронной ( $n$ ) проводимостями, образующих  $p$ - $n$  переходы, различают транзисторы двух типов.

Включение транзистора в электронную схему производится таким образом, что один его электрод является общим для входной и выходной цепей, в соответствии с этим возможны три схемы включения транзистора: а) с общим эмиттером (с ОЭ); б) с общим коллектором (с ОК); в) с общей базой (с ОБ). Наиболее распространенная схема с ОЭ.

Далее представляется важным изучение основных характеристик транзистора, которые определяют свойства устройств, выполненных на основе этих транзисторов. Основные характеристики транзистора по схеме с общим эмиттером - вольтамперные (ВАХ):

входные (базовые) - зависимости тока  $I_b$  от напряжения на входе цепи  $U_{бэ}$  при различных значениях напряжения между коллектором и эмиттером  $U_{кэ}$ ;

выходные (коллекторные) - зависимости тока  $I_k$  от напряжения между коллектором и эмиттером  $U_{кэ}$  при различных токах базы  $I_b$ .

Полевыми транзисторами называют активные полупроводниковые приборы, в которых выходным током управляют с помощью электрического поля (в биполярных транзисторах выходной ток управляется входным током).

Полевые транзисторы называют также униполярными, так как в процессе протекания электрического тока участвуют только основные носители.

Различают два вида полевых транзисторов: с управляющим переходом и с изолированным затвором.

Для полевого транзистора, как и для биполярного, выделяют три схемы включения. Для полевого транзистора это схемы с общим затвором (ОЗ), общим истоком (ОИ) и общим стоком (ОС). Наиболее часто используются схемы с общим истоком.

*Тиристорами* называют полупроводниковые приборы с двумя устойчивыми режимами работы (включен, выключен), имеющие три или более *p-n*-переходов.

Тиристор по своему принципу - прибор ключевого действия. Во включенном состоянии он подобен замкнутому ключу, а в выключенное - разомкнутому ключу. Те тиристоры, которые не имеют специальных электродов для подачи сигналов с целью изменения состояния, а имеют только два силовых электрода (анод и катод), называются неуправляемыми, или диодными тиристорами (динисторами). Иные тиристоры называют управляемыми тиристорами или просто тиристорами. Они являются основными элементами в силовых устройствах электроники, которые называют также устройствами преобразовательной техники. Типичными представителями таких устройств являются управляемые выпрямители (преобразует переменное напряжение в однонаправленное) и инверторов (преобразуют постоянное напряжение в переменное). Динисторы, как правило, используются в слаботочных импульсных устройствах.

Интегральная схема (ИС) - микронизированное изделие (т. е. изделие с высокой степенью миниатюризации), выполняющее определенную функцию преобразования и обработки сигнала и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов) и (или) кристаллов, которое рассматривается как единое целое.

Элемент интегральной схемы - часть интегральной схемы, реализующая функцию какого-либо полупроводникового прибора (резистора, диода, транзистора и т. д.), причем эта часть выполнена нераздельно от других частей и не может быть выделена как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации.

Компонент интегральной схемы в отличие от элемента может быть выделен как самостоятельное изделие с указанной выше точки зрения.

По конструктивно-технологическим признакам интегральные схемы обычно разделяют на: полупроводниковые; гибридные; пленочные.

В полупроводниковой схеме все элементы и межэлементные соединения выполнены в объеме или на поверхности полупроводника. В таких схемах нет компонентов. Это наиболее распространенная разновидность интегральных схем.

Интегральную схему называют гибридной, если она содержит компоненты и (или) отдельные кристаллы полупроводника.

В пленочных интегральных схемах отдельные элементы и межэлементные соединения выполняются на поверхности диэлектрика (обычно используется керамика). При этом применяются различные технологии нанесения пленок из соответствующих материалов.

Интегральные схемы подразделяют на аналоговые (операционные усилители, источники вторичного электропитания и др.) и цифровые (логические элементы, триггеры и т. п.).

#### Вопросы для самопроверки

- 1) Назовите два основных материала, используемые в полупроводниковой технике и охарактеризуйте их.
- 2) Какой проводимостью обладают полупроводники?
- 3) Назовите основное свойство *p-n*-перехода.
- 4) Какие приборы строятся на базе одного *p-n*-перехода?
- 5) Перечислите и охарактеризуйте основные виды полупроводниковых диодов?
- 6) Приведите вольт-амперную характеристику (ВАХ) диода и поясните ее участки.

- 7) Поясните принцип действия биполярного транзистора.
- 8) Назовите и охарактеризуйте режимы работы биполярного транзистора.
- 9) Проведите сравнение включения биполярного транзистора по схемам с ОЭ, ОБ и ОК.
- 10) Поясните принцип действия полевого транзистора.
- 11) Для чего предназначен тиристор?
- 12) В чем суть элементарной интеграции? Назовите виды интегральных микросхем.

#### Тема № 2.1, 2.2, 2.3, 2.4

##### *Электронные приборы.*

К одним из важных электронных устройств относятся преобразовательные устройства, предназначенные для получения напряжения, необходимого для непосредственного питания электронных и других устройств, которые называются вторичные источники питания. Они являются одними из наиболее важных устройств электроники, т.к. надежность того или иного устройства существенно зависит от надежности именно источников питания.

Выпрямитель – статическое устройство, служащее для преобразования энергии переменного тока в энергию постоянного тока. Выпрямитель состоит из трансформатора, вентильной группы и сглаживающего фильтра. Работа выпрямителя (вентильной группы) основана на свойствах вентилях – нелинейных двухполюсников, пропускающих ток преимущественно в одном (прямом) направлении. В качестве вентилях используют обычно полупроводниковые диоды, принцип работы которых основан на свойствах р-п перехода в полупроводниках.

Наиболее распространенные схемы однофазного выпрямления: однополупериодная, двухполупериодная мостовая, двухполупериодная с выводом средней точки трансформатора.

Однополупериодная схема служит для питания цепей малой мощности. Она наиболее проста, но имеет высокий уровень пульсации, достаточно малую величину выпрямленного напряжения и характеризуется подмагничиванием сердечника трансформатора постоянной составляющей тока.

Этих недостатков лишены более мощные двухполупериодные выпрямители, в которых используется напряжение сети в оба полупериода его изменения во времени.

В схеме с выделенной средней точкой вторичной обмотки трансформатора требуется применение специального трансформатора ( $U'_{вх}$  и  $U''_{вх}$  должны быть равны по величине и противоположны по фазе).

Конструкция мостовых выпрямителей проще, а габариты, масса и стоимость трансформатора, а также максимальное обратное напряжение на закрытых вентилях меньше (в два раза), чем у выпрямителей с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора. Недостатком мостовых выпрямителей следует считать необходимость в удвоенном количестве вентилях.

Трехфазные выпрямители обычно являются устройствами средней и большой мощности, их существует два типа.

Выпрямитель с нейтральным выводом имеет по одному вентилю в каждой фазе, катоды которых подключены к нагрузке. Вентили работают поочередно, каждый в течение одной трети периода (потенциал анода работающего вентиля более положителен, чем анодные потенциалы двух других вентилях). Когда любой из вентилях закрыт, к нему приложено обратное напряжение, равное линейному.

В схеме трехфазного мостового выпрямителя первичную и вторичную обмотки трансформатора можно соединять как звездой, так и треугольником.

Схема имеет шесть вентилях, которые работают попарно. Для сглаживания (уменьшения пульсаций) выпрямленного напряжения применяют сглаживающие фильтры, которые включают между вентильной группой и нагрузкой.

Сглаживающий фильтр содержит реактивные элементы - конденсаторы и индуктивные катушки, которые способны запасать энергию, соответственно, в виде энергии электрического и магнитного поля. Сопротивления этих элементов зависят от частоты протекающего через них тока.

Усилитель - это электронное устройство (четырёхполюсник), управляющее потоком энергии, идущей от источника питания к нагрузке. Мощность, требующаяся для управления, как правило,

намного меньше мощности, отдаваемой в нагрузку, а формы входного (усиливаемого) и выходного (на нагрузке) сигналов совпадают

Усилители используются для компенсации потерь при передаче информационных сигналов на большие расстояния, для обеспечения работы регистрирующих устройств, для создания нормальных условий восприятия информации человеком и т. д. Например, для обеспечения работы громкоговорителей мультимедиа-компьютера, как правило, требуется усилитель, так как поступающие от источников звуковые сигналы имеют недостаточную мощность.

По усиливаемой электрической величине различают усилители мощности, напряжения и тока. Коэффициент передачи усилителя по одному из указанных электрических параметров, как правило, много больше единицы. По другим параметрам коэффициент передачи усилителя может быть меньше единицы. Однако у всех усилителей по определению коэффициент передачи по мощности должен быть больше единицы. Поэтому, например, повышающий трансформатор, у которого коэффициент передачи по напряжению может быть больше единицы, усилителям не относится.

По диапазону усиливаемых частот усилители делятся на усилители постоянного тока (УПТ), усилители низкой (звуковой) частоты (УНЧ), усилители высокой частоты (УВЧ) и СВЧ-усилители (сверхвысокой частоты).

В компьютерах, например, УПТ используются в источниках питания, УНЧ в звуковых платах, УВЧ и СВЧ-усилители - в приемниках радио и телевизионных сигналов.

По используемым элементам различают усилители на транзисторах, микросхемах, и т. д.

По режимам работы различают линейные и нелинейные усилители, линейных усилителях уровни входных и выходных сигналов малы, поэтому все элементы усилителя при воздействии малых перемены сигналов характеризуются линейной зависимостью между токами приложенными напряжениями. Если амплитуда сигнала велика, линейная зависимость между токами и напряжениями нарушается возникает нелинейный режим работы усилителя.

Усилители классифицируют также по числу каскадов, по назначению, по полосе усиливаемых частот, по характеру усиливаемого сигнала и т. д.

Помимо коэффициента усиления, важным количественным показателем является коэффициент полезного действия. Роль этого показателя особенно возрастает для мощных, как правило, выходных каскадов усилителя.

К одной из основных характеристик усилителей относится амплитудная (амплитудно-частотная) характеристика (АЧХ) характеристика усилителя – это зависимость амплитуды выходного напряжения (тока) от амплитуды входного напряжения (тока).

Реактивные элементы схемы создают также и частотно-зависимый фазовый сдвиг  $j$  между выходным и входным напряжениями (зависимость фазового сдвига  $j$  от частоты входного сигнала  $f$  называется фазо-частотной характеристикой (ФЧХ)). Сдвиг по фазе связан со сдвигом во времени: если составляющие спектра частот сигнала сдвигаются на некоторые промежутки времени, то изменяется форма кривой выходного сигнала, что говорит о фазовых искажениях.

Схемотехника усилителей на транзисторах отличается многообразием и сложностью. Однако в этом многообразии можно выделить основные схемы, на основе которых строятся более сложные схемы. При использовании биполярных транзисторов различают: усилитель с общим эмиттером (ОЭ), усилитель с общей базой (ОБ) и усилитель с общим коллектором (ОК). По переменному напряжению в этих схемах с так называемой общей точкой, в частности с корпусом усилителя, соединяется, соответственно, эмиттер, база или коллектор транзистора. Однако наиболее широкое распространение нашла схема с общим эмиттером, поскольку при малой величине входного (управляющего) тока базы  $I_b$  выходной коллекторный ток достаточно большой (практически равен эмиттерному  $I_k \approx I_э$ ).

Усилители на полевых транзисторах также строятся с использованием трех основных схем. В зависимости от вывода транзистора, соединяемого с корпусом, различают усилители с общим истоком, с общим затвором и с общим стоком. Свойства этих усилителей аналогичны свойствам усилителей на биполярных транзисторах.

*Вопросы для самопроверки*

- 1) Перечислите основные элементы выпрямительного устройства и назовите основные параметры выпрямителя.
- 2) Изобразите схему однополупериодного выпрямителя и временные диаграммы токов и напряжений.
- 3) Изобразите схему двухполупериодного мостового выпрямителя и временные диаграммы токов и напряжений.
- 4) Сравните эти схемы.
- 5) Изобразите схемы трехфазных выпрямителей и временные диаграммы токов и напряжений к ним.
- 6) Укажите назначение сглаживающих фильтров.
- 7) Назовите основные параметры и характеристики усилителя на биполярном транзисторе.
- 8) Поясните принцип действия усилителя.
- 9) Изобразите схемы фиксации рабочей точки в усилителе.
- 10) Поясните принцип термостабилизации в усилителях.
- 11) Что такое операционный усилитель?
- 12) Изобразите схему триггера и поясните принцип его работы. Где нашли применение триггеры?
- 13) Поясните принцип работы элементов "И", "ИЛИ", "НЕ".
- 14) Поясните принцип работы схем "И-НЕ" и "ИЛИ-НЕ".

### 3. Указания по подготовке к выполнению лабораторных работ.

Критериями успешного выполнения лабораторного практикума являются:

1. Получение экспериментальных данных, соответствующих заданиям, приведенным в методических указаниях.
  2. Наличие всех расчетов согласно требованиям таблиц экспериментальных данных с указанием используемых формул и приведением примера расчета одной строки таблицы.
  3. Построение необходимых графиков зависимостей и векторных диаграмм токов и напряжений с соблюдением масштабов.
  4. Письменные выводы о проделанной работе в плане соответствия полученных экспериментальных данных теоретическим положениям.
  5. Способность студентов
    - а) объяснить характер полученных экспериментальных результатов;
    - б) сравнить их с теоретическими выкладками;
    - в) объяснить их физический смысл;
    - г) сформулировать причины и допустимость отличий экспериментальных данных от теоретических.
- Лабораторная работа считается выполненной после представления каждым студентом индивидуального письменного отчета, оформленного в соответствии с требованиями, изложенными в методических указаниях, и ответов на все контрольные вопросы, заданные преподавателем.

### 4. Указания по подготовке к практическим работам

- Ознакомьтесь с темой практического занятия, его целями и задачами.
- Изучите перечень знаний и умений, которыми должен овладеть обучающийся в ходе практического занятия.
- Ознакомьтесь со списком литературы и источников.
- Изучите рекомендации к практической работе.
- Прочитайте лекционный материал по теме занятия в конспекте.
- Прочитайте материал по теме практической работы в рекомендованных источниках. Ответьте на контрольные вопросы.
- Сделайте заготовку отчета.
- Повторите правила организации и охраны труда при выполнении данной практической работы.

## 5. Указания по подготовке к зачету, экзамену

### Зачет

Зачет служит формой проверки успешного выполнения студентами лабораторных и расчетно-графических работ, усвоения учебного материала.

Зачет проводится по окончании чтения лекций и проведения лабораторных работ, до начала экзаменационной сессии. Зачет принимается преподавателем, проводившим лабораторные занятия группы или читающим лекции по данному курсу.

Отметка "зачтено" выставляется в случае:

1. Выполнения работ предусмотренных графиком учебного процесса (лабораторные занятия, домашние, расчетные задания и. т. д.)
2. Положительного заключения по результатам письменного ответа на вопросы качественного характера по узловым темам дисциплины или по положительной рецензии реферата, написанного по одной из тем дисциплины.

### Экзамен

Завершающим этапом изучения курса является экзамен. Экзамен проводится в устной форме в группе или на потоке. Время, отводимое на подготовку на экзамене, составляет 30 –40 минут. Критерии оценки знаний студентов должны обеспечить объективный подход к выставлению оценок в соответствии с четырехбалльной шкалой (отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно).

Оценки "отлично" заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивших основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка "отлично" выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины и их знаний для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

Оценки "хорошо" заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивших основную литературу, рекомендованную программой. Как правило, оценка "хорошо" выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

Оценки "удовлетворительно" заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка "удовлетворительно" выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

Оценка "неудовл." выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка "неудовл." выставляется студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании обучения без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 6. Методические указания по написанию рефератов

**Реферат** — сокращенное изложение содержания первичного документа (или его части) с основными фактическими сведениями и выводами.

Основное назначение реферата — быстрая, систематическая подача актуальной научной, технической информации в свернутом виде на основании ее смысловой переработки. Реферат представляет собой вторичный документ, информационную модель, которая строится на основе первичного документа (статья, доклад, книга).

Реферат как краткая запись идей, содержащихся в одном или нескольких источниках, требует умения сопоставлять и анализировать различные точки зрения.

Специфика реферата заключается в том, что в нем нет развернутых доказательств, сравнений, рассуждений, оценок. Он дает ответ на вопрос, что нового, существенного содержится в тексте.

Реферат, как правило, не отражает субъективных взглядов референта на излагаемый вопрос, в нем отсутствует оценка текста.

Реферат акцентирует внимание на новых сведениях и определяет целесообразность обращения к изначальному тексту.

#### **Основные требования к реферату:**

- точное изложение взглядов автора;
- изложение всего существенного;
- соблюдение единого стиля;
- использование точного, краткого, литературного языка;
- изложение в логической последовательности;
- не превышение объема 500 печатных знаков для заметок и кратких сообщений; 1000 - для статей; 2500 - текстов большего объема (для реферативных изданий).

Наиболее приемлемыми формами рефератов в образовательных учреждениях являются следующие виды рефератов: учебные, экзаменационные и творческие.

Цель учебных рефератов - научить студентов работать эффективно. Эффективность - это не объем, а максимум результата при минимуме затрат сил и времени. К сожалению, в последние годы в связи с компьютеризацией учебного процесса участились случаи сдачи рефератов, взятых из Интернета в готовом виде. Тем самым студенты обкрадывают сами себя, свои знания, поскольку они не научатся самому главному - работать с литературой.

Особенность учебных рефератов в том, что от них не требуется практической отдачи. Но именно учебные рефераты дают навыки для разработки более сложных рефератов: контрольных, экзаменационных, творческих.

Контрольные рефераты как термин появился сравнительно недавно. Контрольные рефераты используют для проверки готовности человека к исполнению той или иной работы. Если в учебном реферате автор представляет тему, то в контрольном реферате он представляет себя (через свое представление темы).

Реферат контрольного типа в обязательном порядке сдается при поступлении в аспирантуру и другие учебные заведения. При подготовке контрольного реферата следует подать материал так, чтобы доказать своё моральное право заниматься той темой, по которой готовится реферат, а для этого важно, чтобы в него попали труды известных ученых.

Творческие рефераты - самый интересный вид рефератов, потому что поводом для их написания может стать знакомство с интересной статьей в журнале, сообщение по телевидению, интересная книга. Строгий отбор - это основа любого творчества, а чтобы было из чего отбирать, надо иметь исходные материалы. Творческие рефераты для этого подходят очень хорошо.

Тема может носить междисциплинарный и интегративный характер, быть в рамках программы дисциплины или расширять её содержание (рассмотрение истории проблемы, новых теорий, новых аспектов проблемы, новых источников). При изложении содержания важна значимость проблемы, рассматриваемой в реферате, её актуальность, логическая последовательность, выводы должны формулироваться лаконично, с соблюдением принципа: от частных к более общим и важным положениям.

#### **Структура реферата:**

- Титульный лист.
- Содержание (оглавление).
- Введение.
- Основная часть.
- Заключение.
- Список использованных источников.

- Приложение (необязательная часть).

**Титульный лист** - первая страница реферата, которая должна содержать основные сведения о работе и её авторе.

В верхней части листа указывается название учебного заведения в полном объеме, без сокращений, отделение.

В центре - тема реферата. Ниже темы справа указывается Ф.И.О. студента, группа, Ф.И.О. руководителя.

Внизу титульного листа обозначается город и год написания реферата.

**Содержание**(оглавление) следует после титульного листа реферата. В нем указываются основные части реферата (введение, основная часть, заключение, список использованных источников) с указанием соответствующих страниц (приложение ..).

Если разделы «Содержания» разбиты на подразделы, то их нумерация составляется из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. Например, раздел 1 «Подготовка и написание реферата», подраздел 1.1. «Выбор темы».

**Введение** - это вступительная часть реферата, помещаемая перед основным текстом. Во введении должна быть обоснована актуальность темы реферата, её теоретическая и практическая значимость, степень научной разработанности темы и наличие различных подходов в её решении. Кроме того, во введении даются краткие сведения об авторе: учёная степень автора, его специализация; приоритет автора; характеристика источника и указание методов разработки темы. Объем введения обычно составляет 1—2 страницы текста.

Очень важно, чтобы студент умел четко сформулировать цель (или несколько целей), а также задачи, которые требуется решить. Введение должно содержать также краткий обзор изучаемой литературы, анализ сильных и слабых сторон того или иного источника.

**Основной текст** излагается в произвольной форме. По ходу изложения материала автор может ссылаться на других авторов, всевозможные источники (документы, карты, таблицы, схемы и т.д.), которые должны располагаться после текста. Общий объем основной части - 8-15 страниц.

Основная часть реферата содержит материал, отобранный студентом для рассмотрения выбранной им проблемы. В этой части автор реферативного сочинения решает задачи, поставленные во введении. Основная часть должна включать в себя развитие научных представлений о проблеме. Целесообразно показать связь проблемы с современной действительностью. Кроме того, она должна содержать собственное мнение студента и сформулированные самостоятельные выводы, опирающиеся на соответствующие факты.

Основная часть может быть разбита на параграфы (разделы), которые должны располагаться последовательно, логически.

Письменная обработка полученных знаний зачастую бывает трудным делом. Не расстраивайтесь, если у вас что-то не получается «сразу». Вернитесь к работе через какое-то время. Главное в письменном изложении, чтобы вас поняли. Постарайтесь разобраться в сути работ, поставьте себя на место читателя, который видит работу впервые.

Обратите внимание на логичность изложения материала, на связь между параграфами (разделами) и частями работы. Выводы необходимо делать в каждом параграфе и главе.

**Заключение** подводит итог работы.

Оно должно содержать основные выводы автора по решению проблем, поставленных в основной части реферата. Заключение может содержать и предложения по дальнейшей научной разработке вопроса. Оно должно быть четким и кратким.

По объему не должно превышать введение (1-2 страницы).

Порядок построения **списка использованных источников** определяется самим автором. Однако на сегодняшний день наиболее распространенным является перечисление в алфавитном порядке (по первым буквам фамилий авторов или названий сборников). При составлении списков литературы в рефератах применяется ГОСТ 7.1-2003.



**Приложение** — часть реферата, имеющая дополнительное справочное значение, необходимое для более полного освещения темы. По форме и содержанию приложения разнообразны: таблицы, схемы, графики, рисунки, карты, фотографии, образцы и т.д.

Нумерация приложений помещается в правом верхнем углу над заголовком приложения рядом со словом «приложение» (например, Приложение 1).

## 7. Тематика рефератов

1. Электропроводность. Физические основы электрического тока
2. Электрическое сопротивление. Закон Ома
3. Первый и второй законы Кирхгофа
4. Расчет электрических цепей методом эквивалентных сопротивлений
5. Метод преобразования треугольника и звезды сопротивлений
6. Расчет электрических цепей методом наложения
7. Метод контурных токов
8. Метод узловых напряжений
9. Нелинейные электрические цепи. Методы расчета нелинейных электрических цепей
10. Приведение нелинейных электрических цепей к линейным
11. Расчет симметричных магнитных цепей
12. Электрическая ёмкость. Электрическое поле конденсатора
13. Свойства и применение ферромагнитных материалов
14. Расчет неразветвленной однородной магнитной цепи
15. Расчет разветвленной магнитной цепи
16. Расчет электрических цепей методом эквивалентных сопротивлений
17. I и II законы Кирхгофа для магнитной цепи
18. Принцип действия трансформатора
19. Расчет разветвленной электрической цепи
20. Методы расчета сложных электрических цепей
21. Схемы замещения электрических цепей
22. Электрическая цепь. Элементы и схемы электрических цепей
23. Графический расчет нелинейных электрических цепей при соединении сопротивлений последовательно
24. Графический расчет нелинейных электрических цепей при соединении сопротивлений параллельно
25. Применение законов Кирхгофа для расчета разветвленных цепей постоянного тока
26. Круговые диаграммы разветвленной цепи с переменным активным сопротивлением.
27. Трёхфазные системы.
28. Расчет симметричных трёхфазных цепей.
29. Комплексные числа. Выражение характеристик  $R$ ,  $I$ ,  $U$ , в комплексной форме.
30. Расчет неразветвленной цепи переменного тока с одним источником питания.
31. Компенсация реактивной мощности.
32. Высшие гармоники в трёхфазных цепях.
33. Расчет электрических цепей с взаимной индуктивностью.
34. Параметры цепей переменного тока. Цепь с сопротивлением.
35. Действующие, амплитудные, средние величины переменного тока.
36. Соединение треугольником при симметричной нагрузке.
37. Многофазные системы, их преимущества. Схемы замещения трёхфазных систем.
38. Несимметричная трёхфазная цепь, соединение источника и приёмника звездой.
39. Переходные процессы в электрических цепях. Законы коммутации.
40. Цепь с активным и индуктивным сопротивлением. Треугольник мощности (векторная диаграмма).

41. Цепь с активным сопротивлением и ёмкостью. Треугольник мощности (векторная диаграмма).
42. Расчет электрических цепей с взаимной индуктивностью, разветвленная цепь.
43. Ряды Фурье. Коэффициенты ряда Фурье.
44. Понятия о переменном токе. Получение синусоидальной ЭДС.
45. Закон Ома, Кирхгофа в символической форме.
46. Выражение тока, напряжения и сопротивления в комплексной форме.
47. Четырехпроводная цепь переменного тока.
48. Преобразование звезды и треугольника сопротивлений в трехфазных цепях.
49. Резонанс напряжений.
50. Резонанс токов.
51. Мощность цепи несинусоидального тока.

### **Информационное обеспечение обучения**

#### **Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы**

##### **Литература**

1. И.А. Данилов «Общая электротехника с основами электроники» [Текст]: учебное пособие/ И.А. Данилов., П.М. Иванов, М.: Высшая шк., 2015.-752 с
2. Исаев Ю.Н. Купцов А.М. Практика использования системы MathCad в расчетах электрических и магнитных цепей. Серия: Библиотека студента. Спб. Издательство «Солон-Пресс» 2015г.
3. Синдеев Ю.Г. «Электротехника с основами электроники» [Текст]: учебник/ Ю.Г. Сиднев; М.: «Феникс», 2015, Серия: Начальное профессиональное образование.
4. Катаенко Ю.К. «Электротехника» [Текст]: учебник/ Ю.К. Катаенко; М.: «Академ-центр», 2015.
5. Гальперин М.Ф. «Электротехника и электроника» [Текст]: учебник/ М.Ф. Гальперин; М.: Форум, 2016.
6. Ярочкина Г.В., Володарская А.А. «Рабочая тетрадь по электротехнике для НПО» [Текст]: методическое пособие/ Г.В. Ярочкина; М.: ИРПО, «Академия», 2016.
7. Касаткин А.С., Немцов М.В. «Электротехника» [Текст]: учебник/ А.С. Касаткин; М.: «Академия», 2016.

##### **Интернет-ресурсы**

- <http://ktf.krsk.ru/courses/foet/>  
(Сайт содержит информацию по разделу «Электроника»)
- <http://www.college.ru/enportal/physics/content/chapter4/section/paragraph8/theory.html>  
(Сайт содержит информацию по теме «Электрические цепи постоянного тока»)
- <http://elib.ispu.ru/library/electro1/index.htm>  
(Сайт содержит электронный учебник по курсу «Общая Электротехника»)
- <http://ftemk.mpei.ac.ru/elpro/>  
(Сайт содержит электронный справочник по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии").
- <http://www.toe.stf.mrsu.ru/demoversia/book/index.htm>  
(Сайт содержит электронный учебник по курсу «Электроника и схемотехника»).
- <http://www.eltray.com>. (Мультимедийный курс «В мир электричества как в первый раз»).
- <http://www.edu.ru>.
- <http://www.experiment.edu.ru>.

##### **Интернет источники**

- [Электронный ресурс] <http://www.twirpx.com/file/37100/>  
 [Электронный ресурс] <http://studentik.net/lekcii/lekcii-technicheskie/296-jelektronika.html>