

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Н. В. Бочарова**

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Учебно-методическое пособие  
по изучению дисциплины для студентов магистратуры  
по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2022

УДК 631.371

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»  
А. Г. Филонов

**Бочарова, Н. В.**

Электрические машины тепловых электростанций: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студентов магистратуры по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника / Н. В. Бочарова. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 19 с.

В учебно-методическом пособии представлен тематический план дисциплины, методические рекомендации по изучению каждой темы, а также вопросы для самостоятельной работы.

Табл. 1, список лит. – 5 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией Института морских технологий, энергетики и строительства 28.10.2022 г., протокол № 2

УДК 631.371

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2022 г.  
© Бочарова Н. В., 2022 г.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 Тематический план занятий .....	7
Тема 1. Введение .....	7
Тема 2. Однофазный трансформатор .....	7
Тема 3. Трехфазный трансформатор .....	8
Тема 4. Общие вопросы теории машин переменного тока.....	10
Тема 5. Асинхронные машины .....	11
Тема 6. Синхронные машины.....	13
Тема 7. Машины постоянного тока.....	15
2 Методические указания по выполнению самостоятельной работы студентов .....	16
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Электрические машины тепловых электростанций» входит в состав основной профессиональной образовательной программы высшего образования магистратуры по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника.

*Целью* освоения дисциплины «Электрические машины тепловых электростанций» является: формирование знаний в области теории и практики применения электрических машин и трансформаторов.

*Предметом изучения* является электрическая машина – основное звено энергетической установки на тепловых электростанциях.

*Задачи дисциплины:*

- изучение многообразных взаимосвязанных физических явлений и процессов, происходящих в электрических машинах;
- освоение конструкции и принципа действия различных типов электрических машин и трансформаторов;
- приобретение навыков определения основных параметров и выходных характеристик электрических машин и трансформаторов.

В результате освоения дисциплины студент должен:

*знать:*

- принцип действия современных типов электрических машин; особенности их конструкции, уравнения, схемы замещения и характеристики электрических машин;

*уметь:*

- использовать полученные знания при решении практических задач по эксплуатации электрических машин;

*владеть:*

- навыками элементарных расчетов и испытаний электрических машин.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;

- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- задания и контрольные вопросы для лабораторных занятий;

- тестовые задания по дисциплине.

В соответствии с учебным планом по дисциплине «Электрические машины тепловых электростанций» предусмотрены лабораторные работы. Подготовку к лабораторной работе студенты должны начинать с повторения теоретического материала по теме и только после этого знакомиться с описанием лабораторной работы, заканчивая разбором контрольных вопросов. В процессе подготовки необходимо начертить принципиальную схему лабораторной установки и подготовить таблицы для записи полученных данных в процессе выполнения работы. Готовность студента к выполнению лабораторной работы проверяется преподавателем путем опроса по содержанию выполняемой работы. Студенты, не подготовленные к выполнению лабораторной работы, не допускаются к выполнению работы, и при этом оставшееся до конца занятия время студент должен использовать для подготовки к данной лабораторной работе. Время на отработку пропущенной лабораторной работы согласовывается с преподавателем. Отчеты по лабораторным работам студенты представляют преподавателю в конце данного занятия и особых случаях в срок по указанию преподавателя. Зачет по лабораторной работе выставляется после представления отчета, его проверки и устранения замечаний. При проверке отчета преподаватель путем опроса устанавливает понимание студентом физических принципов и методики проведения лабораторной работы.

Тестовые задания используются для текущего контроля усвоения дисциплины. Каждый вариант тестов включает в себя 15 вопросов, на каждый из которых приведены четыре варианта ответов. «Зачтено» выставляется, если 50-100 % правильных ответов, «не зачтено» - менее 50 % правильных ответов.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена. Критерии оценивания приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Критерии оценивания ответов

Оценка по критериям	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать и систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно-корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ представленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ представленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ представленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

К экзамену допускаются студенты, которые выполнили и защитили лабораторные работы, а также по результатам тестирования. Вопросы к экзамену и билеты утверждаются на заседании кафедры и подписываются заведующим кафедрой.

## **1 Тематический план занятий**

### **Тема 1. Введение**

#### **Ключевые вопросы темы:**

1. Электрические машины – электромеханические преобразователи энергии.

2. Классификация электрических машин.

Предусмотрено лекционное занятие.

### **Тема 2. Однофазный трансформатор**

#### **Ключевые вопросы темы:**

1. Конструкция и принцип действия трансформатора.

2. Уравнения напряжений, мдс и токов трансформатора.

3. Векторная диаграмма трансформатора.

4. Экспериментальное определение параметров схемы замещения трансформатора.

5. Внешняя характеристика трансформатора.

6. Потери и КПД трансформатора.

7. Специальные трансформаторы.

#### **Методические рекомендации по теме**

Изучение темы «Трансформаторы» полезно начать с анализа процессов в катушке с ферромагнитным сердечником (дросселе) при синусоидальном напряжении на ее зажимах. Анализируя работу трансформатора, главное внимание следует обратить на его векторную диаграмму и схемы замещения. Схема замещения представляет собой несложную цепь переменного тока, и исследовать ее проще, чем анализировать электромагнитные процессы в самом трансформаторе. Необходимо обратить внимание на построение векторных

диаграмм при активно-индуктивной и активно-емкостной нагрузок, режимов холостого хода и короткого замыкания. Нужно четко уяснить, что рабочим режимом измерительного трансформатора напряжения является режим холостого хода, а рабочим режимом измерительного трансформатора тока – режим короткого замыкания. Нарушение данных режимов работы приводит к выходу из строя измерительных трансформаторов.

По данной теме предусмотрены лекционные занятия.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Назначение и принцип работы трансформатора.
2. Начертите векторную диаграмму трансформатора в режиме холостого хода.
3. Почему обмотки высшего и низшего напряжений располагают на одном стержне?
4. Напишите уравнение магнитодвижущих сил в трансформаторе.
5. Объясните, почему магнитный поток в трансформаторе практически не зависит от нагрузки.
6. Напишите уравнения электрического состояния для первичной и вторичной обмоток и объясните смысл каждого из членов этих уравнений?
7. Какие потери в трансформаторе являются постоянными и какие переменными?

#### **Тема 3. Трехфазный трансформатор**

##### **Ключевые вопросы темы:**

1. Группы соединения обмоток трансформаторов.
2. Параллельная работа трансформаторов.

##### **Методические рекомендации по теме**

В паспорте трехфазных трансформаторов дается номинальная мощность и мощность потерь всех трех фаз: под номинальными напряжениями понимаются линейные на зажимах трансформатора в режиме холостого хода, а под номинальными токами – линейные токи независимо от схемы соединения обмоток.



По данной теме предусмотрены лекционные и лабораторные занятия:

Лабораторная работа № 1 «Исследование способов соединения обмоток трансформатора».

Цель работы: изучить методы экспериментального определения обмоток высшего ВН и низшего НН напряжений, начал и концов обмоток и обмоток, находящихся на одном стержне. Ознакомиться со схемами соединения обмоток ВН и НН и получить практические навыки по определению групп соединения трехфазных трансформаторов.

Лабораторная работа № 2 «Исследование параллельной работы трехфазных двухобмоточных трансформаторов»

Цель работы: Изучить условия включения трансформаторов на параллельную работу и исследовать влияние неравенства коэффициентов трансформации и внутренних сопротивлений на распределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Какие условия необходимо выполнить для включения трансформаторов на параллельную работу?
2. К чему может привести несоблюдение условий, необходимых для включения трансформаторов на параллельную работу?
3. Как можно проверить правильность включения трехфазных трансформаторов на параллельную работу?
4. В каких случаях возникает уравнивающий ток?
5. Если два трансформатора разной мощности работают параллельно, то какое должно быть соотношение сопротивлений к.з.?
6. Объяснить, почему в опыте с различными коэффициентами трансформации с увеличением тока нагрузки вначале уменьшается ток одного из трансформаторов.
7. Какое неравенство коэффициентов трансформации допускается по ГОСТу?

## **Тема 4. Общие вопросы теории машин переменного тока**

### **Ключевые вопросы темы:**

1. Устройство статора машин переменного тока и основные понятия об обмотках статора.
2. Магнитодвижущая сила трехфазной обмотки статора.

### **Методические рекомендации по теме**

Следует обратить внимание, что требования к обмотке статора машин переменного тока сводиться к следующему: меньший расход обмоточной меди; удобство и меньше затрат в изготовлении, т. е. технологичность; форма кривой эдс, наводимой в обмотке статора, должна быть практически синусоидальной. Применительно к генераторам переменного тока это требование обусловлено тем, что при несинусоидальной эдс в электрической цепи генераторов появляются высшие гармонические составляющие тока. Они оказывают вредное влияние на работу всей энергосистемы: возрастают потери, возникают опасные перенапряжения, усиливается вредное влияние линий электропередачи на цепи связи. Применительно к двигателям переменного тока требование несинусоидальности эдс обмотки статора также актуально, т. к. это ведет к росту потерь и уменьшению полезной мощности двигателя. Наличие зубцов и пазов на поверхности статора создает неравномерность воздушного зазора. По этой причине все гармонические составляющие магнитного поля приобретают зубцовую форму. Каждая из этих искаженных гармоник индуцирует в обмотке статора две эдс собственной частоты и зубцовую. Вредное влияние зубцовых гармоник эдс выражается в том, что они вызывают дополнительные потери в машине. Зубцовые гармоники можно ослабить сокращением шага обмотки и скосом пазов на одно зубцовое деление, а в синхронных машинах скосом полюсных наконечников.

По данной теме предусмотрены лекционные занятия.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Что такое шаг обмотки по пазам и какой должна быть его величина?

2. Что такое полюсное деление?
3. Каковы достоинства и недостатки двухслойных и однослойных обмоток статора?
4. При каком условии вращающееся магнитное поле статора будет круговым?
5. Как изменить направление вращения магнитодвижущей силы обмотки статора?

## **Тема 5. Асинхронные машины**

### **Ключевые вопросы темы:**

1. Двигательный и генераторный режим работы асинхронной машины.
2. Устройство асинхронных двигателей.
3. Уравнения напряжений, магнитодвижущих сил и токов асинхронного двигателя.
4. Схемы замещения асинхронного двигателя.
5. Электромагнитный момент и механическая характеристика асинхронного двигателя.
6. Пуск асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.
7. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей.

### **Методические рекомендации по теме**

Перед изучением темы «Асинхронные машины» следует повторить тему «Вращающееся магнитное поле», после чего рассмотреть конструкции обмоток машин переменного тока. Обмотки асинхронных и синхронных машин мало чем отличаются друг от друга, поэтому в теме «Синхронные машины» конструкции обмоток не рассматриваются. Процессы, происходящие в асинхронной машине, описываются с помощью формул, векторных диаграмм и схем замещения, близких к формулам, диаграммам и схемам замещения трансформатора. Асинхронный двигатель, стоящий неподвижно под током, представляет собой трансформатор с первичной (статорной) и вторичной (роторной) обмотками и магнитопроводом с воздушным зазором. Вращающееся магнитное поле статора создает в каждой фазе обмоток такие же

синусоидальные эдс, какие в обмотках трансформатора создаются пульсирующим магнитным полем. Если же двигатель вращается со скольжением  $s$ , токи в роторе по величине и фазе не отличаются от токов неподвижного ротора, в каждую фазу которого введено добавочное сопротивление. Особое внимание нужно уделить формуле электромагнитного момента асинхронной машины, полученной с помощью Г-образной схемы замещения, которая имеет первостепенное значение для изучения остальных вопросов данной темы. Важно помнить при этом, что хотя формула справедлива для любого значения скольжения, асинхронный двигатель устойчиво работает только пока скольжение меньше критического значения. Изучив способы пуска, надо сравнить их между собой, проанализировав достоинства и недостатки каждого. Аналогично следует проанализировать способы регулирования частоты вращения двигателя.

По данной теме предусмотрены лекционные занятия.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Что такое скольжение асинхронной машины?
2. Каков диапазон изменения скольжения асинхронной машины в различных режимах ее работы?
3. В чем сходство и чем различие между асинхронным двигателем и трансформатором?
5. Почему с увеличением механической нагрузки на вал асинхронного двигателя возрастает потребляемая из сети двигателем мощность?
6. В чем отличие Г-образной схемы замещения асинхронного двигателя от Т-образной?
7. Какими показателями характеризуются пусковые свойства асинхронных двигателей?
8. Какие существуют способы пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении?
9. Почему при частотном регулировании частоты вращения одновременно с частотой тока необходимо изменять напряжение?

## **Тема 6. Синхронные машины**

### **Ключевые вопросы темы:**

1. Возбуждение синхронных машин.
2. Типы синхронных машин и их устройство.
3. Магнитная цепь синхронной машины.
4. Магнитное поле синхронной машины.
5. Реакция якоря синхронной машины.
6. Уравнения напряжений синхронного генератора.
7. Векторные диаграммы синхронного генератора.
8. Характеристики синхронного генератора.
9. Включение синхронного генератора на параллельную работу.
10. Угловые характеристики синхронного генератора.
11. Колебания синхронных генераторов.
12. V-образные характеристики синхронного генератора.
13. Принцип действия синхронного двигателя.
14. Пуск синхронного двигателя.
15. V-образные и рабочие характеристики синхронного двигателя.
16. Синхронные компенсаторы.

### **Методические рекомендации по теме**

При изучении темы «Синхронные машины» большое внимание следует уделить векторным диаграммам, дающим большую информацию об электромагнитных процессах, соответствующих различным режимам работы машины. Следует научиться строить векторные диаграммы для любой точки внешних и регулировочных характеристик генератора и двигателя. Необходимо понимать причины конструктивного отличия роторов синхронных машин для высоких и низких частот вращения. При рассмотрении параллельной работы генераторов следует изучить способы включения генераторов на параллельную работу, сравнить их достоинства и недостатки.

По данной теме предусмотрены лекционные, лабораторные занятия:

Лабораторная работа № 3 «Характеристики синхронного генератора»

Цель работы: Освоить методы испытаний СГ. Снять его характеристики и получить наглядное представление о ряде основных свойств СГ.

Лабораторная работа № 4 «Параллельная работа синхронного генератора с электрической сетью»

Цель работы: Ознакомиться с условиями синхронизации синхронных генераторов и освоить метод точной синхронизации синхронного генератора с электрической сетью. Изучить способы регулирования активной и реактивной мощности синхронного генератора при его параллельной работе с электрической сетью неограниченной мощности.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Какие существуют способы возбуждения синхронных машин?
2. Объясните устройство явно- и неявнополюсных роторов синхронных машин.
3. Чем обеспечивается неравномерный воздушный зазор в синхронной машине?
4. В чем состоит влияние реакции якоря?
5. Каково действие реакции якоря при активной, индуктивной и емкостной нагрузках синхронного генератора?
6. Почему характеристика короткого замыкания синхронной машины имеет вид прямой линии?
7. Что такое номинальное изменение напряжения при сбросе нагрузки и почему при емкостной нагрузке его величина отрицательна?
8. Какие виды потерь имеют место в синхронной машине?
9. Что такое синхронизация генератора, включаемого на параллельную работу?
10. Как нагрузить генератор, включенный на параллельную работу?
11. Что такое коэффициент статической перегружаемости?
12. Какова причина собственных колебаний в синхронном генераторе?

13. Каково назначение и конструкция успокоительной обмотки?
14. Объясните процесс пуска синхронного двигателя.
15. Каково назначение синхронного компенсатора?
16. Каковы достоинства и недостатки синхронных двигателей по сравнению с асинхронными?

## **Тема 7. Машины постоянного тока**

### **Ключевые вопросы темы:**

1. Принцип действия генератора и двигателя постоянного тока.
2. Обмотки якоря машины постоянного тока.
3. Электродвижущая сила и электромагнитный момент машины постоянного тока.
4. Реакция якоря машины постоянного тока.
5. Способы возбуждения машин постоянного тока.
6. Генератор независимого возбуждения.
7. Генератор параллельного возбуждения.
8. Генератор смешанного возбуждения.
9. Двигатели постоянного тока независимого и параллельного возбуждения.
10. Пуск двигателей постоянного тока.
11. Двигатель последовательного возбуждения. Двигатель смешанного возбуждения.

### **Методические рекомендации по теме**

Изучая тему «**Электрические машины постоянного тока**», следует обратить внимание на то что, несмотря на большую стоимость, большие габариты и меньшую надежность по сравнению с машинами переменного тока, у машин постоянного тока более легко и плавно и в больших диапазонах регулируется частота вращения, относительно легко осуществляются плавные пуск и реверс двигателя. При изучении свойств электрических машин целесообразно анализировать работу одной и той же машины в режимах генератора и двигателя, сравнивая направления эдс и электромагнитного

момента, энергетические диаграммы, изучать свойства генераторов (двигателей) с различными способами возбуждения, сравнивая их внешние (механические) характеристики.

По данной теме предусмотрены лекционные занятия.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Каково назначение коллектора в генераторе и двигателе?
2. Какие участки содержит магнитная цепь машины постоянного тока?
3. В чем сущность явления реакции якоря машины постоянного тока?
4. Какие способы возбуждения применяют в машинах постоянного тока?
5. Какие характеристики определяют свойства генераторов постоянного тока?
6. Почему у генератора параллельного возбуждения изменение напряжения при сбросе нагрузки больше, чем у генератора независимого возбуждения?
7. Каковы условия самовозбуждения генераторов постоянного тока?
8. При каком включении обмоток возбуждения генератора смешанного возбуждения напряжение на зажимах потребителя сохраняется практически неизменным?
9. Какие способы ограничения пускового тока применяются в двигателях постоянного тока?
10. Сравните двигатели параллельного и последовательного возбуждения по их регулировочным свойствам.

## **2 Методические указания по выполнению самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов является обязательной частью образовательного процесса. Наряду с изучением лекционного материала необходимо самостоятельно более подробно рассмотреть указанные в данном пособии темы. Приступать к выполнению лабораторных работ необходимо



только после изучения теоретического материала, относящегося к теме лабораторной работы, а также методических указаний по выполнению лабораторной работы.

После проработки теоретического материала, выполнения лабораторной работы нужно ответить на вопросы для самоконтроля. Ответы должны быть развернутыми, опираться на данные из нормативной документации, дополнительной литературы, материалов исследований и своего опыта.

Тестирование проводится на консультациях по дисциплине, каждый вариант теста включает в себя 15 вопросов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Токарев, Б. Ф. Электрические машины / Б. Ф. Токарев. - Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 623 с.
2. Брускин, Д. Э., Зорохович, А. Е., Хвостов, В. С. Электрические машины и микромашины / Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов. – Москва: Высшая школа, 1990. – 527 с.
3. Вольдек, А. И., Попов, В. В. Электрические машины / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – Москва; Санкт-Петербург; Нижний Новгород; Воронеж, 2008. Часть 1 - Машины постоянного тока и трансформаторы. - 319 с. Часть 2 - Машины переменного тока, 2007. - 349 с.
4. Копылов, И. П. Электрические машины / И. П. Копылов. – Москва: Высшая школа, Логос, 2000. - 607 с.
5. Хуторецкий, Г. М. Проектирование турбогенератора / Г. М. Хуторецкий, М. И. Токов, Е. В. Толвинская. – Ленинград: Энергия, 1987. – 256 с.

Локальный электронный методический материал

Наталья Владимировна Бочарова

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Редактор Э. С. Круглова

Уч.-изд. л. 1,4. Печ. л. 1,2

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1