

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

**В. Ф. Белей, К. В. Коротких**

## **ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины с практическими заданиями для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2023

УДК 621.311

Рецензент

доктор технических наук, профессор кафедры энергетики ФГБОУ ВО  
«Калининградский государственный технический университет»

В.И. Гнатюк

**Белей, В. Ф.**

Оборудование электростанций: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины с практическими заданиями для студентов магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / **В. Ф. Белей, К. В. Коротких.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 21 с.

Учебно-методическое пособие содержит методические материалы по изучению дисциплины, которые включают тематический план занятий, задания к практическим работам и методические рекомендации по их выполнению. В пособии изложены методические указания по выполнению студентами самостоятельной работы, контрольной работы, указаны оценочные средства и критерии оценивания.

Табл. 3, список лит. – 8 наименований

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 22.02.2023 г., протокол № 06

УДК 621.311

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2023 г.  
© В. Ф. Белей, К.В. Коротких, 2023 г.

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....   | 4  |
| 1. Тематический план занятий .....   | 7  |
| Тема 1. Типовые схемы электростанций и подстанций .....  | 7  |
| Тема 2. Особенности и анализ режимов работы систем возбуждения синхронных генераторов .....              | 8  |
| Тема 3. Силовые трансформаторы электростанций и подстанций: особенности конструкции и режимы работы..... | 10 |
| Тема 4. Особенности конструкции и режимы работы систем компенсации реактивной мощности.....              | 11 |
| 2. Методические указания по выполнению самостоятельной работы студентов .....                            | 13 |
| 3. Задания по контрольной работе.....  | 14 |
| Библиографический список.....  | 18 |
| Приложение А. Вопросы к дифференцированному зачету .....   | 19 |

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Оборудование электростанций» входит в состав основной профессиональной образовательной программы магистраты по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника.

Целью дисциплины является формирование фундаментальных знаний об особенностях конструкции и режимах работы основного электрооборудования электрических станций для достижения соответствующих умений и компетенций.

В результате освоения дисциплины студент должен:

- **знать** фундаментальные знания об особенностях и режимах работы основного электрооборудования электрических станций; современные технологии, используемые при исследовании режимов работы электрооборудования электростанций;

- **уметь** анализировать работу основного электрооборудования электрических станций, приобретать новые знания и умения, углублять свое научное мировоззрение, в том числе с помощью информационных технологий;

- **владеть** методами расчета и анализа режимов работы электрооборудования станций с обеспечением требуемого уровня надежности; современными достижениями науки и передовой технологии при рассмотрении эксплуатации электрооборудования станций.

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 практических занятий (для студентов всех форм обучения);
- задания для выполнения контрольной работы (для студентов заочной формы обучения);
- тестовые задания по дисциплине (для студентов всех форм обучения).

В соответствии с учебным планом по дисциплине «Оборудование электростанций» предусмотрено выполнение практических работ. Перед началом выполнения практической работы обучающиеся изучают задание и после методических указаний преподавателя приступают к его выполнению. Защита работы проводится либо на очередном практическом занятии, либо в часы индивидуальных или групповых консультаций преподавателя. Оценивание выполняется по пятибалльной системе. Критерии оценивания представлены в табл. 1.

Тестовые задания используются для текущего контроля освоения дисциплины. Тестирование студентов проводится на практических занятиях. Каждый вариант теста включает в себя 10 вопросов, на каждый из которых приведены четыре варианта ответа, в том числе один правильный. Оценивание осуществ-

ляется по следующим критериям: «зачтено» – 50-100 % правильных ответов на заданные вопросы; «не зачтено» – менее 50 % правильных ответов.

Промежуточная аттестация по дисциплине «*Оборудование электростанций*» проводится в форме зачета с оценкой. Зачет с оценкой выставляется по результатам текущего контроля успеваемости при условии выполнения и успешной защиты практических заданий, контрольной работы (для студентов заочной формы обучения), по результатам тестирования. Порядок и правила выставления зачета с оценкой по дисциплине преподаватель сообщает обучающимся в начале учебного семестра. Оценивание выполняется по пятибалльной системе. Критерии оценивания представлены в табл. 1.

В приложении А приведены контрольные вопросы по дисциплине, которые, при необходимости (в случае не прохождения всех видов текущего контроля), могут быть использованы для промежуточной аттестации.

Таблица 1 – Система и критерии оценивания

| Критерий \ Система оценок                                      | 2  | 3   | 4   | 5  |
|--|--|---|---|--|
|  | 0-50 %   | 51-60 %   | 61-80 %   | 81-100 %   |
|  | «неудовлетворительно»  | «удовлетворительно»   | «хорошо»  | «отлично»  |
|  | «не зачтено»   | «зачтено»   |   |  |
| Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов    | Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может корректно связывать между собой (только некоторые из которых 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 необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи   |
| Осмысление изучаемого явления, процесса, объекта               | Не может делать корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений              | В состоянии осуществлять корректный анализ предоставленной информации                       | В состоянии осуществлять систематический корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные | В состоянии осуществлять систематический и корректный анализ предоставленной 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   |

## 1. Тематический план занятий

### Тема 1. Типовые схемы электростанций и подстанций

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции) и семинарского (практические занятия) типа.

*Ключевые вопросы темы:*

1. Области применения и режимы работы основного оборудования электрических станций и подстанций.
2. Схемы распределительных устройств электростанций и подстанций.
3. Области применения типовых схем распределительных устройств.
4. Схемы подстанций на низшем напряжении.
5. Структурные схемы гидроэлектростанций.
6. Схемы конденсационных электростанций.
7. Схемы атомных электростанций.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Пояснить конструкцию и режимы работы схем распределительных устройств электростанций и подстанций.
2. Пояснить конструкцию и режимы работы главной схемы гидроэлектростанции.
3. Пояснить конструкцию и режимы работы главной схемы конденсационной электростанции.
4. Пояснить конструкцию и режимы работы главной схемы теплоэлектроцентрали.
5. Пояснить конструкцию и режимы работы главной схемы атомной электростанции.

*Тема практической работы:* Составление главных схем с двумя или тремя распределительными устройствами.

*Задание:* Выполнить анализ схем принципиальных электрических распределительных устройств подстанций 35-750 кВ.

*Исходные данные (учебные):* СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения.

*Цель выполнения задания:* ознакомиться с минимальным количеством типовых схем распределительных устройств подстанций 35-750 кВ.

*Методические рекомендации по выполнению задания*

Для выполнения задания первоначально рекомендуется изучить структуру стандарта организации ОАО «ФСК ЕЭС» *СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения.* Стандартом установлено минимальное количество типовых схем распределительных устройств, охватывающих большинство встречающихся в практике случаев проектирования новых и реконструкции действующих подстанций и комплектных трансформаторных подстанций, позволяющих обеспечить надежность и живучесть подстанций и достичь экономичных унифицированных решений. Далее, определив, в каком разделе стандарта может находиться необходимая для ответа информация, следует более подробно изучить её, записать краткий ответ.

## **Тема 2. Особенности и анализ режимов работы систем возбуждения синхронных генераторов**

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции) и семинарского (практические занятия) типа.

*Ключевые вопросы темы:*

1. Основные требования к системам возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов (ГОСТ 2158-2018).
2. Оборудование и принцип действия схем возбуждения синхронных генераторов первых поколений.
3. Основные сведения о современных тиристорных системах возбуждения:
  - 3.1. Системы тиристорные независимые;
  - 3.2. Системы тиристорные самовозбуждения;
  - 3.3. Системы бесщёточные диодные.
4. Гашение магнитного поля синхронного генератора.
5. Анализ результатов экспериментальных исследований гашения магнитного поля синхронного генератора.
6. Автоматическое регулирование возбуждения. Форсировка возбуждения.
7. Располагаемая диаграмма мощностей синхронного генератора.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Пояснить основные требования, предъявляемые к системам возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов согласно ГОСТ 2158-2018.
2. Пояснить особенности схем возбуждения синхронных генераторов первых поколений.
3. Пояснить особенности современных тиристорных систем возбуждения.
4. Пояснить принцип действия гашение магнитного поля синхронного генератора.
5. Пояснить конструкцию автоматического регулятора возбуждения. Каким образом осуществляется форсировка возбуждения?
6. Пояснить методику построения диаграмм располагаемых мощностей синхронных генераторов с неявнополюсной и явнополюсной конструкциями ротора.

*Тема практической работы:* Системы возбуждения турбогенераторов и гидрогенераторов: системы тиристорные независимые; системы тиристорные самовозбуждения; системы бесщёточные диодные.

*Задание:* Описать три системы возбуждения турбогенераторов и гидрогенераторов.

*Исходные данные (учебные):* Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – 9-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – С.46-53.

*Цель выполнения задания:* ознакомиться с системами возбуждения синхронных генераторов первых поколений и современными решениями.

*Методические рекомендации по выполнению задания*

Для выполнения задания первоначально рекомендуется изучить раздел книги «Электрооборудование электрических станций и подстанций» «Возбуждение синхронных генераторов». Далее, определив, в каком подразделе книги может находиться необходимая для ответа информация, следует более подробно изучить её, записать краткий ответ.

### **Тема 3. Силовые трансформаторы электростанций и подстанций: особенности конструкции и режимы работы**

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции) и семинарского (практические занятия) типа.

*Ключевые вопросы темы:*

1. Эксплуатационные характеристики трансформаторов.
2. Определения сопротивления нулевой последовательности трансформатора.
3. Режим работы трансформаторов со схемой соединения обмоток звезда / звезда с нулевым проводом ( $Y/Y_0$ ). Физические процессы. Векторная диаграмма.
4. Режим работы трансформаторов со схемой соединения обмоток треугольник / звезда с нулевым проводом ( $\Delta/Y_0$ ). Физические процессы. Векторная диаграмма.
5. Режим работы трансформаторов со схемой соединения обмоток звезда / зигзаг с нулевым проводом ( $Y/Z_0$ ). Физические процессы. Векторная диаграмма.
6. Переходной процесс при включении трансформатора к сети на холостом ходу.
7. Энергосберегающие трансформаторы.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Пояснить основные эксплуатационные характеристики трансформаторов.
2. Как определить сопротивление нулевой последовательности трансформатора?
3. Пояснить физические процессы в трансформаторе, работающем со схемой соединения обмоток звезда / звезда с нулевым проводом.
4. Пояснить физические процессы в трансформаторе, работающем со схемой соединения обмоток треугольник / звезда с нулевым проводом.
5. Пояснить физические процессы в трансформаторе, работающем со схемой соединения обмоток звезда / зигзаг с нулевым проводом.
6. Пояснить переходной процесс при включении трансформатора к сети на холостом ходу.

*Тема практической работы:* Энергосберегающие трансформаторы с магнитопроводами из аморфных сплавов.

*Задание:* Описать достоинства и недостатки энергосберегающих трансформаторов с магнитопроводами из аморфных сплавов перед традиционными трансформаторами с магнитопроводами из электротехнической стали

*Исходные данные (учебные):* Белей В.Ф., Никишин А.Ю., Паршина В.Ф., Шабалин Л.Д. Энергосберегающие технологии в системах электроснабжения: учебное пособие для вузов / В.Ф. Белей, А.Ю. Никишин, В.Ф. Паршина, Л.Д. Шабалин. Под. ред. В.Ф. Белея. – Калининград: Издательство КГТУ, 2021. – С.62-64.

*Цель выполнения задания:* ознакомиться с современными технологиями в области трансформаторостроения.

*Методические рекомендации по выполнению задания*

Для выполнения задания первоначально рекомендуется изучить раздел учебного пособия «*Энергосберегающие технологии в системах электроснабжения*» «Технические мероприятия в области энергосбережения в системах электроснабжения». Далее, определив, в каком подразделе учебного пособия может находиться необходимая для ответа информация, следует более подробно изучить её, записать краткий ответ.

#### **Тема 4. Особенности конструкции и режимы работы систем компенсации реактивной мощности**

Предусмотрены занятия лекционного типа (лекции) и семинарского (практические занятия) типа.

*Ключевые вопросы темы:*

1. Физические процессы, обуславливающие характер реактивной мощности в электроэнергетических системах.
2. Обеспечение баланса реактивной мощности в энергосистеме. Общие сведения об источниках и потребителях реактивной мощности.
3. Реакторы: конструкция, режимы работы.
4. Шунтовые конденсаторные батареи: конструкция, режимы работы.
5. Синхронный компенсатор: назначение, режимы работы.
6. Статический тиристорный компенсатор: устройство, режимы работы.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Пояснить физические процессы, обуславливающие характер реактивной мощности в электроэнергетических системах.
2. Описать уравнение баланса реактивной мощности в энергосистеме.
3. Привести примеры основных потребителей и источников реактивной мощности.
4. Пояснить конструкцию и режимы работы реакторов.
5. Пояснить конструкцию и режимы работы шунтовых конденсаторных батарей.
6. Пояснить назначение и режимы работы синхронных компенсаторов.
7. Пояснить устройство и режимы работы статических тиристорных компенсаторов.

*Тема практической работы:* Электромагнитные процессы в электрических цепях с идеализированными резистивным, индуктивным и емкостным элементами.

*Задание:* Составить однолинейные электрические схемы и привести осциллограммы токов, напряжений, активной мощности, энергии в цепях с резистивным, индуктивным и емкостным элементами. Пояснить физические процессы, протекающие в каждой цепи.

*Исходные данные (учебные):* Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники: учебник для вузов. В трех т. Под. общ. ред. К.М. Поливанова. Т. 1. / К.М. Поливанов. Линейные электрические цепи с сосредоточенными постоянными. – М.: Энергия, 1972. – С.55-64.

*Цель выполнения задания:* пояснение процессов, связанных с реактивной мощностью.

*Методические рекомендации по выполнению задания*

Для выполнения задания первоначально рекомендуется изучить раздел книги «*Энергосберегающие технологии в системах электроснабжения*» «Цепь переменного тока». Далее, определив, в каком подразделе книги может находиться необходимая для ответа информация, следует более подробно изучить её, записать краткий ответ.

## **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. Подготовка к практическим занятиям заключается в изучении теоретического материала с использованием учебно-методических пособий, нормативной документации. Только после этого можно приступить к выполнению практических заданий.

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

При освоении данной дисциплины студент должен выполнить контрольную работу (для студентов заочной формы обучения).

При выполнении контрольной работы следует придерживаться следующего правила:

- решение задачи необходимо сопровождать пояснениями и подробными вычислениями.

Контрольную работу рекомендуется начинать выполнять сразу после прослушивания необходимого теоретического материала на лекциях.

При освоении данной дисциплины студент должен пройти тестирование. Тестирование проводится на практических занятиях, каждый вариант теста включает в себя 10 вопросов.

### 3. Задания по контрольной работе

Задание по контрольной работе, выполняемой студентами заочной формы обучения, предполагает построение диаграммы располагаемых мощностей синхронного генератора с явнополюсной конструкцией ротора и определение значений активной и реактивной мощностей в узловых точках.

Подготовка работы осуществляется студентом самостоятельно с использованием лекционного материала и учебной литературы.

*Исходные данные (учебные):* Ветров В.И. Режимы электрооборудования электрических станций: учеб. пособие / В.И. Ветров, Л.Б. Быкова, В.И. Ключевнич. – Новосибирск: Из-во НГТУ, 2010. – С.32-74.

*Цель выполнения задания:* исследование режимов работы синхронного генератора.

#### *Методические рекомендации по выполнению задания*

Для выполнения задания первоначально рекомендуется изучить раздел учебного пособия «Режимы электрооборудования электрических станций» «Нормальные режимы синхронных генераторов». Далее, определив, в каком подразделе учебного пособия может находиться необходимая для выполнения задания информация, следует более подробно изучить её.

Расчет необходимо проводить в относительных и именованных единицах.

Построение диаграммы располагаемых мощностей генератора следует вести, опираясь на:

- характеристику холостого хода;
- характеристику короткого замыкания;
- зависимость синхронного индуктивного сопротивления обмотки статора от тока возбуждения;
- векторную диаграмму синхронного генератора;
- угловую и синхронизирующую характеристики.

Исходные данные для построения диаграммы располагаемых мощностей генератора представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2 – Технические параметры дизель-генератора МСС102-4

| Тип      | $P_{ном},$<br>кВт | $S_{ном},$<br>кВА | $U_{ном},$<br>В | $n_{ном},$<br>об/мин | $\cos\phi_{ном}$ |
|----------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------------|------------------|
| МСС102-4 | 160               | 200               | 400             | 1500                 | 0,8              |

Продолжение таблицы 2

| $f$ ,<br>Гц | $\eta, \%$ | $p$ ,<br>число пар полюсов | $\Gamma_a$ ,<br>Ом | $X_{d.ненасыщ}^*$ ,<br>о.е | $X_q^*$ ,<br>о.е | $X_\sigma^*$ ,<br>о.е |
|-------------|------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|------------------|-----------------------|
| 50          | 91,5       | 2                          | 0,0205             | 2,23                       | 1,13             | 0,067                 |

Таблица 3 – Нормальная характеристика холостого хода для дизель-генератора

| $I_f^*$ , о.е | 0     | 0,3   | 0,5   | 0,6   | 0,8   | 1,1   | 1,3   | 1,5   | 2,0   |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $E_f^*$ , о.е | 0,025 | 0,410 | 0,664 | 0,760 | 0,905 | 1,038 | 1,093 | 1,135 | 1,187 |

Характеристика трёхфазного короткого замыкания строится исходя из следующего выражения:

$$OKЗ = \frac{I_{кз}^*}{I_{ном}^*} \quad (1)$$

где  $I_{кз}^*$  – установившийся ток короткого замыкания генератора при токе возбуждения  $I_{f0}^*$ , обеспечивающем на холостом ходу равенство  $E_f^* = U_{ном}^*$ , о.е;

$I_{ном}^*$  – номинальный ток статора генератора, о.е.

Расчёты синхронного индуктивного сопротивления обмотки якоря по продольной оси выполняются по следующей формуле:

$$x_d^* = \frac{E_{сг}^*}{I_{кз}^*} \quad (2)$$

где  $E_{сг}^*$  – ЭДС, наводимая в обмотке якоря, о.е.

При возникновении короткого замыкания на зажимах якоря имеет место лишь продольно-размагничивающая реакция статора и ЭДС, наводимая в обмотке якоря рассчитывается по выражению:

$$\underline{E}_{сг}^* = \underline{E}_{ad}^* + \underline{E}_s^* = \underline{I}_d(x_{ad} + x_s)^* = \underline{I}_d^* \cdot x_d^* \quad (3)$$

где  $E_{ad}^*$  – ЭДС продольно размагничивающей реакции якоря, о.е;

$E_s^*$  – ЭДС рассеяния, о.е;

$I_d^*$  – продольная составляющая тока якоря, о.е;

$x_{ad}^*$  – синхронное индуктивное сопротивление реакции якоря по продольной оси, о.е;

$x_s^*$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря, о.е;

$x_d^*$  – насыщенное значение индуктивного сопротивления обмотки якоря по продольной оси, о.е.

Построение векторной диаграммы дизель-генератора ведётся для номинального режима работы:  $I_{1.ном}^* = 1$ ,  $U_{1.ном}^* = 1$ ,  $\cos\varphi_{ном} = 0.8$ , с учётом следующей формулы и насыщения магнитной цепи:

$$\underline{U_{1.ном}^*} = \underline{E_f^*} - j\underline{I_q} \cdot \underline{x_q^*} - j\underline{I_d} \cdot \underline{x_d^*} - \underline{I_{1.ном}^*} \cdot \underline{r_a^*} \quad (4)$$

где  $U_{1.ном}^*$  – номинальное значение напряжения статора, о.е;

$E_f^*$  – ЭДС, индуцируемая в обмотке якоря полем возбуждения, о.е;

$I_{1.ном}^*$  – номинальное значение тока статора, о.е;

$I_q^*$  – поперечная составляющая тока якоря, о.е;

$r_a^*$  – активное сопротивление фазы якоря, о.е.

Угловая характеристика определяется зависимостью  $P_{эм}$  от  $\theta$ , строится при номинальном режиме в относительных единицах:

$$P_{эм}^* = \frac{m \cdot U_{1.ном}^* \cdot E_f^*}{x_d^*} \cdot \sin\theta + \frac{m \cdot U_{1.ном}^{*2}}{2} \left( \frac{1}{x_q^*} - \frac{1}{x_d^*} \right) \cdot \sin 2\theta \quad (5)$$

где  $P_{эм}^*$  – электромагнитная мощность синхронного генератора, о.е;

$m$  – число фаз;

$\theta$  – угол нагрузки, °.

С учётом построения в относительных единицах, при номинальном режиме, выражение (5) принимает вид:

$$P_{эм}^* = \frac{E_f^*}{x_d^*} \cdot \sin\theta + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{x_q^*} - \frac{1}{x_d^*} \right) \cdot \sin 2\theta \quad (6)$$

Коэффициент синхронизирующей мощности ( $P_{см}^*$ ), являясь критерием статической устойчивости, определяется по выражению (8) с учётом выражения (7) (по аналогии определения электромагнитной мощности, выражения (5 – 6)):

$$P_{см}^* = \frac{m \cdot U_{1.ном}^* \cdot E_f^*}{x_d^*} \cdot \cos\theta + \frac{m \cdot U_{1.ном}^{*2}}{2} \left( \frac{1}{x_q^*} - \frac{1}{x_d^*} \right) \cdot \cos 2\theta \quad (7)$$

$$P_{см}^* = \frac{E_f^*}{x_d^*} \cdot \cos\theta + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{x_q^*} - \frac{1}{x_d^*} \right) \cdot \cos 2\theta \quad (8)$$

## Библиографический список

1. Электрические станции: ежемес. произв.-техн. журн./ учредитель : Минэнерго России, ОАО "Федеральная сетевая компания ЕЭС", Электроэнергетическая Ассоциация "Корпорация ЕЭЭК", научно-техническая фирма "Энергопрогресс", НП "Научно-технический Совет ЕЭС"; гл. ред.: Гурген Ольховский. – Москва: НТФ "Энерго-прогресс", 1930 – . – 29 см : а-цв.ил. - Входит в Перечень ВАК. – URL : <http://www.elst.energy-journals.ru/>. – Срок хранения 15 лет. - Выходит ежемесячно, Ред.: Ольховский Г. Г. – ISSN 0201-4564.
2. Электричество: ежемес. научно-техн. журн./ учредитель Русское техническое общество, РАН СССР: - Москва: ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет МЭИ – Входит в Перечень ВАК. – URL. <http://etr1880.mpei.ru> – Срок хранения 15 лет. – Выходит ежемесячно, Ред. : Бутырин П.А.
3. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – 9-е изд., испр. – Москва: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
4. Белей, В.Ф. Энергосберегающие технологии в системах электроснабжения: учебное пособие для вузов / В.Ф. Белей, А.Ю. Никишин, В.Ф. Паршина, Л.Д Шабалин. Под. ред. В.Ф. Белея. – Калининград: Издательство КГТУ, 2021. – 98 с.
5. Петров Г. Н. Электрические машины. В 3 томах. Ч.1. Введение. Трансформаторы. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.
6. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники: учеб. для вузов. В трех т. Под общ. ред. К.М. Поливанова. Т.1. К. М. Поливанов. Линейные электрические цепи с сосредоточенными постоянными. – Москва: Энергия, 1972. – 240 с.
7. Ветров В. И. Режимы электрооборудования электрических станций: учеб. пособие / В. И. Ветров, Л. Б. Быкова, В. И. Ключенович. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2010. – 243 с.
8. Копылов И.П. Электрические машины: учеб. пособие для вузов. – Москва: Логос; 2000. – 607 с.

## Приложение А. Вопросы к дифференцированному зачету

1. Пояснить конструкцию и режимы работы схем распределительных устройств электростанций и подстанций.
2. Пояснить конструкцию и режимы работы главной схемы гидроэлектростанции.
3. Пояснить конструкцию и режимы работы главной схемы конденсационной электростанции.
4. Пояснить конструкцию и режимы работы главной схемы теплоэлектростанции.
5. Пояснить конструкцию и режимы работы главной схемы атомной электростанции.
6. Основные требования к системам возбуждения турбо-, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов (ГОСТ 21588-2018).
7. Оборудование и принцип действия схем возбуждения синхронных генераторов первых поколений.
8. Основные сведения о современных тиристорных системах возбуждения: системы тиристорные независимые; системы тиристорные самовозбуждения; системы бесщеточные диодные.
9. Гашение магнитного поля синхронного генератора.
10. Анализ результатов экспериментальных исследований гашения магнитного поля синхронного генератора.
11. Автоматическое регулирование возбуждения. Форсировка возбуждения.
12. Располагаемая диаграмма мощностей синхронного генератора.
13. Определение сопротивления нулевой последовательности трансформатора.
14. Режим работы трансформаторов: звезда / звезда с нулевым проводом: физические процессы, векторная диаграмма.
15. Режим работы трансформаторов: треугольник / звезда с нулевым проводом: физические процессы, векторная диаграмма.

16. Режим работы трансформаторов: звезда / зигзаг с нулевым проводом: физические процессы, векторная диаграмма.
17. Переходной процесс при включении трансформатора к сети на холостом ходу.
18. Энергосберегающие трансформаторы: особенности конструкции, технические характеристики.
19. Физические процессы, обуславливающие характер реактивной мощности в электроэнергетических системах. Обеспечение баланса реактивной мощности в энергосистеме.
20. Реакторы: конструкция, режимы работы.
21. Шунтовые конденсаторные батареи: конструкция, режимы работы.
22. Синхронный компенсатор: назначение, режим работы.
23. Статический тиристорный компенсатор, устройство и режим работы.

Локальный электронный методический материал

Белей Валерий Феодосиевич

Коротких К. В.

## **ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

*Редактор И. Голубева*

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 1,5. Печ. л. 1,2.

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»,  
236022, Калининград, Советский проспект, 1