

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Электрических станций, сетей и систем»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры электрических станций, сетей и систем
Протокол №7 от 10 марта 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

Направление: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Электрические станции, системы и сети

Квалификация: Магистр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Федосов Денис
Сергеевич
Дата подписания: 08.05.2025

Документ подписан простой электронной
подписью
Утвердил и согласовал: Федосов Денис
Сергеевич
Дата подписания: 17.05.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Устойчивость электрических систем» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПК-1 Способен выполнять научные исследования и анализ нормальных и аварийных режимов работы электрических станций, сетей и систем	ПК-1.4
ПК-2 Способен выполнять работы по анализу эксплуатации, техническому обслуживанию и перевооружению автоматизированных систем управления технологическими процессами	ПК-2.2

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПК-1.4	Выполняет расчёты нормальных и аварийных режимов для исследования статической, динамической и результирующей устойчивости электрических систем	Знать методы анализа научных данных по исследованию устойчивости электрических систем и теории её обеспечения Уметь применять актуальную нормативную документацию по устойчивости электрических систем и теории её обеспечения Владеть осуществлением разработки планов и программ проведения исследований устойчивости работы энергосистем и систем управления ими
ПК-2.2	Проводит расчёты устойчивости электрических систем, на основании расчётов анализирует эффективность управляющих комплексов в электроэнергетических системах	Знать технологии и средства проведения расчётов устойчивости электрических систем для решения задач автоматического управления Уметь проводить экспертизы новых технологических решений для повышения устойчивости электроэнергетических систем Владеть навыками анализа эффективности работы устройств автоматического управления режимами работы электроэнергетических систем

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Устойчивость электрических систем» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Микропроцессорная техника в электроэнергетике», «Релейная защита ЭЭС»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Автоматизированные системы управления технологическими процессами», «Противоаварийная автоматика», «Производственная практика: практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности», «Производственная практика: преддипломная практика»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 2
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	39	39
лекции	13	13
лабораторные работы	0	0
практические/семинарские занятия	26	26
Контактная работа, в том числе	0	0
в форме работы в электронной информационной образовательной среде	0	0
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	33	33
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Экзамен	Экзамен

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 2

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Статическая устойчивость ЭЭС	1	4			3, 7	8	1, 2, 3	8	Решение задач
2	Математическое описание синхронного генератора	2	2			1, 2	6	1, 2, 3	8	Устный опрос
3	Статическая колебательная неустойчивость параллельной работы генератора	3	4			4	4	1, 2, 3	9	Решение задач
4	Статическая	4	3			5, 6	8	1, 2,	8	Решение

	колебательная неустойчивость узла нагрузки							3		задач
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен
	Всего		13				26		69	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 2

№	Тема	Краткое содержание
1	Статическая устойчивость ЭЭС	Устойчивость параллельной работы генераторов. Модель станция – шины бесконечной мощности. Инициализация уравнений динамики. Численное интегрирование уравнений станция – шины бесконечной мощности в ПВК Scilab. Численное исследование возмущений – несбалансированные начальные условия, коммутации линий, сброс/наброс мощности на турбине, изменение возбуждения генератора, короткое замыкание на шинах бесконечной мощности
2	Математическое описание синхронного генератора	Синхронный генератор. Вращающаяся система координат, dq0 преобразование. Уравнения Парка-Горева. Математическое описание синхронного генератора
3	Статическая колебательная неустойчивость параллельной работы генератора	Статическая колебательная неустойчивость. Самораскачивание системы. Автоматические регуляторы возбуждения. Статическая колебательная неустойчивость параллельной работы генератора.
4	Статическая колебательная неустойчивость узла нагрузки	Статическая колебательная неустойчивость. Самораскачивание системы. Устройства компенсации реактивной мощности непрерывного действия (УШР, СТК, СТАТКОМ). Модель источника реактивной мощности с локальным регулятором. Статическая колебательная неустойчивость узла нагрузки.

4.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 2

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Расчет простейшей системы автоматического управления (САУ)	3
2	Расчет динамической устойчивости простейшей модели станция – шины бесконечной мощности	3

3	Расчет статической апериодической устойчивости параллельной работы генераторов с использованием модели станция – шины бесконечной мощности	4
4	Расчет статической колебательной устойчивости параллельной работы генераторов с использованием модели станция – шины бесконечной мощности	4
5	Расчет статической апериодической устойчивости узла нагрузки с использованием модели станция – узел нагрузки	4
6	Расчет статической колебательной устойчивости узла нагрузки с использованием модели станция – узел нагрузки	4
7	Составление динамической модели сложной ЭЭС	4

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 2

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Подготовка к практическим занятиям	8
2	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	16
3	Проработка разделов теоретического материала	9

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: дискуссия, проводимая в форме публичного обсуждения по поводу заданного спорного вопроса, проблемы

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Практические занятия направлены на закрепление теоретических знаний, более глубокое освоение уже имеющихся у студентов умений и навыков и приобретение новых умений и навыков, необходимых для формирования компетенций, предусмотренных основной образовательной программой.

Цель практического занятия: выработка основных умений и навыков, связанных с решением примеров и задач.

Задание на практическое занятие:

- условия задач по соответствующей теме выдаются студентам в начале занятия;
- для более успевающих студентов предусматриваются дополнительные задания повышенной сложности.

Требования по выполнению заданий:

- все задачи следует решать подробно. Вычисления должны быть расположены в логическом порядке;
- графическую часть можно выполнять от руки в соответствии с данными условиями.

Если рисунок требует точного выполнения, то следует пользоваться линейкой с указанием

масштаба;

- решение каждой задачи должно быть доведено до окончательного ответа, которого требует условие, и, по возможности, проведено в общем виде. Затем в полученное выражение подставляют числовые значения (если таковые даны) входящих в нее переменных.

Ход занятия:

- повторение соответствующего теоретического материала, который был рассмотрен на лекции. Студент должен иметь при себе конспект лекций и тетрадь для практических занятий;

- решение студентами типовых задач на доске под контролем и с пояснениями преподавателя;

- самостоятельное решение задач. Преподаватель контролирует процесс, при необходимости консультируя студентов, добиваясь, чтобы каждый студент включился в практическую работу;

- в конце занятия преподаватель анализирует работу студентов и оценивает участие каждого в процессе решения задач.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Подготовка к практическим занятиям – выполнение заданий по практическим занятиям с последующей их защитой.

Подготовка к экзамену – изучение основной и дополнительной литературы, подготовка по предварительно выданным контрольным вопросам.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 2 | Решение задач

Описание процедуры.

Обучающийся выполняет расчётно-графическую работу по индивидуальному варианту, оформляя решение в печатном виде. Преподаватель проверяет решение и задаёт 1-2 уточняющих вопроса по ходу решения.

Критерии оценивания.

Обучающийся сдал расчётно-графическую работу, если не допустил ошибок при решении и оформлении и показал при ответе на уточняющие вопросы самостоятельность решения, знание и удовлетворительное понимание темы работы. В противном случае решение задачи защищается повторно на следующем отведённом для этого занятии.

6.1.2 семестр 2 | Устный опрос

Описание процедуры.

Проводится в начале каждого занятия по разделам дисциплины.

Позволяет не только опрашивать и контролировать знания обучающихся, но и сразу же поправлять, повторять и закреплять знания, умения и навыки. Проводится в виде устных тестов. Обучающийся выбирает один вариант из нескольких предложенных, свой ответ он должен обосновать. Опрос занимает минимум времени, используется на этапах повторения и закрепления темы.

Критерии оценивания.

Показывает всестороннее и глубокое знание учебного и нормативного материала (зачтено). Показывает пробелы в знаниях основного учебного материала, допускает принципиальные ошибки в ответах (не зачтено).

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПК-1.4	Самостоятельно выполняет расчёты нормальных и аварийных режимов с целью проведения исследований статической, динамической и результирующей устойчивости электрических систем	Устное собеседование по теоретическим вопросам на экзамене. Выполнение практических заданий
ПК-2.2	Демонстрирует способность выполнять расчёты устойчивости электрических систем, анализировать на основании расчётов эффективность систем управления энергообъектами	Устное собеседование по теоретическим вопросам на экзамене. Выполнение практических заданий

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 2, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Экзамены проводятся по билетам, составленным в соответствии с программой курса и утвержденным заведующим кафедрой.

В случае организации проведения экзамена в форме тестирования экзаменационные тесты формируются на основе набора тестовых заданий по дисциплине, утвержденных заведующим кафедрой.

Перечень теоретических и практических вопросов, включенных в билеты, форма и порядок проведения экзамена доводятся до сведения обучающихся не позднее, чем за месяц до начала экзаменационной сессии.

Экзаменатор имеет право с целью более глубокого выяснения уровня знаний студента задавать ему дополнительные вопросы, а также задачи в рамках программы дисциплины.

Пример задания:

1. Понятие устойчивости. Статическая и динамическая устойчивость.
2. Математическое описание динамики ЭЭС. Метод пространства состояний.
3. Математическое описание динамики ЭЭС. Метод структурных схем.
4. Математическая модель станция - шины бесконечной мощности.
5. Элементы теории автоматического управления (ТАУ). Пропорциональное звено.
6. Элементы теории автоматического управления (ТАУ). Аperiodическое звено.
7. Элементы теории автоматического управления (ТАУ). Дифференциальное звено.
8. Элементы теории автоматического управления (ТАУ). Интегральное звено.
9. Математическая модель станция - шины бесконечной мощности.
10. Решение систем линейных однородных дифференциальных уравнений.
11. Понятие собственного вектора и собственного числа матрицы.
12. Способ анализа статической устойчивости системы однородных дифференциальных уравнений.
13. Матрица Якоби
14. Способ анализа статической устойчивости системы нелинейных дифференциальных уравнений.
15. Динамическая устойчивость параллельной работы генераторов.
16. Статическая аperiodическая устойчивость параллельной работы генераторов.
17. Статическая колебательная устойчивость параллельной работы генераторов.
18. Математическая модель регулятора возбуждения генератора.
19. Эффект самораскачивания генератора
20. Динамика движения собственных чисел при утяжелении режима и нарушении аperiodической устойчивости параллельной работы генераторов.
21. Динамика движения собственных чисел при утяжелении режима и нарушении колебательной устойчивости параллельной работы генераторов.
22. Математическая модель системы станция - узел нагрузки.
23. Статические характеристики узла нагрузки (ZIP-модель).
24. Динамические характеристики узла нагрузки
25. Анализ матрицы Якоби для различных моделей нагрузки.
26. Статическая аperiodическая устойчивость узла нагрузки.
27. Динамика движения собственных чисел при утяжелении режима в случае нарушения статической аperiodической устойчивости узла нагрузки.
28. Статическая колебательная устойчивость узла нагрузки.
29. Динамика движения собственных чисел при утяжелении режима в случае нарушения статической колебательной устойчивости узла нагрузки.
30. Уравнения синхронной машины в неподвижных координатах (координатах статора).
31. Уравнения синхронной машины в подвижных координатах (координатах ротора). Преобразование dq0.
32. Уравнения Парка-Горева. Различные виды записи уравнений.
33. Методы численного интегрирования дифференциальных уравнений: классический и модифицированный метод Эйлера, метод Рунге-Кутты.
34. Дифференциально-алгебраические уравнения. Принцип разделения переменных, описывающих динамику процесса.
35. Составление уравнений электромеханического движения ЭЭС.
36. Численные схемы решения дифференциально-алгебраических уравнений: раздельное и совместное решение.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительн о	Неудовлетворительно
---------	--------	-----------------------	---------------------

Показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умеет свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший учебную программу дисциплины и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Показывает усвоение взаимосвязи основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала	Показывает полное знание учебного материала, успешно выполняет предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Показывает систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.	Показывает знание основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляется с выполнением заданий, предусмотренных программой, знаком с основной литературой, рекомендованной программой. Допускается возможность погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.	Показывает пробелы в знаниях основного учебного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий.
---	--	--	--

7 Основная учебная литература

1. Новожилов М. А. Переходные процессы в электрической системе с MATLAB : учебное пособие / М. А. Новожилов, 2017. - 302.
2. Воропай Н. И. Переходные процессы в электроэнергетических системах. Основы электромеханических переходных процессов в электроэнергетических системах : учебное пособие / Н. И. Воропай, Д. Н. Ефимов, Е. В. Сташкевич, 2020. - 138.
3. Пионкевич В. А. Переходные процессы в электроэнергетических системах. Моделирование переходных процессов в системе MATLAB : учебное пособие / В. А. Пионкевич, 2021. - 94.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Переходные процессы и устойчивость электроэнергетических систем : сб. науч. тр. / Гос. науч.-исслед. энерг. ин-т им. Г. М. Кржижановского, 1983. - 129.
2. Кычаков В. П. Методы решения задачи Коши для дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы в электрических системах : учебное пособие для специальности 100400 "Электроснабжение", 100100 "Электрические станции" / В. П. Кычаков, 2001. - 143.
3. Пионкевич В. А. Переходные процессы : электронный курс / В. А. Пионкевич, 2019
4. Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях : учеб. пособие для втузов / Н. Д. Анисимова и др.; под ред. В. А. Веникова, 1967. - 454.
5. Веников В. А. Электромеханические переходные процессы в электрических системах / В. А. Веников, 1958. - 488.
6. Переходные процессы и вопросы устойчивости в электрических системах / под ред. В. А. Веникова, 1957. - 32.
7. Ушаков Е. И. Статистическая устойчивость электрических систем / Е. И. Ушаков; Отв. ред. Ю. Н. Руденко, 1988. - 271.
8. Розанов М. Н. Лекции по курсу "Переходные процессы в электрических цепях". Динамическая устойчивость электрических систем / М. Н. Розанов, 1960. - 67.
9. Жданов П. С. Устойчивость электрических систем / П. С. Жданов, 1948. - 399.
10. Веников В. А. Лекция по курсу "Устойчивость электрических систем". Упрощенные методы расчета динамической устойчивости электрических систем / В. А. Веников, В. И. Горушкин, 1959. - 42.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Windows Professional 8 Russian
2. Microsoft Office Professional Plus 2013
3. MathWorks_MatLabR2010b (Simulink - 30, SimPowerSystems - 30)_511547_eng
4. SiminTech Academic Classroom
5. Свободно распространяемое программное обеспечение Scilab

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Экран с эл/приводом 180*180
2. мультимед.проектор ViewSonic PJ400
3. Компьютер в сборе BN-Ir1811-1 iC2D/iG/2Gb/320Gb/DWD-RWCR/кл/мышь/LCD 19"/ИБП/MOS
4. Доска магнитно-маркерная INDEX настенная ,размер 1x1.8 м