Минобрнауки России

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра электро- и теплоэнергетики

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

«Б1.Д.В.7 Статическая и динамическая устойчивость энергосистем»

Уровень высшего образования

МАГИСТРАТУРА

Направление подготовки

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Автоматизированные энергетические системы и комплексы
(наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Квалификация

Магистр

Форма обучения

Очная

Год набора 2025

Рабочая программа дисциплины «*Б1.Д.В.7 Статическая и динамическая устойчивость энергосистем*» рассмотрена и утверждена на заседании кафедры

Кафедра электро- и теплоэнергетики
наименование кафедры

протокол № 07 от "20" 03 2025 г.

Заведующий кафедрой
Кафедра электро- и теплоэнергетики _____ В.Ю. Соколов
наименование кафедры *подпись* *расшифровка подписи*

Исполнители:
доцент кафедры ЭТЭ _____ В.Б. Шлейников
должность *подпись* *расшифровка подписи*

_____
должность *подпись* *расшифровка подписи*

СОГЛАСОВАНО:
Председатель методической комиссии по направлению подготовки
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника _____ Греков Д.Л.
код наименование *личная подпись* *расшифровка подписи*

Научный руководитель магистерской программы _____ Н.Г. Семенова
личная подпись *расшифровка подписи*

Заведующий отделом формирования фонда и научной обработки документов
_____ С.А. Биктимирова
личная подпись *расшифровка подписи*

Уполномоченный по качеству факультета
_____ С.А. Сильвашко
личная подпись *расшифровка подписи*

№ регистрации _____

© Шлейников В.Б., 2025
© ОГУ, 2025

1 Цели и задачи освоения дисциплины

Цель (цели) освоения дисциплины:

формирование знаний студентов по расчету и анализу аварийных режимов при эксплуатации электроэнергетических систем (ЭЭС) на основе системного подхода; развитие инженерного мышления, основанное на понимании физики явлений, происходящих в ЭЭС при протекании аварийных процессов; изучение методов расчёта переходных процессов; воспитание способности к физической интерпретации результатов анализа; обучение пониманию и предвидению тяжести протекания переходных процессов в условиях управления режимами ЭЭС.

Задачи:

- изучение основных теоретических положений и формул, которые описывают электромеханические переходные процессы в электрических машинах;
- изучение физики переходных процессов в электроэнергетических системах и электрических машинах;
- изучение проблем статической и динамической устойчивости;
- формирование навыков анализа устойчивости электрических систем;
- формирование навыков разработки мероприятий по повышению устойчивости электроэнергетических систем;

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательным дисциплинам (модулям) вариативной части блока Д «Дисциплины (модули)»

Пререквизиты дисциплины: *Б1.Д.В.1 Электроснабжение промышленных предприятий, Б1.Д.В.2 Специальные электромеханические преобразователи, Б1.Д.В.8 Специальные главы математики*

Постреквизиты дисциплины: *Б2.П.В.П.1 Научно-исследовательская работа*

3 Требования к результатам обучения по дисциплине

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих результатов обучения

Код и наименование формируемых компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ПК*-3 Способен применять соответствующий математический аппарат при решении профессиональных задач	ПК*-3-В-4 Применяет математический аппарат для решения задач по определению статической и динамической устойчивости энергосистем	**Знать:** - метод узловых потенциалов; - основные математические выражения, используемые при расчёте ЭДС и сопротивлений электрических схем замещения;

Код и наименование формируемых компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
		- упрощенные уравнения Парка - Горева. **Уметь:** - формировать математическую модель электроустановки на основе системы уравнений узловых потенциалов; - формировать математическую модель синхронных машин и других элементов электроэнергетической системы. **Владеть:** навыками расчётов аварийных режимов электроэнергетических систем.
ПК*-5 Способен исследовать статические и динамические режимы работы энергетических систем	ПК*-5-В-1 Использует методы исследования и анализа временных статических и динамических процессов электроэнергетических систем ПК*-5-В-2 Применяет методы и способы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для определения электромагнитных свойств, параметров и характеристик устойчивости электроэнергетических систем ПК*-5-В-3 Составляет схемы замещения и выбирает методы для расчёта переходных процессов в аварийных ситуациях ПК*-5-В-4 Выделяет практические критерии области устойчивых режимов и оценки запасов устойчивости ПК*-5-В-5 Демонстрирует навыки по разработке мероприятий для повышения устойчивости электроэнергетических систем	**Знать:** основные положения теории устойчивости электроэнергетических систем. **Уметь:** использовать теоретический аппарат для выявления причин нормальных и аварийных переходных процессов; - составлять схемы замещения для расчёта статической и динамической устойчивости систем; - выделять практические критерии области устойчивых режимов и оценки запасов устойчивости. **Владеть:** - навыками применения методик анализа устойчивости

Код и наименование формируемых компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
		электроэнергетических систем;

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 академических часов).

Вид работы	Трудоемкость, академических часов	
	3 семестр	всего
Общая трудоёмкость	**180**	**180**
Контактная работа:	**36,5**	**36,5**
Лекции (Л)	18	18
Практические занятия (ПЗ)	8	8
Лабораторные работы (ЛР)	8	8
Консультации	1	1
Индивидуальная работа и инновационные формы учебных занятий	1	1
Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	0,5	0,5
Самостоятельная работа: *- выполнение курсовой работы (КР);* *- самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий;* *- изучение разделов курса в системе электронного обучения;* *- подготовка к лабораторным занятиям;* *- подготовка к практическим занятиям;* *- подготовка к рубежному контролю и т.п.)*	**143,5** +	**143,5**
Вид итогового контроля (зачет, экзамен, дифференцированный зачет)	**экзамен**	

Разделы дисциплины, изучаемые в 3 семестре

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		всего	аудиторная работа			внеауд. работа
			Л	ПЗ	ЛР	
3	Динамическая устойчивость простейшей системы		4	8	4	
4	Статическая устойчивость сложной системы		12		4	
5	Асинхронные режимы синхронных генераторов		2			
6	Статическая устойчивость узлов нагрузки					12
7	Динамическая устойчивость узлов нагрузки					22
	Итого:	180	18	8	8	146
	Всего:	180	18	8	8	146

4.2 Содержание разделов дисциплины

Раздел 1 Общий подход к анализу устойчивости

Классификация видов устойчивости. Устойчивость «в малом». Графическая иллюстрация определения устойчивости по Ляпунову; Теоремы Ляпунова; Оценка устойчивости системы по корням характеристического уравнения; Устойчивость «в большом»; Устойчивость «в целом»;

Раздел 2 Статическая устойчивость простейшей системы

Предел мощности при приёмной системе бесконечной мощности. Роль индуктивного сопротивления системы. Влияние явнополюсности генератора на угловую характеристику мощности; Влияние АРВ генератора на предел передаваемой мощности; Действительный предел передаваемой мощности; Характеристика мощности при сложной связи генератора с приёмной системой;

Раздел 3 Динамическая устойчивость простейшей системы

Схемы замещения при КЗ. Угловая характеристика мощности в переходном режиме; Динамическая устойчивость станции, работающей на шины бесконечной мощности. Правило площадей; Неустойчивый динамический переход. Определение зависимости $\delta = f(t)$ *; Уравнение относительного движения ротора генератора; Метод последовательных интервалов;*

Раздел 4 **Статическая устойчивость сложной системы**

Метод малых колебаний; Учёт демпфирования; Особые виды нарушения устойчивости; Самораскачивание в ЭЭС; Причины самораскачивания; Влияние активного сопротивления; Влияние продольной ёмкостной компенсации; Влияние настройки автоматических регуляторов; Самовозбуждение в ЭЭС; Алгебраические критерии устойчивости; Критерий устойчивости Гурвица; Критерий устойчивости Рауса; Частотные критерии устойчивости; Критерий устойчивости Михайлова; Метод D-разбиения; Учёт АРВ генераторов при оценке устойчивости системы; Второй метод Ляпунова;

Раздел 5 Асинхронные режимы синхронных генераторов

Понятие асинхронного хода синхронного генератора. Процесс выпадения из синхронизма и возникновение асинхронного хода; Ресинхронизация генераторов;

Раздел 6 Статическая устойчивость узлов нагрузки

Представление нагрузки при расчёте устойчивости ЭЭС; Расчётные модели узлов нагрузки; Статическая устойчивость асинхронных двигателей; Статическая устойчивость синхронных двигателей; Влияние компенсации реактивной мощности на устойчивость узла нагрузки;

Раздел 7 Динамическая устойчивость узлов нагрузки

Резкие изменения параметров режима в системах электроснабжения; Переходный процесс в узле нагрузки при пуске асинхронного двигателя; Переходный процесс в узле нагрузки при пуске синхронного двигателя; Самозапуск асинхронных двигателей; Самозапуск синхронных двигателей; Самовозбуждение асинхронных двигателей во время пуска при применении последовательной ёмкостной компенсации в сети.

4.3 Лабораторные работы

№ ЛР	№ раздела	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов
1	1	Исследование процесса синхронизации натурного синхронного генератора с сетью и регулирование его активной и реактивной мощностей	2
2	2	Определение угловой характеристики мощности синхронного генератора. Исследование влияния параметров элементов, схемы и режима электрической системы на его устойчивость.	2
3	2	Исследование влияния автоматического регулирования возбуждения (АРВ) синхронного генератора на его устойчивость.	2
4	3	Исследование влияния на устойчивость натурного синхронного генератора режима короткого замыкания в электроэнергетической системе.	2
		Итого:	8

4.4 Практические занятия (семинары)

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1	3	Составление схемы замещения нормального режима системы, определение параметров режима, собственных и взаимных проводимостей схемы.	2
2	3	Составление схемы замещения аварийного режима системы при несимметричном КЗ. Определение собственных и взаимных проводимостей.	2
3	3	Составление схемы замещения послеаварийного режима и определение проводимостей.	2
4	3	Построение угловых характеристик мощности для всех режимов с определением коэффициента запаса динамической устойчивости. Определение предельного угла отключения КЗ и предельного времени отключения КЗ.	2
		Итого:	8

4.5 Курсовая работа (3 семестр)

Тема курсовой работы (КР) – «Расчёт статической и динамической устойчивости ЭЭС».

В КР осуществляется расчёт и анализ влияния на запас устойчивости ЭЭС различных факторов, таких как АРВ генераторов, активное сопротивление элементов схемы системы, длина воздушных линий, индуктивное сопротивление генераторов и т.п., а также короткого замыкания

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Основная литература

5.1.1 Куликов, Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: Учебное пособие/Ю.А. Куликов. – Новосибирск: НГТУ, М.: Мир: ООО «Издательство АСТ», 2003. – 283 с.

5.2 Дополнительная литература

5.2.1 Жданов, П.С. Вопросы устойчивости электрических систем [текст]/П.С. Жданов; Под ред. Л.А. Жукова. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.

5.2.2 Пилипенко, В. Т. Статическая и динамическая устойчивость энергосистем [Электронный ресурс] : методические указания для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / В. Т. Пилипенко; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т", Каф. электро- и теплоэнергетики. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 0.93 Мб). - Оренбург : ОГУ, 2019. - 32 с. - Загл. с тит. экрана. - Adobe Acrobat Reader 6.0. - Режим доступа: http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/116076_20200110.pdf

5.2.3 Пилипенко, В. Т. Статическая и динамическая устойчивость энергосистем [Электронный ресурс] : электронный курс лекций / В. Т. Пилипенко; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2.375 Мб). - Оренбург : ОГУ, 2020. - 7 с. - Загл. с тит. экрана. - Архиватор 7-Zip. - Режим доступа: https://ufer.osu.ru/index.php?option=com_uferdbsearch&view=uferdbsearch&action=details&ufer_id=2155

5.3 Периодические издания

1 «Электричество»;
2 «Электротехника»

5.4 Интернет-ресурсы

5.4.1 Устойчивость электроэнергетических систем: учебное пособие для вузов/Т.Я. Окуловская, М.В. Павлова, Т.Ю. Паниковская, В.А. Смирнов; под ред. В.А. Шемпелева. Екатеринбург: УГТУ, 2001 – 60 с. – Режим доступа: https://www.studmed.ru/download/okulovskaya-tya-pavlova-mv-i-dr-ustoychivost-elektricheskih-sistem_5a8a1e36c65.html

5.4.2 Калентионок, Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем: учебное пособие/ Е.В. Калентионок. – Минск: Техноперспектива, 2008. – 376 с. - Режим доступа: http://wave9.ru/books/learning/189138-Ustoychivost-elektroenergeticheskih-sistem.html

5.4.3 Шабад В.К. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учеб.пособие для студ. учреждений высш. проф. образования / В.К.Шабад. – М. : Издательский дом «Академия», 2013. – 192 с. – Режим доступа: http://nashol.com/2015072985930/elektromehanicheskie-perehodnie-processi-v-elektroenergeticheskih-sistemah-uchebnoe-posobie-dlya-studencheskih-uchrejdenii-visshego-professionalnogo-obrazovaniya-shabad-v-k-2013.html

5.4.4 https://studopedia.ru/20_39528_elektroenergeticheskih-sistem.html - «Студопедия»: «Переходные процессы и устойчивость электроэнергетических систем»

5.4.5https://studme.org/226815/tehnika/osnovy_prakticheskih_raschetov_staticheskoy_ustoychivosti_slozhnyh_energosistem#803 – «Studme.org»: «Электроэнергетические системы и сети. Электромеханические переходные процессы»

5 Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

5.5.1 Операционная система РЕД ОС.

5.5.2 LibreOffice - свободный офисный пакет программ, включающий в себя текстовый и табличный редакторы, редактор презентаций и другие офисные приложения.

5.5.3 Интегрированная система решения математических, инженерно-технических и научных задач PTC MathCAD 14.0.

5.5.4 Программная система для организации видео-конференц-связи Webinar.ru

5.5.5 Автоматизированная интерактивная система сетевого тестирования - АИССТ (зарегистрирована в РОСПАТЕНТ, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011610456, правообладатель – Оренбургский государственный университет), режим доступа - http://aist.osu.ru.

5.5.6 Программный комплекс «Multi-Control», входящий в состав программного обеспечения лабораторного стенда «Модель электрической системы».

5.5.7 Программа для анализа процессов при трёхфазном КЗ «Lab», разработанная на кафедре ЭПП (зарегистрирована в УФАП ОГУ 29.04.2010 г. под № 571).

5.5.8 ГАРАНТ Платформа F1 [Электронный ресурс]: справочно-правовая система. / Разработчик ООО НПП «ГАРАНТ-Сервис», 119992, Москва, Воробьевы горы, МГУ, [1990–2023]. – Режим доступа в сети ОГУ для установки системы: \\fileserver1\GarantClient\garant.exe

5.5.9 КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: электронное периодическое издание справочная правовая система. / Разработчик ЗАО «Консультант Плюс», [1992–2023]. – Режим доступа к системе в сети ОГУ для установки системы: \\fileserver1\!CONSULT\cons.exe

5.5.10 http://edu.garant.ru/garant/study/ - Интернет-версия ГАРАНТ-Образование, Система ГАРАНТ для студентов, аспирантов и преподавателей

6 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, курсового проектирования, для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Аудитории оснащены комплектами ученической мебели, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения лабораторных занятий используется лаборатория «*Переходных процессов*» (компьютерный класс), оснащенная двумя лабораторными стендами «Модель электрической системы», мультимедийным проектором, доской, экраном, комплектами ученической мебели, пятью компьютерами с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ОГУ.

Помещение для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой, подключенной к сети "Интернет", и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ОГУ.