

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 2023

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 № 4 от "29" 12 2022.

Заведующий кафедрой

Кафедра электро- и теплоэнергетики

наименование кафедры

подпись

В.Ю. Соколов
расшифровка подписи

Исполнители:

доцент кафедры ЭТЭ

должность

подпись

В.Т. Пилипенко
расшифровка подписи

должность

подпись

расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

Председатель методической комиссии по направлению подготовки

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

код наименование

личная подпись

расшифровка подписи

Э.Л. Греков

Научный руководитель магистерской программы

личная подпись

Н.Г. Семенова
расшифровка подписи

Заведующий отделом формирования фонда и научной обработки документов

личная подпись

расшифровка подписи

Н.Н. Бигалиева

Уполномоченный по качеству института

личная подпись

расшифровка подписи

С.А. Сильвашко

№ регистрации _____

© Пилипенко В.Т., 2023
© ОГУ, 2023

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; - упрощенные уравнения

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

Код и наименование формируемых компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
		- навыками разработки мероприятий по повышению устойчивости 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); - 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

1.1 Классификация видов устойчивости.

1.1.1 Устойчивость «в малом».

1.1.1.1 Графическая иллюстрация определения устойчивости по Ляпунову;

1.1.1.2 Теоремы Ляпунова;

1.1.1.3 Оценка устойчивости системы по корням характеристического уравнения;

1.1.2 Устойчивость «в большом»;

1.1.3 Устойчивость «в целом»;

Раздел 2 Статическая устойчивость простейшей системы

2.1 Предел мощности при приёмной системе бесконечной мощности. Роль индуктивного сопротивления системы. Влияние явноточности генератора на угловую характеристику мощности;

2.2 Влияние АРВ генератора на предел передаваемой мощности;

2.3 Действительный предел передаваемой мощности;

2.4 Характеристика мощности при сложной связи генератора с приёмной системой;

Раздел 3 Динамическая устойчивость простейшей системы

3.1 Схемы замещения при КЗ. Угловая характеристика мощности в переходном режиме;

3.2 Динамическая устойчивость станции, работающей на шины бесконечной мощности.

Правило площадей;

3.3 Неустойчивый динамический переход. Определение зависимости $\delta = f(t)$;

3.4 Уравнение относительного движения ротора генератора;

3.5 Метод последовательных интервалов;

Раздел 4 Статическая устойчивость сложной системы

2.1 Метод малых колебаний;

2.2 Учёт демпфирования;

2.3 Особые виды нарушения устойчивости;

2.3.1 Самораскачивание в ЭЭС;

2.3.1.1 Причины самораскачивания;

2.3.1.2 Влияние активного сопротивления;

2.3.1.3 Влияние продольной ёмкостной компенсации;

2.3.1.4 Влияние настройки автоматических регуляторов;

2.3.2 Самовозбуждение в ЭЭС;

2.4 Алгебраические критерии устойчивости;

2.4.1 Критерий устойчивости Гурвица;

2.4.2 Критерий устойчивости Рауса;

2.5 Частотные критерии устойчивости;

2.5.1 Критерий устойчивости Михайлова;

2.5.1 Метод D-разбиения;

2.6 Учёт АРВ генераторов при оценке устойчивости системы;

2.7 Второй метод Ляпунова;

Раздел 5 Асинхронные режимы синхронных генераторов

5.1 Понятие асинхронного хода синхронного генератора.

5.2 Процесс выпадения из синхронизма и возникновение асинхронного хода;

5.3 Ресинхронизация генераторов;

Раздел 6 Статическая устойчивость узлов нагрузки

6.1 Представление нагрузки при расчёте устойчивости ЭЭС;

6.2 Расчётные модели узлов нагрузки;

6.3 Статическая устойчивость асинхронных двигателей;

6.4 Статическая устойчивость синхронных двигателей;

6.5 Влияние компенсации реактивной мощности на устойчивость узла нагрузки;

Раздел 7 Динамическая устойчивость узлов нагрузки

7.1 Резкие изменения параметров режима в системах электроснабжения;

7.2 Переходный процесс в узле нагрузки при пуске асинхронного двигателя;

- 7.3 Переходный процесс в узле нагрузки при пуске синхронного двигателя;
 7.4 Самозапуск асинхронных двигателей;
 7.5 Самозапуск синхронных двигателей;
 7.6 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 натурального 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 натурального 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.

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

5.2 Дополнительная литература

5.2.1 Пилипенко, В. Т. Статическая и динамическая устойчивость энергосистем [Электронный ресурс] : методические указания для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / В. Т. Пилипенко; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 1.82 Мб). - Оренбург : ОГУ, 2017. - 64 с. - Загл. с тит. экрана. - Adobe Acrobat Reader 6.0. - Режим доступа: http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/59078_20171113.pdf

5.2.2 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-elektricheskikh-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-elektroenergeticheskikh-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/elektromehaniicheskie-perehodnie-processi-v-elektroenergeticheskikh-sistemah-uchebnoe-posobie-dlya-studencheskikh-uchrejdений-visshego-professionalnogo-obrazovaniya-shabad-v-k-2013.html>

5.4.4 https://studopedia.ru/20_39528_elektroenergeticheskikh-sistem.html - «Студопедия»: «Переходные процессы и устойчивость электроэнергетических систем»

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

5.5 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: <\\fileservеr1\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: <\\fileservеr1\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.