Минобрнауки России

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

Кафедра электро- и теплоэнергетики

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

«Б1.Д.В.13 Переходные процессы в электроэнергетических системах»

Уровень высшего образования

БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Электроснабжение
(наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Заочная

Год набора 2024

Рабочая программа дисциплины «*Б1.Д.В.13 Переходные процессы в электроэнергетических системах*» рассмотрена и утверждена на заседании кафедры

Кафедра электро- и теплоэнергетики
наименование кафедры

протокол № 4 от "22" 02 2024 г.

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

Исполнители:
старший преподаватель _____ А.А. Веремеев
должность *подпись* *расшифровка подписи*

_____
должность *подпись* *расшифровка подписи*

СОГЛАСОВАНО:
Председатель методической комиссии по направлению подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника _____ С.В. Митрофанов
код наименование *личная подпись* *расшифровка подписи*

Заведующий отделом формирования фонда и научной обработки документов
_____ Н.Н. Бигалиева
личная подпись *расшифровка подписи*

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

№ регистрации _____

© Веремеев А.А., 2021
© ОГУ, 2021

2

1 Цели и задачи освоения дисциплины

Цель (цели) освоения дисциплины:

Дисциплина «Переходные процессы в электроэнергетических системах» является основной, специальной, призванной формировать профессиональную подготовку бакалавров направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования.

Общая цель курса – 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.

Дисциплина «Переходные процессы в электроэнергетических системах» является одной из профилирующих для электроэнергетических специальностей и специализаций. Переходные процессы возникают в электрических системах как при нормальной эксплуатации (включение и отключение нагрузок, источников питания, отдельных цепей, производство испытаний и пр.), так и в аварийных условиях (обрыв нагруженной цепи или отдельной ее фазы, короткое замыкание, выпадение машины из синхронизма и т. д.). Их изучение не может быть самоцелью. Оно необходимо для ясного представления причин возникновения и физической сущности этих процессов, а также для разработки практических критериев и методов их количественной оценки с тем, чтобы можно было предвидеть и заранее предотвратить опасные последствия таких процессов. Важно не только понимать переходные процессы, но и уметь сознательно управлять ими.

При любом переходном процессе в той или иной мере происходит изменение электромагнитного состояния элементов системы и нарушение баланса между моментом на валу каждой вращающейся машины и электромагнитным моментом. В результате этого нарушения изменяются скорости вращения машин, т. е. некоторые машины испытывают торможение, в то время как другие – ускорение. Такое положение существует до тех пор, пока регулирующие устройства не восстановят нормальное состояние, если это осуществимо при изменившихся условиях. Из этого следует, что переходный процесс характеризуется совокупностью электромагнитных и механических изменений в системе, которые взаимно связаны и по существу представляют единое целое. Тем не менее благодаря довольно большой механической инерции вращающихся машин начальная стадия переходного процесса характеризуется преимущественно электромагнитными изменениями.

Способность электроэнергетической системы самостоятельно восстанавливать исходный режим работы получила название устойчивости. Аварии, связанные с нарушением устойчивости работы электрических машин в электроэнергетических системах, влекут за собой расстройства электроснабжения больших районов и городов. Ликвидация таких аварий и восстановление нормальных условий работы электроэнергетических систем представляют большие трудности, требуют много времени и усилий оперативного персонала. При сравнительно небольшом числе аварий, вызывающих нарушение устойчивости, наибольший аварийный недоотпуск энергии падает именно на этот вид аварий. Тяжелые последствия таких аварий заставляют уделять значительное внимание вопросам обеспечения должного уровня устойчивости как при проектировании электрических станций, так и при их эксплуатации.

Задачи:

Практические задачи, при решении которых специалист-электрик сталкивается с необходимостью количественной оценки тех или иных величин во время переходного процесса, многочисленны и разнообразны, однако все они в конечном итоге объединены единой целью – обеспечить надежность работы генераторов электрических станций, двигателей нагрузки и электрической системы в целом. К основным задачам относятся:

- изучение основных теоретических положений и формул, которые описывают электромагнитные и электромеханические переходные процессы в электрических машинах;
- изучение физики переходных процессов в электроэнергетических системах и электрических машинах;
- изучение проблем статической и динамической устойчивости;
- изучение принципов распределения несимметричных токов и напряжений в сети;
- формирование навыков анализа устойчивости электрических систем;

- формирование навыков разработки мероприятий по повышении устойчивости электроэнергетических систем;
- изучение практических методов расчёта различных видов коротких замыканий.

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Пререквизиты дисциплины: *Б1.Д.Б.11 Информатика, Б1.Д.Б.12 Физика, Б1.Д.Б.14 Математика, Б1.Д.Б.16 Теоретические основы электротехники, Б1.Д.Б.17 Техническая механика, Б1.Д.В.4 Основы электроэнергетики*

Постреквизиты дисциплины: *Б1.Д.В.10 Электрические станции и подстанции, Б1.Д.В.12 Релейная защита и автоматика, Б1.Д.В.16 Электроснабжение промышленных предприятий*

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*-2 Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов	ПК*-2-В-7 Применяет новые методы исследования, режимов работы и расчета параметров основного электроэнергетического оборудования источников и систем электроснабжения ПК*-2-В-8 Применяет методы расчёта переходных процессов в линейных и нелинейных электрических цепях, методы расчёта и проектирования электроэнергетических систем, методы расчёта устойчивости генераторов станций и двигателей нагрузки ПК*-2-В-9 Применяет практические расчёты различных видов короткого замыкания, выделяет практические критерии области устойчивости режимов и оценки запасов устойчивости систем электроснабжения	**Знать:** - проблемы расчёта и анализа аварийных режимов; - виды устойчивости электроэнергетических систем и способы их расчёта. **Уметь:** - производить практические расчёты различных видов короткого замыкания; - выделять практические критерии области устойчивости режимов и оценки запасов устойчивости. **Владеть:** навыками разработки мероприятий по повышению устойчивости электроэнергетических систем.
ПК*-9 Способен использовать современное программное обеспечение для проектирования и эксплуатации систем электроснабжения	ПК*-9-В-5 Производит практические расчёты различных видов короткого замыкания, выделяет практические критерии области устойчивости режимов и оценки запасов устойчивости	**Знать:** применяемое программное обеспечение для расчётов токов короткого замыкания

Код и наименование формируемых компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
		Уметь: выполнять расчеты токов короткого замыкания с использованием специализированных математических программных продуктов **Владеть:** навыками применения методик анализа переходных процессов в электроэнергетических системах

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц (324 академических часа).

Вид работы	Трудоемкость, академических часов		
	6 семестр	7 семестр	всего
Общая трудоёмкость	**144**	**180**	**324**
Контактная работа:	**15,5**	**30,5**	**46**
Лекции (Л)	6	10	16
Практические занятия (ПЗ)	2	10	12
Лабораторные работы (ЛР)	6	8	14
Консультации	1	1	2
Индивидуальная работа и инновационные формы учебных занятий		1	1
Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	0,5	0,5	1
Самостоятельная работа: *- выполнение курсовой работы (КР);* *- выполнение контрольной работы (КонтрР);* *- - изучение в 4 семестре 1,2,3,4,5,6,7 разделов и в 5 семестре 1,2,3,4,5,6 разделов курса в системе электронного обучения;* *- подготовка к лабораторным занятиям;* *- подготовка к практическим занятиям;* *- подготовка к рубежному контролю.*	**128,5** +	**149,5** +	**278**
Вид итогового контроля (зачет, экзамен, дифференцированный зачет)	**экзамен**	**экзамен**	

Разделы дисциплины, изучаемые в 6 семестре

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		всего	аудиторная работа			внеауд. работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Общие положения	10	-	-	-	10
2	Характеристика переходного процесса при трёхфазном коротком замыкании	20	3	1	3	13
3	Установившийся режим короткого замыкания	20	-	-	-	20
4	Начальный момент внезапного изменения режима	14	-	-	-	14
5	Методы расчёта токов трёхфазного короткого замыкания	40	-	-	-	40
6	Несимметричные короткие замыкания	40	2	1	3	34
7	Замыкания в распределительных сетях и сетях промышленных предприятий	10	2	-	-	8
	Итого:	144	6	2	6	124

Разделы дисциплины, изучаемые в 7 семестре

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		всего	аудиторная работа			внеауд. работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Общие положения	10	3	2	4	1
2	Статическая устойчивость системы	40	3	4	4	39
3	Динамическая устойчивость	40	2	2	-	36
4	Устойчивость узлов нагрузки	30	2	2	-	26
5	Асинхронные режимы синхронных генераторов	30	-	-	-	30
6	Мероприятия по улучшению устойчивости	30	-	-	-	30
	Итого:	180	10	10	8	152
	Всего:	324	16	12	14	288

4.2 Содержание разделов дисциплины

4.2.1 4 семестр

Раздел 1 Общие положения

1.1 Общие сведения об электромагнитных переходных процессах;

1.2 Общие указания к расчёту коротких замыканий;

1.3 Система относительных единиц;

1.4 Составление схем замещения с использованием точного и приближённого приведения.

Раздел 2 Характеристика переходного процесса при трёхфазном коротком замыкании

2.1 Общая характеристика переходного процесса при КЗ в простейших трёхфазных цепях, питающихся от источника неограниченной мощности;

2.2 Характеристика переходного процесса при КЗ в цепи, питающейся от генератора без АРВ;

2.3 Характеристика переходного процесса при КЗ в цепи, питающейся от генератора с АРВ.

Раздел 3 Установившийся режим короткого замыкания

3.1 Параметры синхронного генератора в установившемся режиме КЗ (отношение короткого замыкания, синхронные реактивности по продольной и поперечной осям X_d и X_q);

3.2 Влияние и учёт нагрузки в установившемся режиме КЗ (при питании нагрузки от генераторов без АРВ и с АРВ);

Раздел 4 Начальный момент внезапного изменения режима

4.1 Параметры синхронного генератора в начальный момент переходного процесса. Переходные и сверхпереходные ЭДС и реактивности генератора.

4.2 Учёт нагрузки в начальный момент переходного процесса;

Раздел 5 Методы расчёта токов трёхфазного короткого замыкания

5.1 Метод эквивалентных ЭДС (расчёт установившегося, сверхпереходного и ударного токов КЗ) ;

5.2 Метод типовых кривых;

Раздел 6 Несимметричные короткие замыкания

6.1 Основные положения метода симметричных составляющих. Уравнения Кирхгофа при несимметрии;

6.2 Сопротивления отдельных элементов токам различных последовательностей (синхронные машины, асинхронные двигатели, обобщённая нагрузка, силовые трансформаторы и автотрансформаторы, воздушные и кабельные линии);

6.3 Составление схем замещения различных последовательностей (прямой, обратной и нулевой).

6.4 Основные соотношения при несимметричных КЗ (однофазном, двухфазном, двухфазном на землю). Правило эквивалентности прямой последовательности;

6.5 Соотношения между токами при различных видах КЗ;

Раздел 7 Замыкания в распределительных сетях и сетях промышленных предприятий

7.1 Простое замыкание на землю;

7.2 Особенности расчёта токов КЗ в сетях предприятий ТЭК и металлургии;

4.2.2 5 семестр

Раздел 1 Общие положения

1.1 Общие сведения об электромеханических переходных процессах (основные понятия и определения, классификация переходных процессов);

1.2Режимы электрических систем, требования, предъявляемые к режимам. Осуществимость режима, Устойчивость режима;

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

1.4 Понятие о статической устойчивости. Понятие о динамической устойчивости**;**

Раздел 2 Статическая устойчивость системы

2.1 Влияние АРВ генератора на предел передаваемой мощности;

2.2 Действительный предел передаваемой мощности;

2.3 Характеристика мощности при сложной связи генератора с приёмной системой;

Раздел 3 Динамическая устойчивость

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 Уравнение относительного движения ротора генератора;

3.4 Метод последовательных интервалов;

Раздел 4 Устойчивость узлов нагрузки

4.1 Статическая устойчивость асинхронных двигателей;

4.2 Вторичные критерии устойчивости нагрузки;

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 Мероприятия по улучшению устойчивости

6.1 Улучшение параметров элементов электрической системы;

6.2 Дополнительные устройства;

6.3 Режимные мероприятия.

4.3 Лабораторные работы

№ ЛР	№ раздела	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов
		4 семестр	
1	2	Исследование переходного процесса при трёхфазном КЗ в цепи, питающейся от источника неограниченной мощности	4
2	6	Анализ переходного процесса при различных видах несимметричного короткого замыкания	4
		Итого:	6
		5 семестр	
1	1	Исследование процесса синхронизации натурного синхронного генератора с сетью и регулирование его активной и реактивной мощностей	4
2	2	Определение угловой характеристики мощности синхронного генератора. Исследование влияния параметров элементов, схемы и режима электрической системы на его устойчивость.	2

№ ЛР	№ раздела	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов
		Итого:	4
		Всего:	14

4.4 Практические занятия (семинары)

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
		4 семестр	
1	3	Расчет параметров составленной схемы замещения электроэнергетической системы	3
2	6	Составление схемы замещения для метода симметричных составляющих трех последовательностей	3
		5 семестр	
1	2	Угловые характеристики мощности простейшей системы.	2
2	3	Составление схемы замещения нормального режима системы, определение параметров режима, собственных и взаимных проводимостей схемы.	2
3	3	Составление схемы замещения аварийного режима системы при несимметричном КЗ. Определение собственных и взаимных проводимостей.	1
4	3	Составление схемы замещения послеаварийного режима и определение проводимостей. Построение угловых характеристик мощности для всех режимов с определением коэффициента запаса динамической устойчивости.	1
		Итого:	12

4.5 Курсовая работа (7 семестр)

Целью выполнения курсовой работы (КР) является овладение студентами практических навыков по использованию основных методов расчёта переходных процессов.

Тема курсовой работы: «Расчёт токов короткого замыкания».

В КР выполняются расчёты трёхфазного, и одного из двух видов несимметричного КЗ (однофазного, либо двухфазного на землю) двумя методами (эквивалентных ЭДС и типовых кривых). Задаются различные комбинации видов КЗ, мест их возникновения и исходных данных.

4.6 Контрольная работа (4 семестр)

Целью выполнения курсовой работы (КонтрР) является овладение студентами практических навыков по составлению схем замещения для расчёта переходных процессов и определению их параметров.

Тема контрольной работы: «Схемы замещения для расчёта токов короткого замыкания и определение их параметров».

В контрольной работе составляется схема замещения сверхпереходного режима трёхфазного короткого замыкания и определяются её параметры в системах именованных и относительных единиц с использованием различных способов приведения их к основной ступени напряжения.

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Основная литература

1 Пилипенко В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие/ Пилипенко В.Т.— Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2014.— 124 с. – Режим доступа: http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/5329_20140930.pdf

5.2 Дополнительная литература

1 Ульянов, С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах/С.А.Ульянов.- М.: Энергия, 1970. – 519 с ;

2 Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования/ Под ред. Б.Н.Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 152 с.

3 Пилипенко, В. Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах [Электронный ресурс] : методические указания для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению 140400.62 Электроэнергетика и электротехника / В. Т. Пилипенко; М-во образования и науки Рос. Федерации, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т", Каф. электроснабжения пром. предприятий. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 1.45 Мб). - Оренбург : ОГУ, 2014. - Загл. с тит. экрана. -Adobe Acrobat Reader 6.0 – Режим доступа: http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/6717_20141223.pdf

4 Пилипенко, В. Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах [Электронный ресурс] : методические указания для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению 140400.62 Электроэнергетика и электротехника, профили подготовки: "Электроснабжение"; "Электрические станции" / В. Т. Пилипенко; М-во образования и науки Рос. Федерации, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т", Каф. электроснабжения пром. предприятий. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 1.71 Мб). - Оренбург : ОГУ, 2015. - Загл. с тит. экрана. -Adobe Acrobat Reader 6.0 – Режим доступа: http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/7747_20150330.pdf

5 Пилипенко, В. Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах [Электронный ресурс] : методические указания для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, профили подготовки: "Электроснабжение"; "Электрические станции" / В. Т. Пилипенко; М-во образования и науки Рос. Федерации, Гос. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т", Каф. электро- и теплоэнергетики. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 1.05 Мб). - Оренбург : ОГУ, 2015. - 40 с. - Загл. с тит. экрана. -Adobe Acrobat Reader 6.0 – Режим доступа: http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/9403_20151218.pdf

5.3 Периодические издания

Журналы:

1 «Электричество»;

2 «Электротехника».

5.4 Интернет-ресурсы

1 ГОСТ Р 52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ– Режим доступа: http://www.elec.ru/library/gosts_e72/gost-r-52735-2007/

2 Короткие замыкания и выбор электрооборудования: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ И.П.Крючков и [др.], под ред. И.П.Крючкова и В.А.Старшинова. – М.: Издательский дом

МЭИ, 2012. – 568 с.: ил. ISBN 978-5-383-00709-9. http://nashol.com/2014072079009/korotkie-zamikaniya-i-vibor-elektrooborudovaniya-kruchkov-i-p-starshinov-v-a-gusev-u-p-2012.html

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. ISBN 978-5-7695-9822-7. http://nashol.com/2015072985930/elektromehanicheskie-perehodnie-processi-v-elektroenergeticheskih-sistemah-uchebnoe-posobie-dlya-studencheskih-uchrejdenii-visshego-professionalnogo-obrazovaniya-shabad-v-k-2013.html

5.5 Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Операционная система РЕД ОС

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

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

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

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

6. Переходные процессы в электроэнергетических системах [Электронный ресурс] : электронный курс в системе Moodle / А.А. Веремеев, Оренб. гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург : ОГУ, [2020–2023].– Режим доступа: Электронные курсы ОГУ в системе обучения moodle. – https://moodle.osu.ru/course/view.php?id=2829

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.

К рабочей программе прилагаются:

- Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине;

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.