

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор

(подпись)

А.А. Каракозов

« 31 » мая 2023 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.17 Электромагнитные переходные процессы
(код и наименование дисциплины согласно учебному плану)

Направление подготовки: 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления / специальности)

Направленность (профиль): Электрические станции, Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии
(наименование профиля / магистерской программы / специализации)

Программа: бакалавриат
(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Форма обучения: очная, заочная
(очная, заочная, очно-заочная)

Форма обучения	Очная	Заочная
Семестр	6	7
Общая трудоёмкость в з.е./часах	5/180	5/180
Контактная работа (час.), в том числе	74	24
лекции (час.)	51	8
лабораторные работы (час.)	17	4
практические (семинарские) занятия (час.)	-	4
Самостоятельная работа (час.), в том числе	70	138
курсовой проект (работа) (семестр/час.)	6/27	7/27
Контроль (экзамен, час./зачёт)	Экзамен (36)	Экзамен (18)

Донецк, 2023 г.

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры «Электрические системы».

Протокол от «____» _____ 20__ года № ____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры «Электрические системы».

Протокол от «____» _____ 20__ года № ____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры «Электрические системы».

Протокол от «____» _____ 20__ года № ____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры «Электрические системы».

Протокол от «____» _____ 20__ года № ____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры «Электрические системы».

Протокол от «____» _____ 20__ года № ____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20__ года приёма на заседании кафедры «Электрические системы».

Протокол от «____» _____ 20__ года № ____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (Ф.И.О.)

1 ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Значение дисциплины "Электромагнитные переходные процессы" в решении общих народнохозяйственных задач заключается в том, что она будет оказывать содействие не только для повышения надежности функционирования электрических систем в динамических режимах в соответствии с определенными правилами, но также и формированию самых правил и стратегий, которые обеспечивают успешность действий.

Целью дисциплины является: формирование у студентов знаний и умений по теоретическим основам, методам и алгоритмам расчетов переходных процессов, возникающих при изменении электромагнитного состояния элементов электроэнергетической системы, вызванного короткими замыканиями, обрывами проводов, сложными повреждениями, форсировкой возбуждения генераторов и др. причинами, а также знакомство со способами и средствами, с помощью которых можно управлять переходными процессами, придавая им желаемый характер.

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать:

- причины возникновения электромагнитных переходных процессов, их физическую природу и влияние на работу электроэнергетической системы;
- основы теории электромагнитных переходных процессов;
- математические модели основных силовых элементов электрических систем;
- методы расчета переходных процессов и методы их анализа с применением современного математического аппарата;
- методы и алгоритмы расчета токов при КЗ и сложных повреждениях в разветвленных высоковольтных сетях, в распределительных сетях, системах электроснабжения и узлах нагрузки, а также длинных линиях электропередачи переменного тока;
- алгоритмы расчета электромагнитных переходных процессов с учетом действия регуляторов возбуждения и влияния качаний синхронных генераторов;

уметь:

- формировать математические модели элементов электрической системы;
- строить на их основе соответствующие расчетные схемы замещения и определять их параметры;
- выбирать рациональные методы расчета, адекватные поставленной задаче;
- рассчитывать электромагнитные переходные процессы, прежде всего токи коротких замыканий, с использованием ПЭВМ;
- учитывать при расчетах сложные взаимоиндуктивные связи, изменение коэффициентов трансформации трансформаторов, нелинейные характеристики элементов схемы, влияние обобщенной комплексной и двигательной нагрузки;
- анализировать полученные результаты и давать им соответствующую физическую интерпретацию;
- строить векторные диаграммы и эпюры напряжений;

- практически подходить к инженерной оценке полученных при принятых допущениях и ограничениях результатов.

владеть:

- навыками формирования математических моделей элементов электрической системы;
- методикой расчета токов симметричных коротких замыканий;
- методикой исследования электромагнитных переходных процессов при однократной поперечной и продольной несимметрии;
- принципами построения векторных диаграмм и эпюр напряжений.

Перечисленные результаты обучения являются основой для формирования следующих компетенций:

- способность моделировать объекты профессиональной деятельности с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования (ПК-2).

2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

Базируется на знаниях и умениях, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин: «Физика», «Теоретические основы электротехники», «Электрические машины», «Электрические системы и сети».

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при выполнении курсовой работы по дисциплине «Основы релейной защиты и автоматизации энергосистем», курсового проекта по дисциплине «Электрическая часть станций и подстанций», изучении последующих дисциплин: «Электромагнитные переходные процессы», «Основы релейной защиты и автоматизации энергосистем», «Электрическая часть станций и подстанций», «Проектирование электрических станций», при выполнении научно-исследовательской работы и прохождении государственной итоговой аттестации.

3 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Распределение учебных часов по темам дисциплины и видам занятий

№ те мы	Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная/заочная форма)				
		Всего	В том числе			
			Лекции	Практ.	Лабор.	СРС
1	Введение.	3/2	2/0	0/0	0/0	1/2
2	Общие сведения об электромагнитных переходных процессах.	3/2	2/0	0/0	0/0	1/2
3	Общие сведения о коротких замыканиях в электрических системах.	3/2	2/0	0/0	0/0	1/2

№ те мы	Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная/заочная форма)				
		Всего	В том числе			
			Лекции	Практ.	Лабор.	СРС
4	Общие указания к составлению расчетных схем и вычислению параметров их элементов.	4/7	2/1	0/0	0/0	2/6
5	Переходные процессы в неразветвленной трехфазной цепи.	8/9	4/1	0/0	2/2	2/6
6	Уравнения электромагнитного переходного процесса синхронного генератора в дифференциальной и операторной форме.	6/11	4/0	0/0	0/0	2/11
7	Начальный момент внезапного изменения режима СМ.	6/7	2/1	0/0	2/0	2/6
8	Установившийся режим короткого замыкания СМ.	6/7	2/1	0/0	2/0	2/6
9	Переходные процессы при внезапном трехфазном коротком замыкании.	9/7	4/1	0/0	2/0	3/6
10	Переходные процессы при форсировке возбуждения и развозбуждении СГ.	7/6	4/0	0/0	0/0	3/6
11	Практические методы расчета токов трехфазных КЗ в сложных системах.	5/9	2/1	0/2	0/0	3/6
12	Замыкания в распределительных сетях, системах электроснабжения и электроустановках до 1000 В.	4/4	2/0	0/0	0/0	2/4
13	Основные положения при исследовании электромагнитных переходных процессов в условиях нарушения симметрии трехфазной цепи.	8/11	4/0	0/0	0/0	4/11
14	Параметры элементов электрической системы для токов отдельных последовательностей. Схемы замещения.	5/6	2/0	0/0	0/0	3/6
15	Однократная поперечная несимметрия.	11/15	4/1	0/2	3/2	4/10
16	Однократная продольная несимметрия.	12/10	4/1	0/0	4/0	4/9
17	Электромагнитные переходные процессы при сложных видах повреждения.	4/6	2/0	0/0	0/0	2/6
18	Способы и средства ограничения и координации уровней токов КЗ в электроэнергетических системах.	7/6	3/0	0/0	2/0	2/6
Контактная работа (дополнительная)		6/8				

№ те мы	Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная/заочная форма)				
		Всего	В том числе			
			Лекции	Практ.	Лабор.	СРС
	Курсовая работа (проект)	27/27				27/27
	Итого по видам занятий	144/162	51/8	0/4	17/4	70/138
	Контроль	36/18				
	ИТОГО	180				

Формирование компетенций в результате освоения тем дисциплины

Компетенции	Темы дисциплины, нацеленные на выработку компетенции
ПК-2	Темы 1-18

3.2 Лекции

Тема 1. Введение.

Содержание темы 1. Основные задачи курса и его связь с другими дисциплинами. Значение дисциплины в решении общих народнохозяйственных задач.

Литература к теме 1: [[1](#), [2](#), [3](#), [4](#)].

Тема 2. Общие сведения об электромагнитных и электромеханических переходных процессах.

Содержание темы 2. Режимы электрических систем. Особенности электромагнитных переходных процессов, причины их возникновения. Значения исследований и расчетов переходных процессов.

Литература к теме 2: [[1](#), [2](#), [3](#), [4](#)].

Тема 3. Общие сведения о коротких замыканиях в электрических системах.

Содержание темы 3. Виды, причины и последствия коротких замыканий. Назначения расчетов коротких замыканий, расчетные условия. Основные допущения, принимаемые при расчетах коротких замыканий.

Литература к теме 3: [[1](#), [2](#), [3](#), [4](#)].

Тема 4. Общие указания к составлению расчетных схем и вычислению параметров их элементов.

Содержание темы 4. Определение параметров элементов схемы в абсолютных (именованных) и относительных единицах. Составление расчетной схемы с трансформаторными связями и определения параметров ее элементов. Преобразование расчетных схем.

Литература к теме 4: [[1](#), [2](#), [3](#), [4](#)].

Тема 5. Переходные процессы в неразветвленной трехфазной цепи.

Содержание темы 5. Трехфазное КЗ в неразветвленной активно-индуктивной цепи, питающейся от идеального источника напряжения с постоян-

ными амплитудой и частотой. Изменение тока и его составляющих в функции времени. Ударный ток КЗ и условия его возникновения. Приближенный расчет переходного процесса трехфазного КЗ в сложной активно-индуктивной цепи, вычисление эквивалентной постоянной времени апериодической составляющей.

Литература к теме 5: [[1](#), [2](#), [3](#), [4](#)].

Тема 6. Уравнения электромагнитного переходного процесса синхронного генератора в дифференциальной и операторной форме.

Содержание темы 6. Основные допущения. Уравнение равновесия ЭДС и падений напряжения в обмотках машин в трехфазной системе неподвижных фазных координат А, В, С. Потокосцепления обмоток. Зависимость индуктивностей обмоток и взаимных индуктивностей машины от положения ротора. Обобщенный вектор трехфазной системы. Переход от переменных в координатах А, В, С к переменным в координатах d , q , вращающихся со скоростью ротора. Уравнение Парка-Горева в дифференциальной и операторной формах записи. Операторные индуктивные сопротивления и проводимости. Частотные характеристики синхронных генераторов.

Литература к теме 6: [[1](#)].

Тема 7. Начальный момент внезапного изменения режима СМ.

Содержание темы 7. Принцип сохранения исходного потокосцепления. Баланс магнитных потоков СГ в нормальном режиме и начальный момент трехфазного КЗ. Физические процессы в начальный момент КЗ. Переходные ЭДС и индуктивности СГ. Схема замещения и векторная диаграмма СГ без демпферных обмоток в начальный момент. Сверхпереходные ЭДС и индуктивности СГ. Схема замещения и векторная диаграмма СГ с демпферными обмотками в начальный момент. Определение переходной и сверхпереходной ЭДС из векторной диаграммы доаварийного режима. Характеристика двигателей и обобщенной комплексной нагрузки. Определение начального значения периодической составляющей тока.

Литература к теме 7: [[1](#)].

Тема 8. Установившийся режим короткого замыкания СМ.

Содержание темы 8. Физическая картина процесса. Определение параметров, характеризующих СГ в установившемся режиме трехфазного КЗ. Схема замещения и векторная диаграмма. Приближенный учет нагрузки. Расчет токов КЗ при отсутствии автоматического регулирования возбуждения (АРВ). Влияние и учет действия АРВ. Критический ток и критические реактивности. Расчет установившегося тока КЗ в схеме при наличии нескольких источников питания с АРВ.

Литература к теме 8: [[1](#), [2](#), [3](#), [4](#)].

Тема 9. Переходные процессы при внезапном трехфазном коротком замыкании.

Содержание темы 9. Физическая картина процесса при трехфазном КЗ на выводах СГ без демпферных обмоток. Операторный метод расчета токов КЗ СГ

без демпферных обмоток. Закономерности изменения во времени тока, напряжения и ЭДС генератора. Свободные составляющие токов и постоянные времени их затухания. Особенности переходных процессов в генераторах с демпферными обмотками. Влияние АРВ на переходные процессы при КЗ. Влияние качаний генераторов на электромагнитные переходные процессы.

Литература к теме 9: [1].

Тема 10. Переходные процессы при форсировке возбуждения и развозбуждении СГ.

Содержание темы 10. Назначение форсирования возбуждения и гашения электромагнитного поля. Переходные процессы при включении обмотки возбуждения СГ на постоянное напряжение. Гашение электромагнитного поля путем переключения обмотки возбуждения на постоянное разрядное активное сопротивление. Гашение поля с помощью дугогасящих решеток. Влияние демпферных обмоток на процессы при форсировании возбуждения и гашении электромагнитного поля.

Литература к теме 10: [1].

Тема 11. Практические методы расчета токов трехфазных КЗ в сложных системах.

Содержание темы 11. Приближенный учет системы. Расчет начального сверхпереходного и ударного токов. Начальный ток КЗ от двигателей и обобщенной нагрузки. Практические методы расчета токов КЗ для сложной электрической системы для произвольного момента времени. Метод типовых кривых. Расчет токов для произвольного времени от двигателей. Применение ПЭВМ для расчетов токов КЗ.

Литература к теме 11: [1, 5].

Тема 12. Замыкания в распределительных сетях, системах электроснабжения и электроустановках до 1000 В.

Содержание темы 12. Простое замыкание фазы на землю. Основные математические соотношения. Векторные диаграммы токов и напряжений. Комплексная схема замещения. Ограничение тока замыкания на землю. Условия полной компенсации емкостного тока замыкания на землю. Расчет токов в установках до 1кВ. Учет активных и индуктивных сопротивлений элементов и контактных соединений КЗ.

Литература к теме 12: [1].

Тема 13. Основные положения при исследовании электромагнитных переходных процессов в условиях нарушения симметрии трехфазной цепи.

Содержание темы 13. Общие указания относительно исследования несимметричных режимов. Образование высших гармоник. Применение метода симметричных составляющих к расчету несимметричных режимов. Система уравнений Кирхгофа при нарушении симметрии.

Литература к теме 13: [1, 2, 3, 4].

Тема 14. Параметры элементов электрической системы для токов отдельных последовательностей. Схемы замещения.

Содержание темы 14. Параметры электрических машин, обобщенной комплексной нагрузки трансформаторов, воздушных и кабельных линий, для токов различных последовательностей. Составление схем замещения электрических систем прямой, обратной и нулевой последовательностей. Распределение и трансформация симметричных составляющих токов и напряжений.

Литература к теме 14: [1].

Тема 15. Однократная поперечная несимметрия.

Содержание темы 15. Однофазное, двухфазное и двухфазное КЗ на землю. Предельные условия несимметрии. Математические соотношения для расчета токов и напряжений в месте несимметричного КЗ. Векторные диаграммы токов и напряжений. Правило эквивалентности прямой последовательности. Комплексные расчетные схемы замещения. Эпюры напряжений. Сравнение токов различных видов КЗ. Применение практических методов к расчету несимметричных КЗ.

Литература к теме 15: [1, 2, 3, 4].

Тема 16. Однократная продольная несимметрия.

Содержание темы 16. Общие указания. Предельные условия несимметрии. Разрыв одной фазы. Разрыв двух фаз. Математические соотношения для расчета симметричных составных токов и напряжений для места повреждения. Векторные диаграммы токов и напряжений. Правило эквивалентности прямой последовательности. Эпюры распределения напряжений отдельных последовательностей.

Литература к теме 16: [1].

Тема 17. Электромагнитные переходные процессы при сложных видах повреждения.

Содержание темы 17. Допущения, принимаемые при исследовании сложных видов повреждений. Общий путь расчета сложных повреждений. Производные схемы замещения прямой последовательности. Комплексные схемы замещения. Короткое замыкание с одновременным обрывом фаз. Двойные замыкания на землю.

Литература к теме 17: [1].

Тема 18. Способы и средства ограничения и координации уровней токов КЗ в электроэнергетических системах.

Содержание темы 18. Выбор схемы электрических соединений электрической системы на стадии проектирования. Использование электрооборудования с повышенным сопротивлением. Токоограничивающее влияние коммутационного оборудования. Использование технических средств ограничения токов КЗ.

Литература к теме 18: [1].

3.3. Практические занятия

№ п/п	Тема занятия	Объем, час. очн/заочн	Литера- тура
1	Расчет тока трехфазного КЗ для произвольного момента времени.	0/2	[1, 5, 7]
2	Расчет токов несимметричных КЗ для начального и произвольного момента времени.	0/2	[1, 5, 7]
Итого:		0/4	

3.4. Лабораторные работы

№ п/п	Тема работы	Объем, час. очн/заочн	Литера- тура
1	Анализ электромагнитных переходных процессов в простейшем трехфазной цепи	2/0	[1, 6]
2	Исследование установившегося режима трехфазного короткого замыкания	2/0	[1, 6]
3	Расчет и анализ режима трехфазного короткого замыкания	2/2	[1, 6]
4	Исследование влияния секционирования и реактирования при трехфазных коротких замыканиях	2/0	[1, 6]
5	Исследование влияния автоматического регулирования возбуждения при внезапном коротком замыкании синхронного генератора	2/0	[1, 6]
6	Расчет и анализ режимов несимметричных коротких замыканий	3/2	[1, 6]
7	Исследования распределения симметричных составляющих в электрической системе	2/0	[1, 6]
8	Исследование однократной продольной несимметрии	2/0	[1, 6]
Итого:		17/4	

3.5 Самостоятельная работа студента

№ п/п	Виды самостоятельной работы студента	Объем, час. очн/заочн
1	Изучение лекционного материала (не менее 50% от объема лекций)	30/63
2	Подготовка к практическим занятиям (не менее 50% от объема аудиторных практических занятий)	0/20
3	Подготовка к лабораторным работам (не менее 50% от объема аудиторных лабораторных занятий)	13/28
4	Выполнение курсового проекта (36 часов)	-
5	Выполнение курсовой работы (27 часов)	27/27/27
6	Выполнение индивидуального задания (не менее 9 часов)	-
Итого:		70/138

3.6 Курсовая работа и индивидуальное задание

Учебным планом в рамках освоения дисциплины предусмотрено выполнение студентами **курсовой работы**.

Тематика курсовой работы связана с исследованием поведения электрических систем при возникновении симметричных и несимметричных коротких замыканий, оценкой их допустимости и разработкой рекомендаций по ограничению

и координации уровней токов коротких замыканий.

Задачи курсовой работы заключаются в определении значений токов и напряжений при коротких замыканиях как в месте повреждения, так и в отдельных ветвях и узлах электрической системы. Исследуется влияния различных факторов на значения токов симметричных и несимметричных замыканий. Выявляются возможные способы и разрабатываются рекомендации по координации уровней токов коротких замыканий.

Исследования проводятся для электрических систем, содержащих синхронные генераторы, асинхронную и синхронную нагрузку. Индивидуальные задания выдаются преподавателем на основании методических указаний [9].

Работа должна содержать обоснование принятой схемы замещения электрической системы, методику расчетов и проведения исследований, рекомендации по координации уровней токов коротких замыканий.

Разработка всех разделов работы базируется на использовании прогрессивных компьютерных технологий с использованием широко известного прикладного программного обеспечения для ПЭВМ.

В результате выполнения курсовой работы студент должен овладеть навыками:

- использования справочной и нормативной документации;
- расчетов периодических и аperiodических составляющих токов коротких замыканий как в месте повреждения, так и в любой ветви электрической системы;
- построения векторных диаграмм токов и напряжений, а также эпюр распределения напряжений в электрической системе;
- реализации мероприятий, направленных на уменьшение уровней токов коротких замыканий.

Работа имеет одинаковое типовое по форме и методике исследований содержание для всех студентов.

Объем учебной нагрузки при выполнении курсовой работы – 27 часов

Объем курсовой расчетной работы – не более 40 страниц сброшюрованных рукописного или машинописного текста формата А4 (210×297 мм). Студент обязан оформить отчет в соответствии с установленными требованиями.

4 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

4.1 Критерии и шкалы для интегрированной оценки уровня сформированности компетенций

Составляющая компетенции – полнота знаний

- нулевой уровень: неверные, не аргументированные, с множеством грубых ошибок ответы на вопросы. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- минимальный уровень: даны не полные, неточные и неаргументированные ответы на вопросы. Допущено много грубых ошибок. Уровень знаний ниже минимальных требований;

- пороговый уровень: даны недостаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Плохо знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено много негрубых ошибок;

- средний уровень: даны достаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. В целом знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;

- продвинутый уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;

- высокий уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько неточностей.

Составляющая компетенции – умения

- нулевой уровень: полное отсутствие понимания сути методики решения задачи, допущено множество грубейших ошибок / задания не выполнены вообще;

- минимальный уровень: слабое понимание сути методики решения задачи, допущены грубые ошибки. Решения не обоснованы. Не умеет использовать нормативно-техническую литературу;

- пороговый уровень: достаточное понимание сути методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую литературу. Слабо ориентируется в специальной научной литературе;

- средний уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;

- продвинутый уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены неточности. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;

- высокий уровень: понимает суть методики решения задачи. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, передовой производственный опыт.

Составляющая компетенции – владение навыками

- нулевой уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Не может выполнить задания;

- минимальный уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;

- пороговый уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач на пороговом уровне. Задания выполняет медленно и некачественно;

- средний уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач. Задания выполняет на среднем уровне по скорости и качеству;
- продвинутый уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, иногда допуская незначительные погрешности;
- высокий уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, при необходимости демонстрируя творческий подход.

Обобщенная оценка сформированности компетенций

- нулевой уровень: на нулевом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- минимальный уровень: на минимальном уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- пороговый уровень: на пороговом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- средний уровень: на среднем уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- продвинутый уровень: на продвинутом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на высоком уровне;
- высокий уровень: на высоком уровне сформированы все составляющие компетенций.

4.2 Вопросы к экзамену и пример экзаменационного билета

Вопросы к экзамену.

Теоретическая часть.

1. Что такое ударный ток? Какие условия его возникновения? Векторная диаграмма и осциллограмма для условий возникновения ударного тока.
2. Что такое ударный ток? Какие упрощающие условия принимают для его определения? Векторная диаграмма и осциллограмма для упрощенных условий определения ударного тока.
3. Охарактеризуйте физические процессы, которые возникают в синхронной машине при внезапном трехфазном КЗ на выводах.
4. Установившийся режим КЗ. Физическая картина процесса. Определение параметров, характеризующих СГ в установившемся режиме трехфазного КЗ. Схемы замещения и векторная диаграмма.
5. Влияние и приближенный учет нагрузки в установившемся режиме КЗ. Расчет токов КЗ при отсутствии автоматического регулирования возбуждения (АРВ).
6. Влияние и учет действия АРВ в установившемся режиме КЗ. Критический ток и критические реактивности. Расчет установившегося тока КЗ в схеме

при наличии нескольких источников питания.

7. Принцип сохранения исходного потокосцепления. Баланс магнитных потоков СГ в нормальном режиме и в начальный момент трехфазного КЗ. Физические процессы в начальный момент КЗ.

8. Переходные ЭДС и индуктивности СГ. Схема замещения и векторная диаграмма СГ без демпферных обмоток в начальный момент.

9. Сверхпереходные ЭДС и индуктивности СГ. Схема замещения и векторная диаграмма СГ с демпферными обмотками в начальный момент. Определение переходной и сверхпереходной ЭДС из векторной диаграммы доаварийного режима.

10. Характеристика двигателей и обобщенной комплексной нагрузки. Определение начального значения периодической составляющей тока.

11. Назначение форсировки возбуждения и гашения электромагнитного поля. Переходные процессы при включении обмотки возбуждения СГ на постоянное напряжение.

12. Гашение поля путем переключения обмотки возбуждения на постоянное разрядное активное сопротивление.

13. Гашение поля с помощью дугогасящей решетки. Влияние демпферных обмоток на процессы при форсировки возбуждения и гашении электромагнитного поля.

14. Физическая картина процесса при внезапном трехфазном КЗ СГ без демпферных обмоток.

15. Влияние АРВ на переходные процессы при внезапном КЗ.

16. Осциллограмма токов в роторе синхронной машины без демпферных обмоток при внезапном КЗ. Причины возникновения отдельных составляющих.

17. Осциллограмма токов в статоре синхронной машины при внезапном КЗ. Причины возникновения отдельных составляющих.

18. Физические процессы при несимметричных повреждениях синхронной машины и особенности исследования несимметричных режимов.

19. Применение метода симметричных составляющих к анализу переходных процессов при нарушении симметрии.

20. Сопротивления различных элементов токам отдельных последовательностей.

21. Основные математические соотношения, векторные диаграммы токов и напряжений, эпюры напряжений при однофазном КЗ.

22. Основные математические соотношения, векторные диаграммы токов и напряжений, эпюры напряжений при двухфазном на землю КЗ.

23. Основные математические соотношения, векторные диаграммы токов и напряжений, эпюры напряжений при двухфазном КЗ.

24. Основные математические соотношения, векторные диаграммы токов и напряжений, эпюры напряжений при обрыве одной фазы.

25. Основные математические соотношения, векторные диаграммы токов и напряжений, эпюры напряжений при обрыве двух фаз.

26. Простое замыкание фазы на землю

27. Короткие замыкания в установках до 1000 В.

28. Короткие замыкания в длинных линиях электропередачи.

Практическая часть.

Задача. Определить периодическую составляющую тока несимметричного короткого замыкания в заданный момент времени.

4.3 Пример экзаменационного билета**ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»**

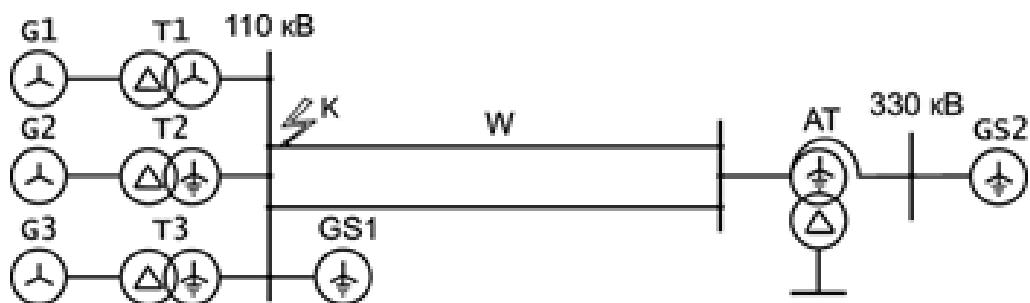
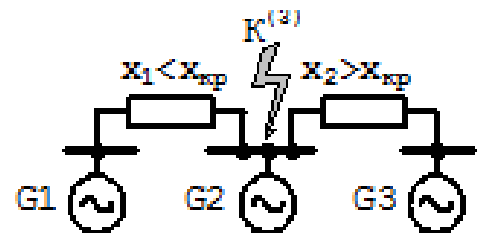
Уровень высшего профессионального образования:	бакалавриат (бакалавриат, специалитет, магистратура)
Направление подготовки (специальность):	13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника (по 2, магистрант)
Профиль (магистерская программа, специализация):	Электроэнергетические станции (магистрант)
Семестр:	VI
Учебная дисциплина:	Электромагнитные переходные процессы

БИЛЕТ № 1

1. Записать выражение для расчета тока в месте КЗ при установившемся режиме с учетом того, что генераторы G2 и G3 работают с АРВ, а G1 - без АРВ.

2. Объяснить, как зависит величина сопротивления нулевой последовательности трансформаторов от схемы соединения их обмоток и от конструкции магнитопровода.

3. Выполнить расчет несимметричного КЗ $K^{(1)}$ в начальный момент времени. Построить ВД в месте КЗ и в точке М.



G1-G3: 200 МВ·А; $\cos\varphi = 0,85$; 15,75 кВ; $X_D'' = 0,21$; $X_D = 1,8$; $X_2 \approx X_D''$;

T1-T3: 250 МВ·А; $u_K = 10,5\%$;

W: 24 км; $X_{y\partial 1} = 0,39$ Ом/км одной цепи; $X_{y\partial 0} = 4,7 \cdot X_{y\partial 1}$

AT: 250 МВ·А; $u_{KBС} = 13\%$; $u_{KBH} = 33\%$; $u_{KCH} = 20\%$;

GS1: $S_K = 7400$ МВ·А; **GS2:** $S_K = 5900$ МВ·А.

Утверждено на заседании кафедры «Электрические системы»,
протокол № ___ от ___.20__ г.

Зав. кафедрой

Полковниченко Д.В.

Экзаменатор

Полковниченко Д.В.

КРИТЕРИИ
оценивания экзаменационной работы
 по дисциплине «Электромагнитные переходные процессы»
 для обучающихся по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 (профиль - Электрические станции)

Экзамен проводится письменно по билетам. Экзаменационные билеты содержат два теоретических вопроса, каждый из которых требует конкретного ответа, и задачу. При необходимости отвечающий должен сопроводить написанное поясняющей схемой (рисунком)

Вопросы охватывают теоретическую часть курса, а также требуют демонстрации практических навыков, полученных студентом в ходе практических занятий.

Правильный ответ на вопрос оценивается в тридцать баллов. При отсутствии правильного ответа на поставленный вопрос обучающийся получает ноль баллов. При подсчете баллов за каждый теоретический вопрос от максимального количества баллов снимается за:

- неполное раскрытие вопроса: от 5 до 15 баллов;
- существенные ошибки: от 10 до 20 баллов;
- мелкие ошибки: от 1 до 5 баллов.

Задача, решенная в полном объеме, оценивается максимальным баллом 40. При отсутствии решения задачи обучающийся получает ноль баллов.

При подсчете баллов за задачу от максимального количества баллов снимается за:

- неполное решение: от 10 до 30 баллов;
- существенные ошибки по ходу решения: от 10 до 20 баллов;
- мелкие ошибки (размерности, вычисления и т.д.): от 1 до 10 баллов.

Полученные баллы за ответы на вопросы билета суммируются и с учётом результатов текущего контроля работы студента выводится итоговая оценка по 100-балльной шкале.

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ESTS.

Утверждено на заседании кафедры «Электрические системы»,
 протокол № ____ от __. __. 20__ г.

Заведующий кафедрой _____ Полковниченко Д.В.

4.3 Критерии оценивания

Текущий контроль знаний студента очной формы обучения осуществляется по результатам выполнения лабораторных работ; студента заочной формы обучения – по результатам выполнения контрольной работы.

Выполнение лабораторных работ с защитой отчёта, выполнение индивидуального задания (контрольной работы), предусмотренных рабочей программой дисциплины, является необходимым условием допуска студента к экзамену.

Распределение баллов текущего контроля работы студента на протяжении семестра приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение баллов текущего контроля

Форма контроля	Возможное количество баллов	Примечание
Для студентов очной формы обучения		
Отчёт по лабораторной работе	4	Задание выполнено правильно, решения обоснованы, приведен анализ полученного результата

Форма контроля	Возможное количество баллов	Примечание
	2	Задание выполнено в целом правильно, решения не всегда обоснованы, возникли трудности в объяснении полученных результатов
Итого по лабораторным работам (максимально возможное)	32	Из расчёта 8 аудиторных занятий для проведения лабораторных работ. Оценивается каждое занятие.
Контрольные опросы на лекциях	4	Полные аргументированные ответы на поставленные вопросы
	2	Неполное раскрытие вопросов
Итого по контрольным опросам на лекциях (максимально возможное)	18	Из расчёта проведения 5-ти опросов по 5-ти рассматриваемым темам. Оценивается каждый опрос.
ИТОГО:	50	Максимально возможное
Для студентов заочной формы обучения		
Выполнение контрольной работы (индивидуального задания)	50	При выполнении задания приняты правильные решения, изложение материала аргументированное, последовательное, работа оформлена без замечаний
	30	Задание выполнено в целом правильно, но решения не всегда обоснованы, имеются замечания по оформлению.
ИТОГО:	50	Максимально возможное

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины в семестре проводится в форме семестрового экзамена. Форма проведения экзамена – письменная. Экзаменационный билет включает в себя два теоретических вопроса, каждый из которых требует конкретного ответа, и практическое задание. При оценивании студента на экзамене преподаватель руководствуется критериями, приведенными в таблице 2.

Максимальное количество баллов за ответ на вопрос экзаменационного билета засчитывается студенту в случае, если ответ подтверждает владение студентом знаниями в полном объеме учебной программы, материал изложен в логической последовательности с выделением главного, содержит точные формулировки, сопровождается иллюстрирующими схемами и рисунками (при необходимости).

В случае, если ответ на вопрос не в полной мере отвечает приведенным требованиям, студенту засчитывается меньшее количество баллов в соответствии с вышеприведенными критериями. При отсутствии правильного ответа на поставленный вопрос студент получает 0 баллов.

Таблица 2 – Распределение баллов по семестровому экзамену

Форма контроля		Максимально возможное количество баллов
Ответ на вопросы экзаменационного билета	вопрос 1	15
	вопрос 2	15
	практическое задание	20
ИТОГО:		50

Итоговая оценка определяется путем суммирования количества баллов по результатам текущего контроля и количества баллов по результатам семестрового экзамена. **Максимально возможное количество баллов – 100.**

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ECTS:

Сумма баллов по 100-балльной шкале	Оценка по шкале ECTS	Оценка по государственной шкале
90-100	A	Отлично
80-89	B	Хорошо
75-79	C	
70-74	D	Удовлетворительно
60-69	E	
35-59	FX	Неудовлетворительно
0-34	F*	

* – с обязательным повторным изучением дисциплины.

4.4 Пример текущего опроса на практических (семинарских) занятиях и лабораторных работах

На примере темы «Анализ переходных процессов в простейшей трехфазной цепи».

1. Каковы основные расчетные допущения и цели их применения?
2. Что представляет собой простейшая трехфазная электрическая цепь?
3. Что понимают под источником бесконечной мощности?
- 4 В каких случаях можно считать реальный источник питания источником бесконечной мощности?
5. Как определить электромагнитную постоянную времени апериодического тока T_a аналитически и графически?
6. Что такое периодическая составляющая переходного тока КЗ?
7. Причина возникновения апериодического тока КЗ.
8. Что такое ударный ток короткого замыкания?
9. От каких факторов и каким образом зависит величина ударного тока?
10. Что отображает ударный коэффициент? От чего он зависит?
11. Что такое фаза включения и как она влияет на величину ударного тока?
12. При каких условиях возникает ударный ток?
13. При каких условиях определяют ударный ток в практических расчетах?

4.5 Курсовое проектирование

При оценивании результатов курсовой расчетной работы руководствуются следующим распределением максимально возможного количества баллов по основным разделам работы:

№ п/п	Наименование раздела	Максимально возможное количество баллов
1	Формулирование цели, задач и разработка методики выполнения исследований.	20
2	Обоснование и разработка математических моделей в виде схем замещения отдельных последовательностей для расчета и исследования электромагнитных переходных процессов в электрической системе.	40
3	Проведение расчетов и исследований, направленных на решение поставленных в работе задач.	20
4	Анализ полученных результатов. Формулирование рекомендаций по ограничению и координации уровней токов коротких замыканий.	20
ИТОГО		100

Оценивание раздела производится исходя из следующего:

– правильная и аргументированная методика исследований. Использование современного программного обеспечения и апробированных методов расчета электромагнитных переходных процессов. Полнота решенных заданий, логически сформулированные выводы и рекомендации, качественное оформление пояснительной записки – максимально возможно количество баллов;

– недостаточно обоснована методика исследований. Неполное решение задач, соответствующих полученному заданию. Не достаточно последовательные и логически сформулированные выводы и рекомендации. Имеются замечания по оформлению пояснительной записки – от 0,6 до 0,85 от максимально возможного количества баллов;

– отсутствует методика исследований. Неумение выполнить расчет для принятия решения о влиянии различных факторов на значения токов коротких замыканий в электрической системе – ноль баллов.

В результате суммирования набранных по разделам баллов руководитель курсовой работы определяет предварительную итоговую оценку и осуществляет допуск к защите работы. К защите допускаются студенты, набравшие не менее 60 баллов. В противном случае работа возвращается на доработку.

Предварительная оценка может быть изменена по результатам защиты курсовой работы перед комиссией, назначаемой из числа преподавателей кафедры.

5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

I Основная литература

1. Ларин А. М. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах [Электронный ресурс] : учебное пособие для обучающихся образовательных учреждений высшего профессионального образования : к 100-летию Донецкого национального технического университета / А. М. Ларин, Д. В. Полковниченко, И. Б. Гуляева ; ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. электр. систем. - 7 Мб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2021. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.org/books/21/cd10369.pdf>.

2. Кудряков, А. Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебник / А. Г. Кудряков, В. Г. Сазыкин. — Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 263 с. — ISBN 978-5-4486-0027-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/70289.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

II Дополнительная литература

3. Пилипенко, В. Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие / В. Т. Пилипенко. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 124 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/33671.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

4. Котова, Е. Н. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах : учебно-методическое пособие / Е. Н. Котова, Т. Ю. Паниковская. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 216 с. — ISBN 978-5-7996-1254-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/68522.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

5. Переходные процессы в электрических системах : сборник задач / Д. В. Армеев, Е. П. Гусев, А. П. Долгов [и др.]. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 331 с. — ISBN 978-5-7782-2498-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/45133.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебно-методические издания, разработанные в ДонНТУ:

6. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Электромагнитные переходные процессы в электрических системах" [Электронный

ресурс] : для обучающихся направления подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" : (профили подготовки "Электроэнергетические системы и сети", "Электрические станции") / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. электр. систем ; [сост.: А. М. Ларин, Д. В. Полковниченко]. - 517 Кб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2020. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.ru/books/21/m6765.pdf>.

7. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине "Электромагнитные переходные процессы в электрических системах и системах электроснабжения" [Электронный ресурс] : для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника", (профили подготовки "Электроэнергетические системы и сети", "Электрические станции", "Электроснабжение") / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. электр. систем ; сост.: А. М. Ларин, А. А. Булгаков. - 1 Мб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2022. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.ru/books/22/m8607.pdf>.

8. Методические рекомендации к самостоятельной работе по дисциплине "Электромагнитные переходные процессы в электрических системах" [Электронный ресурс] : для обучающихся направления подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" (профили подготовки "Электроэнергетические системы и сети", "Электрические станции") / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. электр. систем ; сост.: А. М. Ларин, А. А. Булгаков. - 763 Кб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2022. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.ru/books/22/m8608.pdf>

9. Методические указания к курсовой расчетной работе по дисциплине "Электромагнитные переходные процессы в электрических системах" [Электронный ресурс] : для обучающихся направления подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" : (профили подготовки "Электроэнергетические системы и сети", "Электрические станции") / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. электр. систем ; [сост.: А. М. Ларин, Д. В. Полковниченко]. - 517 Кб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2020. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. Вход через личный кабинет студента.

Электронно-информационные ресурсы

ЭБС ДОННТУ – <http://donntu.ru/library>;

ЭБС IPR BOOKS - <http://www.iprbookshop.ru/>.

7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Лекционные занятия:

Учебная лаборатория №8.506а, учебный корпус 8, для проведения занятий лекционного типа, лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мультимедийное оборудование: С II-700tray (ОС - Windows XP Professional x86 (академическая подписка DreamSparkPremium), LibreOffice 3.3.0.4 (бесплатная версия), SMATHStudio-0.98

(бесплатная версия), мультимедийный проектор, экран; специализированная мебель: доска аудиторная, столы аудиторные, стулья ученические).

7.2 Лабораторные работы:

Дисплейный класс №8.512а, учебный корпус 8, для проведения лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций (мультимедийное оборудование: компьютеры Cel/2.53GHz/512Mb/40Gb, Cel/2.53GHz/256Mb/40Gb, Intel Pentium 4 3Ghz/512M, Core i3 3.0 Ghz (ОС - Windows XP Professional x86 и Windows 7 (академическая подписка DreamSparkPremium), LibreOffice 3.3.0.4 (бесплатная версия), SMathStudio-0.98 (бесплатная версия), Mathcad Express (бесплатная версия), LibraCAD 2.1 (бесплатная лицензия), FreeMat (бесплатная лицензия) Digsilent PowerFactory 14.0 (лицензия), мониторы TFT-17'', мультимедийный проектор, экран; специализированная мебель: доска передвижная, столы аудиторные, стулья ученические).

7.3 Самостоятельная работа:

Помещения для самостоятельной работы с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации: читальные залы, учебные корпуса 2,3 (Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (ЭИОС ДОННТУ) и электронно-библиотечную систему (ЭБС IPRbooks), а также возможностью индивидуального неограниченного доступа обучающихся в ЭБС и ЭИОС посредством Wi-Fi с персональных мобильных устройств. ОС- Microsoft Windows 7, OpenOffice 2.0.3 - общественная лицензия MPL 2.0, Grub loader for ALT Linux - лицензия GNU LGPL v3, Mozilla Firefox - лицензия MPL2.0, Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) - лицензия GNU GPL).