

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Вятский государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Начальник управления
дополнительного образования и
международной деятельности
Курагина / Курагина К.А.

«15» октября 2021

рег № 04-04-2021-0461-0484

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Электромагнитные переходные процессы»**

**для дополнительной профессиональной программы –
программы профессиональной переподготовки**

**«Электроэнергетические системы и сети, электрооборудование и
режимы»**

Киров, 2021

Рабочую программу разработал:

А.В. Вильнер, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетические системы»
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет».

© Вятский государственный университет, 2021

© А.В. Вильнер, 2021

1. Рабочая учебная программа

1.1 Пояснительная записка

Актуальность изучения дисциплины

Дисциплина «Электромагнитные переходные процессы» является важнейшей в подготовке специалистов в области электроэнергетики. Дисциплина формирует у обучающихся знания, умения и навыки в области управления электромагнитными переходными процессами, возникающими при изменениях режимов работы электрооборудования электроэнергетических систем и сетей, электростанций и систем электроснабжения в нормальных и аварийных эксплуатационных условиях: при коротких замыканиях, неполнофазных режимах при работе устройств автоматики и пр. В дисциплине рассматриваются основы формирования критериев и методов количественной и качественной оценки токов и напряжений при электромагнитных переходных процессах, позволяющие определить требования к средствам защиты оборудования от проявления опасных факторов их воздействия, выбрать средства защиты от таких воздействий, принять проектные решения, ограничивающие интенсивность их проявления.

Большое внимание при анализе характеристик электромагнитных переходных процессов и средств защиты от них уделяется в курсе использованию современных информационных технологий, применению активных методов обучения. Каждое практическое занятие посвящено совместному с обучающимися решению определенной проблемы. При выполнении лабораторных работ студенты самостоятельно решают поставленные перед ними задачи.

Цель дисциплины – изучение слушателями основ теории переходных процессов в электроэнергетических системах, а также критериев и методов их количественной и качественной оценки.

Задачи дисциплины:

- ознакомление с физикой переходных процессов в электрических сетях и в энергосистеме в целом;
- изучение методов предотвращения и защиты от токов короткого замыкания и других видах повреждений.

Компетенции слушателя, формируемые в результате освоения учебной дисциплины

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты обучения:

Виды деятельности	Профессиональные компетенции или трудовые функции	Практический опыт	Умения	Знания
ВД-1	<p>К1 – Способность применять знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности на предприятиях и в организациях.</p>	<p>Владение навыками использования современных методов проектирования электрических сетей и повышения их энергоэффективности. Навыками расчета характеристик проектируемого электрооборудования и принятия схемных решений.</p>	<p>Умение обоснованно выбирать основные параметры и характеристики проектируемой схемы и электрооборудования.</p>	<p>Знание основных принципов проектирования объектов электрических сетей. Основных нормативных документов, регламентирующих вопросы проектирования электрических сетей.</p>
ВД-2	<p>К4 – Способность выполнять анализ режимов электроэнергетических систем, контролировать параметры режимов работы электрооборудования объектов электроэнергетики, определять и обеспечивать эффективные режимы электроэнергетических систем и сетей с учетом требований по надежности электроснабжения и показателей качества электроэнергии, управлять электроэнергетическими</p>	<p>Владение навыками метода расчета и снижения потерь электроэнергии. Навыками использования программных средств для расчетов, регулирования и анализа установившихся и переходных режимов электроэнергетических систем и сетей</p>	<p>Умение рассчитывать, регулировать и анализировать установившиеся и переходные режимы электроэнергетических систем и сетей с использованием программных средств.</p>	<p>Знание методов расчета установившихся и переходных режимов электроэнергетических систем и сетей, методов расчета и снижения потерь электроэнергии, принципов регулирования частоты и напряжения в энергосистеме. Средств регулирования режимов электроэнергетических систем и сетей,</p>

	ми режимами работы электроэнергетических систем и сетей.			их назначение и принципы действия
--	--	--	--	-----------------------------------

1.2 Содержание учебной дисциплины

Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Форма обучения	Общий объем (трудоемкость) Часов	В том числе аудиторная контактная работа обучающихся с преподавателем, час					Самостоятельная работа, час	Форма промежуточной аттестации
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Консультации		
заочная	26	10	4	2	4	-	16	экзамен

Тематический план

№ п/п	Основные разделы и темы учебной дисциплины	Часы			Самостоятельная работа
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Введение. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических сетях и системах	1	-	-	2
2.	Практические методы расчетов параметров трехфазных к. з. для выбора и проверки электрооборудования и настроек автоматики. Особенности расчетов режимов коротких замыканий в распределительных сетях напряжением до 1 кВ	1,5	2	4	6
3.	Расчеты режимов несимметричных к.з. в электроэнергетических сетях и системах. Метод симметричных составляющих	1,5		-	8
	Итого:	4	2	4	16

Матрица соотнесения тем учебной дисциплины и формируемых в них компетенций

	Разделы/темы учебной дисциплины	Компетенции			
		Количество часов	К-1	К-4	Общее количество компетенций
1	Введение. Электромагнитные переходные процессы (ЭМП) в электроэнергетических сетях и системах	3	+	+	2
2	Практические методы расчетов параметров трехфазных к. з. для выбора и проверки электрооборудования и настроек автоматики. Особенности расчетов режимов коротких замыканий в распределительных сетях напряжением до 1 кВ	13,5	+	+	2
3	Метод симметричных составляющих. Расчеты режимов несимметричных к.з. в электроэнергетических сетях и системах	9,5	+	+	2
	Итого	26			

Краткое содержание учебной дисциплины

Тема 1. Введение. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических сетях и системах

Особенности электромагнитных переходных процессов, причины их возникновения. Назначение расчетов электромагнитных переходных процессов и предъявляемые к ним требования. Основные допущения, принимаемые при исследованиях и расчетах. Короткие замыкания. Виды коротких замыканий. Уровни токов короткого замыкания и динамика их изменения в электроэнергетических и промышленных сетях. Современные методики и средства решения проблем, связанных с тенденцией повышения токов коротких замыканий. Изменение во времени токов и их составляющих. Установившийся режим трехфазного к.з.; неустановившийся режим. Ударный ток к.з. и условия его возникновения.

Тема 2. Практические методы расчетов параметров трехфазных к. з. для выбора и проверки электрооборудования и настроек автоматики. Особенности расчетов режимов коротких замыканий в распределительных сетях напряжением до 1 кВ

Расчет действующего значения периодической составляющей тока к.з. в произвольный момент времени для удаленной точки к.з. Начальный ток к.з. от

группы асинхронных и синхронных электродвигателей, от комплексной нагрузки. Учет влияния электродвигателей и комплексной нагрузки. Основные положения существующих руководящих указаний по расчету токов к.з. и выбору электрооборудования. Современные подходы к расчету электромагнитных переходных процессов к.з. (режимов к.з.) с помощью ЭВМ.

Особенности расчета к.з. в распределительных сетях 0,4-35 кВ. Учет местных источников и нагрузок, батарей статических конденсаторов, изменения сопротивлений проводников при нагреве током к.з. Расчет токов к.з. в установках до 1000 В, учет в них электродвигателей.

Тема 3. Расчеты режимов несимметричных к.з. в электроэнергетических сетях и системах. Метод симметричных составляющих.

Виды несимметричных коротких замыканий. Граничные условия и соотношения между симметричными составляющими токов и напряжений для несимметричных к.з. разных видов. Расчетные выражения для составляющих токов и напряжений в месте к.з. Векторные диаграммы токов и напряжений для точки к.з. Правило эквивалентности прямой последовательности. Комплексные схемы замещения. Применение практических методов для расчета несимметричных коротких замыканий.

Сравнение токов при различных коротких замыканиях. Ограничение токов короткого замыкания на землю. Распределение и трансформация токов и напряжений отдельных последовательностей. Векторные диаграммы.

2. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

2.1. Методические рекомендации для преподавателя

Выбор методов и средств обучения, образовательных технологий осуществляется преподавателем исходя из необходимости достижения обучающимися планируемых результатов освоения дисциплины, а также с учетом индивидуальных возможностей обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

Изучение дисциплины следует начинать с проработки настоящей рабочей программы, методических указаний и разработок, указанных в программе, особое внимание уделить целям, задачам, структуре и содержанию дисциплины.

2.2. Методические указания для слушателей

Успешное освоение учебной дисциплины предполагает активное, творческое участие слушателя на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной работы. Слушатель обязан посещать лекции, практические занятия, лабораторные работы, контрольные работы, получать консультации преподавателя и выполнять самостоятельную работу.

Главной задачей каждой лекции является раскрытие сущности темы и анализ ее основных положений. Содержание лекций определяется настоящей рабочей программой дисциплины.

Предполагается, что слушатели приходят на лекции, предварительно проработав соответствующий учебный материал по источникам, рекомендуемым программой.

Целью практических занятий является проверка уровня понимания слушателями вопросов, рассмотренных на лекциях и в учебной литературе, степени и качества усвоения материала; применение теоретических знаний в реальной практике решения задач; восполнение пробелов в пройденной теоретической части курса и оказания помощи в его освоении.

Практические занятия в равной мере направлены на совершенствование индивидуальных навыков решения теоретических и прикладных задач, выработку навыков интеллектуальной работы, а также ведения дискуссий.

Основной формой подготовки слушателей к практическим занятиям и лабораторным работам является самостоятельная работа с учебно-методическими материалами, научной литературой, статистическими данными и т.п.

Самостоятельная работа слушателей включает в себя выполнение различного рода заданий (изучение учебной и научной литературы, материалов лекций, систематизацию прочитанного материала, подготовку контрольной работы, решение задач и т.п.), которые ориентированы на более глубокое усвоение материала изучаемой дисциплины. К выполнению заданий для самостоятельной работы предъявляются следующие требования: задания должны исполняться самостоятельно представляться в установленный срок, а также соответствовать установленным требованиям по оформлению.

Регулярно рекомендуется отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

Результатом самостоятельной работы должно стать формирование и закрепление у слушателей определенных знаний, умений, навыков, компетенций.

При проведении промежуточной аттестации слушателя учитываются результаты текущей аттестации в течение периода обучения.

Процедура оценивания результатов освоения учебной дисциплины (модуля) осуществляется на основе действующего Положения об организации текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ВятГУ.

Для приобретения требуемых компетенций, хороших знаний и высокой оценки по дисциплине слушателям необходимо выполнять все виды работ своевременно в течение всего периода обучения.

Самостоятельная работа

Самостоятельная работа слушателей включает изучение материалов лекций, учебников, проработку тем, вынесенных на самостоятельное изучение, выполнение контрольной работы, подготовку к экзамену.

Слушатель изучает материал лекций по конспекту, в котором изложены основные понятия по теме. С помощью методической и учебной литературы слушатель прорабатывает и углубляет знания по теме лекций, практических занятий и лабораторных работ.

3. Учебно-методическое обеспечение учебной дисциплины, в том числе учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающегося по учебной дисциплине

Учебная литература

1) Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учеб. / С. А. Ульянов. - М.: Энергия, 1970. - 520 с.: ил.. - Библиогр.: с. 514

2) Расчеты и анализ параметров режимов коротких замыканий [Текст]: учеб. пособие для студентов направления 140400.62 / Ю. Ф. Васюра; ВятГУ, ЭТФ, каф. ЭЭС. – Киров. <https://iss.vyatsu.ru/kaf/files/tcab/images/libvyatsu.png> : [б. и.], 2013. - 141 с.. - Библиогр.: с. 107-109

3) Васюра, Юрий Филиппович. Методы расчетов токов коротких замыканий в электроэнергетических системах и сетях различного назначения [Текст]: учеб. пособие для студентов направления 140400.68, профили "Эл. станции", "Электроэнергетические системы и сети", "Электроснабжение", "Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем" / Ю. Ф.

Васюра; ВятГУ, ЭТФ, каф. ЭЭС. - Киров: [б. и.], 2014 - . Ч. 1: Симметричное короткое замыкание. - 2014. - 212 с.. - Библиогр.: с. 163-164. - 33 экз.

4) Переходные процессы в системах электроснабжения: учеб. / под ред. В. Н. Винославского. - Киев : Выща шк., 1989. - 422 с.: ил.. - Библиогр.: с. 418-419

5) Короткие замыкания и несимметричные режимы электроустановок: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям "Электрические станции", "Электроснабжение" направления подготовки "Электроэнергетика": учебное пособие для системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации персонала энергетических компаний, а также для вузов, осуществляющих подготовку энергетиков / И.П.Крючков, В.А.Старшинов, Ю.П.Гусев, М.В. Пираторов. - М.: Изд. дом МЭИ, 2008. - 471 с. : ил.; 22. - Библиогр.: с. 471 (16 назв.). - 1000 экз.

6) Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: учеб. пособие / под ред. И. П. Крючкова, В. А. Старшинова. - М.: Академия, 2005. - 416 с.. - (Высшее профессиональное образование. Энергетика). - Библиогр.: с. 406

Перечень электронно-библиотечных систем (ресурсов) и баз данных для самостоятельной работы

Используемые сторонние электронные библиотечные системы (ЭБС):

- ЭБС «Научная электронная библиотека eLIBRARY» (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>)
- ЭБС «Издательства Лань» (<http://e.lanbook.com/>)
- ЭБС «Университетская библиотека online» (www.biblioclub.ru)
- Внутренняя электронно-библиотечная система ВятГУ (<http://lib.vyatsu.ru/>)
- ЭБС «ЮРАЙТ» (<http://biblio-online.ru>)

Перечень специализированных аудиторий (лабораторий)

Вид занятий	Назначение аудитории
Лекции, практика	Учебная аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием
Самостоятельная работа	Читальные залы библиотеки

Перечень специализированного оборудования

Перечень используемого оборудования
--

Мультимедиа проектор
Ноутбук
Экран с электроприводом

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по учебной дисциплине

№ п/п	Наименование ПО	Краткая характеристика назначения ПО	Производитель ПО и/или поставщик ПО
1	Office Professional Plus 2013 Russian OLP NL Academic.	Пакет приложений для работы с различными типами документов: текстами, электронными таблицами, базами данных, презентациями	ООО "СофтЛайн" (Москва)
2	Windows 7 Professional and Professional K	Операционная система	ООО "Рубикон"
3	Kaspersky Endpoint Security для бизнеса	Антивирусное программное обеспечение	ООО «Рубикон»
4	Информационная система Консультант Плюс	Справочно-правовая система по законодательству Российской Федерации	ООО «КонсультантКиров»
5	Электронный периодический справочник «Система ГАРАНТ»	Справочно-правовая система по законодательству Российской Федерации	ООО «Гарант-Сервис»
7	SecurityEssentials (Защитник Windows)	Защита в режиме реального времени от шпионского программного обеспечения, вирусов.	ООО «Рубикон»
8	МойОфис Стандартный	Набор приложений для работы с документами, почтой, календарями и контактами на компьютерах и веб браузерх	ООО «Рубикон»

4. Материалы, устанавливающие содержание и порядок проведения промежуточных аттестаций

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета в устной форме (вопросно-ответная форма).

Зачет принимается преподавателями, проводившими учебные занятия по данной учебной дисциплине.

К сдаче зачета допускаются все слушатели, проходящие обучение на данной ДПП, вне зависимости от результатов текущего контроля успеваемости и посещаемости занятий, при этом результаты текущего контроля успеваемости могут быть использованы преподавателем при оценке уровня усвоения обучающимися знаний, приобретения умений, навыков и сформированности компетенций в результате изучения учебной дисциплины.

Вопросы для подготовки к экзамену:

1. Что понимается под коротким замыканием (к.з.)? Какие виды к.з. возможны в электроустановках и какова ориентировочная вероятность их возникновения?

2. В чем могут быть причины возникновения коротких замыканий в электроэнергетических системах и сетях и к каким последствиям для энергосистемы и потребителей электроэнергии они могут приводить?

3. Поясните физические причины значительных повышений токов и снижений напряжений в электроэнергетических системах и сетях при возникновении в них коротки замыканий.

4. Поясните понятия «удаленного» и «неудаленного» короткого замыкания (к.з.). Каким образом рекомендуется определять удаленность к.з. в отраслевых руководящих указаниях по расчету токов к.з.?

5. В каких случаях при расчетах периодических составляющих токов коротких замыканий (к.з.) можно пренебречь активными сопротивлениями элементов электроэнергетических систем и сетей? Для расчетов в каких сетях это упрощение неприменимо?

6. Что понимается под ударным током короткого замыкания (к.з.) и почему он носит такое название? По какой формуле его определяют? Что отражает ударный коэффициент? По какой формуле его определяют и в каких пределах он изменяется? Как определяется приближенное значение постоянной времени для расчета апериодической составляющей тока к.з.?

7. Какие воздействия на электрооборудование электроэнергетических систем и сетей оцениваются на основании расчетных значений ударных токов коротких замыканий (к.з.)?

8. С помощью какого параметра оценивается тепловое воздействие тока короткого замыкания на электрооборудование электроустановок электроэнергетических систем и сетей?

9. Поясните, почему при расчетах ударного тока короткого замыкания (к.з.) и теплового воздействия тока к.з. следует обязательно учитывать

активные сопротивления элементов электроэнергетических систем и сетей? Как это можно сделать приближенно?

10. В чем заключаются основные меры по предотвращению воздействия электромагнитных переходных процессов на проводники и конструкции электроустановок электроэнергетических систем и сетей? Каким образом они реализуются? Приведите примеры.

11. В чем состоят особенности участия в режимах короткого замыкания синхронных компенсаторов, синхронных и асинхронных электродвигателей, узлов обобщенной нагрузки? Какие упрощения могут вводиться для учета электродвигателей и узлов обобщенной нагрузки при ручных расчетах токов коротких замыканий?

12. В чем состоит суть применения метода симметричных составляющих для расчетов несимметричных режимов в электроэнергетических системах? Какие достоинства имеет этот метод? Приведите основные соотношения, связывающие симметричные составляющие и полные значения расчетных величин. В чем состоит методика применения этого метода?

13. Каковы принципы построения схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей при применении метода симметричных составляющих? В чем состоят отличия схем замещения обратной и нулевой последовательностей от схемы замещения прямой последовательности? Чем отличаются схемы различных последовательностей при продольных и поперечных симметриях? Какими могут быть особенности схем замещения различных последовательностей элементов сети и почему?

14. Запишите граничные условия для однофазного короткого замыкания (к.з.). Запишите основные соотношения, связывающие полные величины токов и напряжений в точке однофазного к.з. с их симметричными составляющими. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений для узла возникновения однофазного к.з.

15. Запишите граничные условия для двухфазного короткого замыкания (к.з.). Запишите основные соотношения, связывающие полные величины токов и напряжений в точке двухфазного к.з. с их симметричными составляющими. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений для узла возникновения двухфазного к.з.

16. Запишите граничные условия для двухфазного на землю короткого замыкания (к.з.). Запишите основные соотношения, связывающие полные величины токов и напряжений в точке двухфазного на землю к.з. с их симметричными составляющими. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений для узла возникновения двухфазного на землю к.з.

17. Сформулируйте «правило эквивалентности прямой последовательности» для расчетов несимметричных коротких замыканий (к.з.). Каковы принципы его применения и последовательность выполнения расчетов? Как определяются дополнительные сопротивления $\Delta X^{(n)}$ (шунты к.з.) для однофазного, двухфазного и двухфазного на землю к.з.? Чему равны коэффициенты $m^{(n)}$, связывающие полные токи указанных видов к.з. с их составляющими прямой последовательности в точке к.з.?

18. На чем основано построение комплексных схем замещения для несимметричных коротких замыканий (к.з.)? Какой вид они имеют для однофазного, двухфазного и двухфазного на землю к.з.? В чем их преимущества и недостатки? Как изменяются симметричные составляющие напряжений по мере удаления от точки к.з. в каждом из случаев?

19. Приведите сравнительный анализ величин токов и напряжений при различных видах несимметричных коротких замыканий (к.з.) в одной и той же точке сети с заземленной нейтралью. Как влияет на эти характеристики эквивалентная величина сопротивления нулевой последовательности сети относительно точки к.з.? Как можно управлять этими характеристиками и в каких случаях это может потребоваться?

20. Какое влияние оказывают короткие замыкания (к.з.) на проводники и конструкции электрооборудования электроэнергетических систем и сетей и на их режим работы в целом? Каким образом может быть снижено время воздействия к.з. на элементы электроэнергетических систем? Какие средства могут быть применены для ограничения величин токов к.з. и величин снижения напряжений в различных точках электроэнергетических систем и сетей?

21. В чем состоит особенность режима замыкания одной фазы на землю в сети с изолированной нейтралью? Каковы его количественные характеристики? Чем обусловлен и как определяется ток однофазного короткого замыкания на землю в этих сетях? С какой целью и как управляют его величиной?

22. Каковы особенности расчетов токов коротких замыканий (к.з.) в распределительных сетях и системах электроснабжения? Каковы особенности их расчетов в установках до 1000 В? Что понимается под тепловым спадом тока к.з. и как он может быть учтен?