

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
(ВлГУ)

Институт Архитектуры, Строительства и Энергетики



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

направление подготовки / специальность

**13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

направленность (профиль) подготовки

**Электроснабжение**

г. Владимир

2019

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «**Переходные процессы в электроэнергетических системах**» является теоретическая и практическая подготовка студентов в области передачи и распределения электрической энергии, о перспективах развития электроэнергетических систем и сетей, о новых методах транспорта электрической энергии при решении задач профессиональной деятельности бакалавров по профилю «Электроснабжение».

Задачи:

- - изучение понятий и принципов теории преобразования электромагнитной энергии в другие виды энергии, соответствующие заданному технологическому процессу;
- - изучение основных методов и средств защиты кабельных и воздушных линий от повреждений и ненормальных режимов функционирования;
- - овладение навыками проектирования, анализа и синтеза кабельных и воздушных линий с использованием современных информационных технологий;
- - приобретение умений правильно выбирать, налаживать и эксплуатировать кабельные и воздушные линии энергетических объектов.
- - приобретение навыков формирования законченных представлений о принятых решениях и полученных результатах в виде научно-технического отчёта с его публичной защитой.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «**Переходные процессы в электроэнергетических системах**» относится к дисциплинам обязательной части ОПОП.

Пререквизиты дисциплины:

- «Теоретические основы электротехники»
- «Электропитающие системы и электрические сети»
- «Надёжность электроснабжения».

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции <i>(код, содержание индикатора)</i>	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1 Способен участвовать в проектировании объектов профессиональной деятельности (ПД)	ПК-1.1 – сбор и анализ данных для проектирования объектов профессиональной деятельности (ПД); ПК-1.2 – составление конкурентно-способных вариантов технических решений при проектировании объектов ПД ПК-1.3 – выбор целесообразных решений и подготовка разделов предпроектной	Знает критерии сбора и анализа данных для проектирования, составляет конкурентно-способные варианты технических решений. Умеет обосновывать выбор целесообразного решения и подготавливать разделы предпроектной документации на основе	КР Вопросы рейтинг-контроля

	документации на основе типовых технических решений для проектирования объектов ПД	типовых технических решений. Владеет пониманием взаимосвязи задач проектирования и эксплуатации.	
--	---	---	--

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия <sup>1</sup>	Лабораторные работы	в форме практической подготовки <sup>2</sup>		
1	Переходный процесс в неподвижных магнитносвязанных контурах	7	1	2	2	-		6	
2	Переходный процесс в магнитно-связанных контурах с вращающимися электрическими машинами. Уравнение Парка – Горева.	7	2-3	2	2	4		6	
3	Расчет и анализ токов КЗ. Выбор электрооборудования по условиям токов КЗ	7	4-10	5	6	8		18	Рейтинг-контроль – 1 КР
4	Расчет токов и напряжений при несимметричных КЗ	7	11-14	5	4	6		16	Рейтинг-контроль – 2
5	Замыкания в распределительных сетях и системах электроснабжения	7	15-16	2	2	-		6	
6	Переходные процессы в узлах нагрузки	7	17-18	2	2	-		2	Рейтинг-контроль – 3
<b>Всего за 7 семестр:</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>		<b>54</b>	<b>Зачет 7-ой сем.</b>
7	Переходные электромеханические	8	1-2	2		6		6	

<sup>1</sup>Распределение общего числа часов, указанных на практические занятия в УП, с учетом часов на КП/КР

<sup>2</sup>Данный пункт включается в рабочую программу только при формировании профессиональных компетенций.

	процессы в электроэнергетических системах								
8	Устойчивость режимов систем при малых и больших возмущениях. Статическая и динамическая устойчивость	8	3-5	5		5		8	Рейтинг-контроль – 1 РГР
9	Анализ устройств и средств стабилизации режимов. Асинхронные режимы	8	6-7	2		-		6	
10	Мероприятия по улучшению устойчивости и качества переходных режимов электрических систем	8	8-10	2		-		5	Рейтинг-контроль 2 – 3
<b>Всего за восьмой семестр:</b>			<b>10</b>	<b>10</b>	-	<b>10</b>		<b>25</b>	<b>Экзамен 8-ой сем. 27</b>
<b>Наличие в дисциплине КИ/КР</b>									<b>КР</b>
<b>Итого по дисциплине</b>				<b>28</b>	<b>18</b>	<b>28</b>		<b>79</b>	<b>Зачет 7-ой сем. Экзамен 8-ой сем. 27</b>

**Тематический план  
форма обучения – заочная**

Трудоёмкость дисциплины составляет **5** зачётных единиц, **180** часов.

№	Раздел дисциплины	Семестр	Недели семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				СРС	Формы текущего контроля и промежуточной аттестации
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки <sup>3</sup>		
1	Переходный процесс в неподвижных магнитносвязанных контурах. Переходный процесс в магнитносвязанных контурах с вращающимися электрическими машинами. Уравнение Парка – Горева.	9		2	2	-		49	Рейтинг-контроль – 1
2	Расчет и анализ токов КЗ. Выбор электрооборудования по условиям токов КЗ. Расчет токов и напряжений при	9		2	2	2		49	Рейтинг-контроль – 2, 3, КР

<sup>3</sup>Данный пункт включается в рабочую программу только при формировании профессиональных компетенций.

	несимметричных КЗ. Замыкания в распределительных сетях и системах электроснабжения. Переходные процессы в узлах нагрузки							
<b>Всего за девятый семестр:</b>				<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>98</b> <b>Зачет 9-й сем.</b>
1	Переходные электромеханические процессы в электроэнергетических системах. Устойчивость режимов систем при малых и больших возмущениях. Статическая и динамическая устойчивость	1 0		2	-	2		20 Рейтинг-контроль – 1  РГР
2	Анализ устройств и средств стабилизации режимов. Асинхронные режимы. Мероприятия по улучшению устойчивости и качества переходных режимов электрических систем	1 0		2	-	-		19 Рейтинг-контроль – 2, 3, КР
<b>Всего за десятый семестр:</b>				<b>4</b>	<b>-</b>	<b>2</b>		<b>39</b> Экзамен 10-й сем. 27
<b>Наличие в дисциплине КР</b>								КР
<b>Всего за учебный год:</b>				<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>137</b> Зачет 9-й сем. Экзамен 10-й сем. 27

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

**Раздел 1.** Переходный процесс в неподвижных магнитносвязанных контурах.

*Тема 1.* Параметры режима и параметры системы. Нормальный установившейся режим, аварийный и послеаварийный. Причины возникновения переходных процессов в электрической системе: – рабочие коммутации оборудования; – аварийные ситуации.

*Тема 2.* Электромагнитные переходные процессы в электрической системе как следствие коротких замыканий (КЗ). Виды КЗ. Задачи анализа переходных процессов в электрических системах. Простейшая система электроснабжения. Виды электрической несимметрии. Схемы замещения элементов системы.

*Тема 3.* Дифференциальное уравнение электрической системы и его порядок. Переходный процесс в магнитносвязанных контурах с вращающимися электрическими машинами. Уравнение Парка – Горева.

*Тема 5.* Установившейся режим короткого замыкания в электроэнергетической системе. Основные характеристики и параметры симметричного режима, установившегося КЗ. Векторная диаграмма генератора, работающего с отстающим током.

*Тема 6.* Влияние и учет нагрузки. Влияние автоматического регулирования возбуждения (АРВ). Вольтамперная характеристика генератора с АРВ сильного действия.

**Раздел 2.** Расчет и анализ токов КЗ. Выбор электрооборудования по условиям токов КЗ.

*Тема 1.* Система базисных единиц. Выбор базисной мощности с учетом параметров генератора. Формулы приближенного приведения. Среднее напряжение ступени трансформации. Действующие значения полных величин и их отдельных слагаемых.

*Тема 2.* Приближенное решение при нулевом активном сопротивлении. Определение эквивалентной постоянной времени.

*Тема 3.* Внезапное короткое замыкание трансформатора. Включение ненагруженного (холостого) трансформатора. Установившейся режим короткого замыкания в ЭЭС. Основные характеристики и параметры симметричного режима, установившегося КЗ.

*Тема 4.* Характеристика холостого хода и короткого замыкания СМ. Приблизительная оценка тока возбуждения. Влияние и учет нагрузки. Учет нагрузки в практических расчетах. Влияние автоматического регулирования возбуждения. Соотношения, характеризующие режимы работы генератора с АРВ. Практический расчет начального сверхпереходного и ударного токов.

**Раздел 3.** Расчет токов и напряжений при несимметричных КЗ.

*Тема 1.* Индуктивности обмоток СМ. Применение метода симметричных составляющих. Параметры элементов для токов обратной и нулевой последовательности. Реактивности обратной и нулевой последовательности СМ.

*Тема 2.* Реактивности обратной и нулевой последовательностей асинхронных машин. Реактивности обобщенной нагрузки. Реактивность нулевой последовательности трансформатора. Схемы замещения трансформаторов для токов нулевой последовательности.

*Тема 3.* Токи нулевой последовательности воздушных и кабельных линий электропередачи. Схемы замещения прямой и обратной последовательностей. Схема замещения нулевой последовательности. Результирующие ЭДС и сопротивления.

*Тема 4.* Однократная поперечная не симметрия. Однофазное замыкание на землю. Однофазное замыкание на землю. Двухфазное замыкание. Учет переходного сопротивления в месте короткого замыкания.

*Тема 5.* Простое замыкание на землю. Расчет значения тока простого КЗ на землю и методы его ограничения. Учет изменения параметров проводников сети.

*Тема 6.* Расчет токов КЗ в установках напряжением до 1000 В. Учет переходных сопротивлений короткозамкнутой цепи.

*Тема 7.* Процессы в узлах нагрузки электрических систем. Примерный состав нагрузки промышленного района. Структура баланса энергии в системе. Характеристики элементов нагрузки. Процессы в узлах нагрузки электрических систем при больших возмущениях.

*Тема 8.* Статические характеристики комплексной нагрузки узлов нагрузки электрических систем. Статические характеристики комплексной нагрузки. Изменение частоты и устойчивость системы.

**Раздел 4.** Переходные электромеханические процессы в электроэнергетических системах.

*Тема 1.* Общая характеристика переходных процессов электрических систем. Осуществимость, устойчивость и надёжность режима работы электрической системы. Учет перехода энергии из одного вида в другой при электромеханических переходных процессах в инженерных расчетах.

*Тема 2.* Практические критерии устойчивости. Статическая и динамическая устойчивость. Запасы устойчивости режимов энергетической системы.

*Тема 3.* Алгоритм исследования резких изменений режима трехфазной СМ в начальный момент времени при заданных напряжениях на шинах нагруженной машины.

*Тема 4.* Статическая и динамическая устойчивость. Запасы устойчивости режимов энергетической системы. Анализ устойчивости простейшей системы в переходных режимах.

*Тема 5.* Статические и динамические характеристики простейшей электрической системы. Расчетные соотношения для построения векторной диаграммы. Исследование устойчивости при регуляторах пропорционального типа. Статическая устойчивость простейшей системы при сильном регулировании возбуждения.

### **Содержание практических занятий по дисциплине**

**Раздел 1.** Переходный процесс в неподвижных магнитносвязанных контурах.

*Тема 1.* Расчет установившегося тока трехфазного короткого замыкания простейшей системы электроснабжения ограниченной мощности и неизменным напряжением при точном приведении параметров элементов системы.

**Раздел 2.** Переходный процесс в магнитносвязанных контурах с вращающимися электрическими машинами. Уравнение Парка – Горева.

*Тема 1.* Расчет установившегося тока трехфазного короткого замыкания простейшей системы электроснабжения ограниченной мощности и неизменным напряжением при приближенном приведении параметров элементов системы.

*Тема 2.* Расчет мощности КЗ и остаточного напряжения в узловых точках системы.

**Раздел 3.** Расчет и анализ токов КЗ. Выбор электрооборудования по условиям токов КЗ.

*Тема 1.* Расчет остаточного напряжения в конце передачи при использовании формул приближенного приведения.

*Тема 2.* Расчет для выбора выключателя.

**Раздел 4.** Расчет токов и напряжений при несимметричных КЗ.

*Тема 1.* Расчет начального сверхпереходного тока трехфазного КЗ аналитическим методом.

*Тема 2.* Составление схемы замещения нулевой последовательности при коротком замыкании в точке «К» и нахождение в общем виде суммарного сопротивления нулевой последовательности.

### **Содержание лабораторных занятий по дисциплине**

1. Расчетно-лабораторная работа №1. «Несимметричные короткие замыкания в электрических системах»
2. Расчетно-лабораторная работа № 2. «Комплексные схемы замещения при поперечной не симметрии в электрических системах».
3. Расчетно-лабораторная работа № 3. «Комплексные схемы замещения при продольной не симметрии в электрических системах».
4. Расчетно-лабораторная работа № 4. «Экспериментальное определение сопротивления нулевой последовательности трехфазного трансформатора».
5. Расчетно-лабораторная работа № 5. Экспериментальное исследование переходных процессов в трехфазном силовом трансформаторе.
6. Расчетно-лабораторная работа № 6. Фазировка силовых трансформаторов и сборных шин.

## **5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **5.1. Текущий контроль успеваемости**

Для текущего контроля успеваемости применяется рейтинг-контроль, проводимый в форме тестирования на 5-й, 9-й и 17-й неделе.

#### **Вопросы к рейтинг-контролю (7-й семестр)**

##### **рейтинг-контроль 1**

1. Структура электрической системы и её составные элементы.
2. Режимы и процессы. Различные виды режимов и процессов в электрических системах.
3. Статическая и динамическая устойчивость системы.
4. Нелинейность элементы в электрической системе.
5. Параметры режима и параметры системы.
6. Характерные стадии переходных режимов и их влияние на оборудование электрической системы.
7. Возмущение режима и возмущающее воздействие.
8. Основные допущения при анализе режимов электрических систем (линеаризация, учет изменения мгновенных значений, учет огибающих).
9. По каким признакам разделяются системы на простые и сложные?
10. Основные допущения при составлении схем замещения элементов электрических систем.
11. Схемы замещения линии электропередачи.
12. Схемы замещения синхронной машины.
13. Схемы замещения асинхронного двигателя для точных и приближенных расчетов.
14. Схемы замещения трансформатора для точных и приближенных расчетов.
15. Взаимосвязь дифференциальных уравнений движения ротора синхронной машины и электрической системы.
16. Вычисление порядка дифференциального уравнения электрической системы.
17. Пути снижения порядка дифференциального уравнения электрической системы.
18. Система относительных единиц.
19. Короткие замыкания в электрических системах.
20. Определение ЭДС и внутренней реактивности синхронной машины.
21. Алгоритм расчета тока симметричного трехфазного КЗ.
22. Схемы замещения электрической системы и их преобразование.

##### **рейтинг-контроль 2**

1. Характеристики холостого хода и короткого замыкания СМ.
2. Переходные процессы при гашении магнитного поля СМ.
3. Переходные процессы при форсировке возбуждения синхронной машины.
4. Переходные процессы при включении трансформаторов на холостой ход.
5. Внезапное короткое замыкание трехфазного трансформатора.



6. Трехфазное короткое замыкание в неразветвленной цепи и за трансформатором.
7. Влияние нагрузки на характер переходного процесса при симметричном трехфазном КЗ.
8. Вольтамперная характеристика синхронного генератора.
9. Влияние АРВ на характер переходного процесса при симметричном трехфазном КЗ. Критические параметры генератора.
10. Схемы замещения СМ без демпферных обмоток в начальный момент нарушения режима.
11. Влияние демпферных обмоток СМ на характер переходного процесса в начальный момент нарушения режима.
12. Расчет начального сверхпереходного тока.
13. Расчет ударного тока. Учет асинхронных двигателей.
14. Вычисление эквивалентной постоянной времени.
15. Уравнения потокосцеплений синхронной машины.
16. Операторные синхронные и переходные реактивности синхронной машины (СМ).
17. Алгоритм исследования резких изменений режима работы СМ.
18. Решение системы уравнений СМ в операторном виде и установление характера переходного процесса.
19. Взаимосвязь между изменением скорости ротора и вращающим моментом.
20. Энергетика переходного процесса.
21. Регулирующий эффект нагрузки.
22. Продольная и поперечная несимметрия в электрических системах.

### рейтинг-контроль 3

1. Суть теории двух реакций.
2. Уравнения Парка - Горева.
3. Взаимосвязь фазных величин трехфазной системы с одноименными величинами двухобмоточной машины.
4. Выражение электромагнитного момента по теории двух реакций.
5. Взаимосвязь электромагнитного момента и мощности по теории двух реакций.
6. Уравнения движения ротора с позиции теории двух реакций.
7. Упрощение уравнения движения ротора.
8. Физический смысл уравнений Лонгля.
9. Уравнения Парка – Горева в операторном виде.
10. Уравнения потокосцеплений синхронной машины.
11. Операторные синхронные и переходные реактивности синхронной машины (СМ).
12. Алгоритм исследования резких изменений режима работы СМ.
13. Решение системы уравнений СМ в операторном виде и установление характера переходного процесса.
14. Взаимосвязь между изменением скорости ротора и вращающим моментом.
15. Однократная поперечная несимметрия в электрических системах.
16. Двухфазное короткое замыкание в электрических системах.
17. Двухфазное короткое замыкание на землю в электрических системах.
18. Метод симметричных составляющих при анализе несимметричных КЗ.
19. Двухкратная поперечная несимметрия в электрических системах.
20. Обрыв фазного провода.

21. Обрыв двух фазных проводов.
22. Случай сложной несимметрии в электрических системах.

### Вопросы к рейтинг-контролю (8-й семестр)

#### рейтинг-контроль 1

1. Условия осуществимости режима электрической системы.
2. Критерии устойчивости и избыточная энергия.
3. Критерии устойчивости и избыточная мощность.
4. Практические критерии устойчивости электрической системы.
5. Текучесть нормального режима электрической системы.
6. Критерии устойчивости простейшей электрической системы.
7. Критерии устойчивости асинхронного двигателя.
8. Критерии динамической устойчивости электрической системы.
9. Суть метода последовательных интервалов при определении времени отключения.
10. Запас устойчивости электрической системы по напряжению.
11. Запас устойчивости электропередачи по мощности.
12. Запас устойчивости межсистемной электропередачи.
13. Критерии оценки динамической устойчивости электрической системы.
14. Определение площадей торможения и ускорения.
15. Условия определения предельного угла отключения.
16. Понятия начального и критического углов характеристики мощности СГ.
17. Запас динамической устойчивости электрической системы при уточненных расчетах.
18. Виды и продолжительность КЗ при расчетах коэффициента запаса динамической устойчивости.
19. В чем отличие дифференциальных уравнений для расчета статической устойчивости и динамической устойчивости.
20. Максимальная мощность в конце электропередачи.
21. Максимальная мощность электропередачи по генераторному концу.
22. Пропускная способность электропередачи в зависимости от принятой расчетной схемы замещения.

#### рейтинг-контроль 2

1. Упрощенные уравнения Парка – Горева и векторные диаграммы СМ.
2. Векторная диаграмма явнополюсной СМ.
3. Векторная диаграмма неявнополюсной СМ.
4. Выражение мощности на шинах генератора через различные ЭДС.
5. Выражение мощности на шинах нагрузки (в конце передачи).
6. Угловые характеристики СМ для различных режимов.
7. Характеристики режима системы.
8. Статические характеристики мощности системы.
9. Условно динамические характеристики мощности системы.
11. Несинхронный режим СМ в простейшей системе.

12. Способы нахождения статических характеристик мощности при несинхронном режиме.
13. Влияние скольжения СМ на баланс активных мощностей в системе.
14. Условия взаимосвязи статических и динамических характеристик с вращающим моментом генератора при несинхронной скорости.
15. Задачи анализа сложной электрической системы при переходных режимах.
16. Исследование сложной электрической системы при синхронной частоте.
17. Метод единичных токов при исследовании распределения токов в ветвях электрической системы.
18. Исследование сложной электрической системы при неодинаковой скорости синхронных машин.
19. Расчет асинхронных составляющих токов и мощностей сложной электрической системы при неодинаковой скорости синхронных машин.
20. Алгоритм расчета статических характеристик нелинейной электрической системы.
21. Задачи анализа статической устойчивости нерегулируемой системы.
22. Синхронизирующая мощность и приращение угла  $\delta$ .
23. Регулирующий эффект нагрузки.
24. Понятие электрического центра системы.
25. Задачи анализа устойчивости сложной системы.
26. Основные дифференциальные уравнения сложной линеаризованной электрической системы.
27. Упрощенные методы исследования устойчивости сложной линеаризованной электрической системы.
28. Динамика работы сложной электрической системы в момент внезапного нарушения режима.
29. Причины изменения частоты и мощности в сложной электрической системе и пути их минимизации.

### **рейтинг-контроль 3**

1. Оценка статической устойчивости нерегулируемой системы по линеаризованной угловой характеристике мощности.
2. Условия статической устойчивости идеальной СМ.
3. Условия статической устойчивости реальной СМ.
4. Влияние демпфирования на условия статической устойчивости.
5. Признаки нарушения статической устойчивости при учете электромагнитных процессов.
6. Условия статической устойчивости по критерию Гурвица.
7. Неустойчивость типа самовозбуждение.
8. Неустойчивость типа самораскачивание.
9. Статическая устойчивость при АРВ пропорционального типа.
10. Статическая устойчивость при АРВ сильного действия.
11. Узлы нагрузки. Понятия и определения.
12. Задачи анализа устойчивости узла нагрузки.
13. Статические и динамические характеристики узла нагрузки.
14. Как можно получить расчетом и экспериментом статические характеристики комплексной нагрузки?

15. Задачи анализа устойчивости асинхронной нагрузки.
16. Статические характеристики асинхронного двигателя.
17. Понятие критического скольжения, момента, мощности.
18. «Опрокидывание» асинхронного двигателя.
19. Лавина напряжения и методы борьбы с ней.
20. Динамические характеристики асинхронного двигателя.
21. Характеристики синхронной нагрузки.
22. Влияние изменения частоты на статическую устойчивость асинхронного двигателя.
23. Условия возникновения режима самозапуска двигателей.
24. Расчет времени разбега асинхронного двигателя.
25. Расчет времени пуска асинхронного двигателя.
26. Расчет времени выбега асинхронного двигателя.
27. Наброс нагрузки асинхронного двигателя.
28. Расчет допустимого времени наброса нагрузки асинхронного двигателя.
29. Пуск синхронного двигателя и расчет допустимого времени наброса нагрузки.

**5.2. Промежуточная аттестация** по итогам освоения дисциплины проводится в форме зачета в седьмом и экзамена в восьмом семестрах.

### **Вопросы к зачету**

1. Структура электрической системы и её составные элементы.
2. Режимы и процессы. Различные виды режимов и процессов в электрических системах.
3. Статическая и динамическая устойчивость системы.
4. Нелинейность элементы в электрической системе.
5. Параметры режима и параметры системы.
6. Характерные стадии переходных режимов и их влияние на оборудование электрической системы.
7. Возмущение режима и возмущающее воздействие.
8. Основные допущения при анализе режимов электрических систем (линеаризация, учет изменения мгновенных значений, учет огибающих).
9. По каким признакам разделяются системы на простые и сложные?
10. Основные допущения при составлении схем замещения элементов электрических систем.
11. Схемы замещения линии электропередачи.
12. Схемы замещения синхронной машины.
13. Схемы замещения асинхронного двигателя для точных и приближенных расчетов.
14. Схемы замещения трансформатора для точных и приближенных расчетов.
15. Взаимосвязь дифференциальных уравнений движения ротора синхронной машины и электрической системы.
16. Вычисление порядка дифференциального уравнения электрической системы.
17. Пути снижения порядка дифференциального уравнения электрической системы.
18. Система относительных единиц.
19. Короткие замыкания в электрических системах.
20. Определение ЭДС и внутренней реактивности синхронной машины.
21. Алгоритм расчета тока симметричного трехфазного КЗ.
22. Схемы замещения электрической системы и их преобразование.

23. Характеристики холостого хода и короткого замыкания СМ.
24. Переходные процессы при гашении магнитного поля СМ.
25. Переходные процессы при форсировке возбуждения синхронной машины.
26. Переходные процессы при включении трансформаторов на холостой ход.
27. Внезапное короткое замыкание трехфазного трансформатора.
28. Трехфазное короткое замыкание в неразветвленной цепи и за трансформатором.
29. Влияние нагрузки на характер переходного процесса при симметричном трехфазном КЗ.
30. Вольтамперная характеристика синхронного генератора.
31. Влияние АРВ на характер переходного процесса при симметричном трехфазном КЗ. Критические параметры генератора.
32. Схемы замещения СМ без демпферных обмоток в начальный момент нарушения режима.
33. Влияние демпферных обмоток СМ на характер переходного процесса в начальный момент нарушения режима.
34. Расчет начального сверхпереходного тока.
35. Расчет ударного тока. Учет асинхронных двигателей.
36. Вычисление эквивалентной постоянной времени.
37. Уравнения потокосцеплений синхронной машины.
38. Операторные синхронные и переходные реактивности синхронной машины (СМ).
39. Алгоритм исследования резких изменений режима работы СМ.
40. Решение системы уравнений СМ в операторном виде и установление характера переходного процесса.
41. Взаимосвязь между изменением скорости ротора и вращающим моментом.
42. Энергетика переходного процесса.
43. Регулирующий эффект нагрузки.
44. Продольная и поперечная несимметрия в электрических системах.
45. Суть теории двух реакций.
46. Уравнения Парка - Горева.
47. Взаимосвязь фазных величин трехфазной системы с одноименными величинами двухобмоточной машины.
48. Выражение электромагнитного момента по теории двух реакций.
49. Взаимосвязь электромагнитного момента и мощности по теории двух реакций.
50. Уравнения движения ротора с позиции теории двух реакций.
51. Упрощение уравнения движения ротора.
52. Физический смысл уравнений Лонглея.
53. Уравнения Парка – Горева в операторном виде.
54. Уравнения потокосцеплений синхронной машины.
55. Операторные синхронные и переходные реактивности синхронной машины (СМ).
56. Алгоритм исследования резких изменений режима работы СМ.
57. Решение системы уравнений СМ в операторном виде и установление характера переходного процесса.
58. Взаимосвязь между изменением скорости ротора и вращающим моментом.
59. Однократная поперечная несимметрия в электрических системах.
60. Двухфазное короткое замыкание в электрических системах.
61. Двухфазное короткое замыкание на землю в электрических системах.
62. Метод симметричных составляющих при анализе несимметричных КЗ.
63. Двухкратная поперечная несимметрия в электрических системах.

64. Обрыв фазного провода.
65. Обрыв двух фазных проводов.
66. Случай сложной несимметрии в электрических системах.

### Вопросы к экзамену

1. Классификация переходных процессов и виды коротких замыканий в системах электропитания.
2. Особенности переходных процессов в неподвижных магнитно связанных цепях.
3. Особенности переходных процессов в магнитно связанных цепях с подвижными частями.
4. Векторные диаграммы синхронной машины при установившемся режиме короткого замыкания.
5. Характеристики холостого хода и короткого замыкания СМ. Спрямление характеристик.
6. Переходные процессы при гашении магнитного поля, форсировке возбуждения синхронной машины и включении трансформаторов на холостой ход.
7. Переходные процессы при гашении магнитного поля.
8. Переходные процессы при форсировке возбуждения синхронной машины.
9. Переходные процессы при включении трансформаторов на холостой ход.
10. Внезапное короткое замыкание трехфазного трансформатора.
11. Трехфазное короткое замыкание в неразветвленной цепи и за трансформатором.
12. Влияние нагрузки на характер переходного процесса при симметричном трехфазном КЗ.
13. Влияние АРВ на характер переходного процесса при симметричном трехфазном КЗ. Критические параметры генератора.
14. Схемы замещения СМ без ДО в начальный момент нарушения режима.
15. Влияние ДО СМ на характер переходного процесса в начальный момент нарушения режима.
16. Расчет начального сверхпереходного тока.
17. Расчет ударного тока. Учет асинхронных двигателей.
18. Дифференциальные уравнения переходного процесса в синхронной машине в фазных координатах и их линейное преобразование.
19. Уравнения Парка – Горева в классической форме.
20. Уравнения Парка – Горева в операторной форме.
21. Расчет начальных значений периодической составляющей тока трехфазного КЗ от синхронной машины без учета и с учетом демпферных контуров.
22. Влияние и учет электродвигателей и нагрузок в начальный момент КЗ.
23. Расчет начальных значений периодической и апериодической составляющих тока трехфазных КЗ (в том числе и компьютерными методами).
24. Переходный процесс в синхронной машине при трехфазном КЗ без учета и с учетом демпферных контуров.
25. Влияние системы возбуждения на переходный процесс.
26. Переходный процесс в синхронной машине при отключении короткого замыкания и повторном КЗ.
27. Выбор электрооборудования по условиям токов коротких замыканий.
28. Влияние удаленности КЗ на переходный процесс в синхронной машине.
29. Расчет токов при удаленных КЗ. Практические методы расчета токов КЗ.

30. Метод расчетных кривых.
31. Метод спрямленных характеристик.
32. Влияние магнитной не симметрии ротора на фазные напряжения статора.
33. Применение метода симметрических составляющих для анализа переходных процессов при несимметричных КЗ в трехфазных цепях, содержащих синхронные машины.
34. Параметры прямой, обратной и нулевой последовательности различных элементов электроэнергетической системы. Синхронные и асинхронные машины.
35. Параметры прямой, обратной и нулевой последовательности различных элементов электроэнергетической системы. Воздушные и кабельные линии.
36. Параметры прямой, обратной и нулевой последовательности различных элементов электроэнергетической системы. Обобщенная нагрузка и трансформаторы.
37. Схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательности.
38. Расчет токов и напряжений при однофазном и двухфазном замыкании на землю.
39. Расчет токов и напряжений при двухфазном КЗ и двухфазном КЗ на землю.
40. Комплексные схемы замещения. Использование правила эквивалентности при расчете несимметричных КЗ.
41. Основные расчетные соотношения при однократной продольной не симметрии. Обрыв одного и двух проводов.
42. Комплексные схемы замещения при продольной не симметрии.
43. Сложные виды повреждений. Однофазное КЗ с разрывом фазы.
44. Сложные виды повреждений. Двойное замыкание на землю.
45. Замыкания в распределительных сетях и системах электроснабжения, особенности расчета токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ.
46. Основные понятия о переходных электромеханических процессах в электроэнергетических системах.
47. Виды режимов электроэнергетической системы. Требования, предъявляемые к режимам. Осуществимость и устойчивость режимов. Возмущения в системах. Виды устойчивости.
48. Простейшая электрическая система и ее схема замещения.
49. Векторные диаграммы простейшей электрической системы с неявнополюсными и явнополюсными генераторами.
50. Выражения для активных и реактивных мощностей через различные ЭДС генератора.
51. Собственные и взаимные сопротивления электроэнергетической системы и способы их определения.
52. Определение угловых характеристик мощности через собственные и взаимные сопротивления.
53. Динамическая устойчивость. Причины и характер больших возмущений в электрической системе. Задачи исследования динамической устойчивости.
54. Задачи исследования динамической устойчивости. Допущения, принимаемые при анализе динамической устойчивости
55. Энергетические соотношения, характеризующие движение ротора генератора. Уравнение движения ротора генератора.
- 56.
57. Способ площадей: допущения и области применения.
58. Численное решение уравнения движения ротора генератора. Метод последовательных интервалов. Учет переходных электромагнитных процессов. Влияние демпфирования.

59. Анализ процессов с учетом форсировки и автоматического регулирования возбуждения (АРВ) генератора. Учет изменения мощности турбины. Автоматическое регулирование частоты вращения (АРЧВ) ротора турбины.
60. Способы приближенного решения уравнения движения ротора генератора. Особенности расчета переходных процессов в сложной системе.
61. Статическая устойчивость электрической системы. Задачи и методы исследования.
62. Практические критерии статической устойчивости. Основные допущения и области применения.
63. Математическое описание переходных процессов при анализе статической устойчивости. Метод малых колебаний.
64. Расположение корней характеристического уравнения на комплексной плоскости и вид переходного процесса. Статическая устойчивость и малые колебания в нерегулируемой системе.
65. Самораскачивание и самовозбуждение. Физика явлений и способы расчетов.
66. Упрощенное определение статической устойчивости на основе метода малых колебаний.
67. Анализ статической устойчивости простейшей электрической системы с учетом электромагнитных переходных процессов и регуляторов возбуждения пропорционального действия.
68. Комплексное автоматическое регулирование возбуждения и частоты вращения агрегата. Статическая устойчивость системы с автоматическим регулятором возбуждения сильного действия.
69. Изменения частоты в электроэнергетических системах. Причины и характер изменения частоты. Требования к частоте как к общесистемному показателю качества электроэнергии. Виды регулирования первичных двигателей.
70. Статические характеристики нерегулируемых и регулируемых первичных двигателей в системе. Определение динамических характеристик частоты в системе. «Лавина» частоты и способы ее предотвращения.
71. Переходные процессы в узлах нагрузки электрических систем. Задачи исследования. Статические и динамические характеристики нагрузки.
72. Представление нагрузки эквивалентным асинхронным двигателем. Соизмеримость мощностей нагрузки и источника электроэнергии, и ее влияние на устойчивость нагрузки.
73. Практические критерии устойчивости нагрузки. Включение в нагрузку компенсирующих устройств и их влияние на устойчивость.
74. Влияние частоты на устойчивость нагрузки. Устойчивость нагрузки, представленной эквивалентным асинхронным двигателем при больших возмущениях.
75. Способы решения уравнений движения ротора эквивалентного двигателя.
76. Асинхронные режимы в электрических системах. Общая характеристика асинхронных режимов и основные задачи их исследования.
77. Причины возникновения асинхронного режима. Понятие результирующей устойчивости. Процесс выпадения из синхронизма и появление асинхронного хода.
78. Необходимое условие синхронизации. Практические способы восстановления синхронного режима.
79. Последовательность операций при ресинхронизации. Практические критерии ресинхронизации.



### 5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

Цель самостоятельной работы – формирование личности студента, развитие его способности к самообучению и повышению своего профессионального уровня.

Основа самостоятельной работы – изучение рекомендуемой литературы, содержания тем курса по конспекту лекций и рекомендованным источникам, подготовка к написанию реферата. Самостоятельная работа студентов должна закрепить теоретические навыки и практические приемы по программе курса.

Контроль освоения материала и выполнения самостоятельной работы проводится при обсуждении рефератов и на консультациях.

Аудиторная самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию (консультации, прием и защита лабораторных работ, выполнение курсовой работы в рамках дисциплины).

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия при подготовке к семинарам и лабораторным работам, их оформлению; проведении типовых расчетов.

Темы контрольных заданий (курсовой работы и расчетно-графических работ):

- Расчет токов при коротких замыканиях – курсовая работа.
- Расчет устойчивости системы электроснабжения по практическим критериям – расчетно-графическая работа.

## Вопросы к самостоятельной работе студентов

### 7-й семестр

#### 1. Симметричные короткие замыкания.

1. Алгоритм расчета тока трехфазного КЗ по методу спрямленных характеристик.
2. Алгоритм расчета тока трехфазного КЗ по методу расчетных кривых.
3. Алгоритм расчета тока трехфазного КЗ по методу типовых кривых.
4. Алгоритм определения сопротивлений основных элементов схемы замещения в относительных единицах по формулам точного и приближенного приведения.
5. Порядок перехода от относительных к именованным единицам при использовании формул точного и приближенного приведения.
6. Векторная диаграмма синхронной машины в переходном режиме и порядок ее построения.
7. Схемы замещения синхронной машины в переходном режиме.
8. Векторная диаграмма синхронной машины в сверхпереходном режиме и порядок ее построения.
9. Схемы замещения синхронной машины в сверхпереходном режиме.
10. Порядок практического расчета начального сверхпереходного и ударного тока.
11. Влияние и учет нагрузки при трехфазном КЗ.
12. Алгоритм расчета тока симметричного трехфазного КЗ при наличии и отсутствии АРВ.
13. Какими параметрами характеризуют процесс в начальный момент внезапного нарушения режима СМ и почему?
14. Алгоритм расчета начального сверхпереходного тока.
15. Алгоритм расчета ударного тока.
16. Дифференциальные уравнения СМ без демпферных обмоток.

17. Уравнения Парка-Горева в двухосной системе координат ротора.
18. Уравнения Парка-Горева в операторной форме.
19. Форсировка возбуждения синхронной машины. Критическое время.
20. Гашение магнитного поля синхронной машины.
21. Внезапное КЗ синхронной машины.
22. Влияние АРВ при внезапном КЗ синхронной машины.
23. Каскадное отключение и повторное включение КЗ.
24. Взаимное электромагнитное влияние синхронных машин при переходном процессе.
25. Практические методы расчета переходного процесса КЗ.
26. Расчет для выбора выключателей по отключающей способности.
27. Приближенный учет системы при практических расчетах симметричных КЗ.

## 8-й семестр

### 2. Несимметричные короткие замыкания.

1. Влияние магнитной несимметрии ротора на переходный процесс при несимметричном КЗ.
2. Основные уравнения Кирхгофа в базисе несимметричных составляющих.
3. Симметричные составляющие несимметричной трехфазной цепи.
4. Параметры синхронных машин для токов обратной и нулевой последовательности.
5. Параметры асинхронных двигателей и обобщенной нагрузки для токов обратной и нулевой последовательностей.
6. Параметры трансформаторов и автотрансформаторов для токов обратной и нулевой последовательностей.
7. Параметры воздушных линий для токов нулевой последовательности.
8. Порядок составления схем замещения отдельных последовательностей.
9. Результирующие Э.Д.С. и сопротивления при несимметричных режимах.
10. Распределение и трансформация токов и напряжений при несимметричных КЗ.
11. Расчет тока КЗ при двухфазном КЗ.
12. Расчет тока при однофазном КЗ.
13. Расчет тока при двухфазном КЗ на землю.
14. Влияние переходного сопротивления на величину тока КЗ.
15. Комплексные схемы замещения.
16. Сущность правила эквивалентности прямой последовательности и порядок его применения в расчетах несимметричного КЗ.
17. Порядок построения векторных диаграмм токов и напряжений в месте КЗ (например, для однофазного КЗ).
18. Порядок расчета несимметричного КЗ по методу расчетных кривых.
19. Порядок расчета несимметричного КЗ по методу спрямленных характеристик.
20. Приведите сравнение видов КЗ по величине остаточного напряжения в месте КЗ и токов прямой последовательности.
21. Расчет для выбора выключателей по отключающей способности при несимметричном КЗ.
22. Порядок расчета фазных токов при разрыве одной фазы.
23. Порядок расчета разности фазовых напряжений при разрыве двух фаз.

24. Порядок построения векторных диаграмм при однократной продольной несимметрии.
25. Комплексные схемы замещения для случаев продольной несимметрии.
26. Расчет симметричных составляющих токов КЗ при двойном замыкании на землю.
27. Простое замыкание на землю в распределительных сетях.
28. Учет изменения параметров проводников распределительной сети.
29. Порядок расчета токов КЗ в установках до 1000 В.
30. Короткие замыкания в длинных линиях передачи переменного тока.

В ходе самостоятельной работы по освоению дисциплины студенты имеют возможность использовать активные элементы электронных методических материалов, размещённых в электронной библиотеке кафедры (ауд.519-3) и на сайте системы дистанционного обучения (СДО) университета.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература*		
1. Колесник Г.П. Переходные электромагнитные процессы в электроэнергетических системах. Учеб. пособие. Владимир, ВлГУ, 2003. – 140 с.	2003	<a href="http://e.lib.vlsu.ru">http://e.lib.vlsu.ru</a>
1. Колесник Г.П. Переходные электромеханические процессы в электроэнергетических системах. Учеб. пособие. Владимир, ВлГУ, 2007. – 117 с.	2007	<a href="http://e.lib.vlsu.ru">http://e.lib.vlsu.ru</a>
3. Расчет токов при коротких замыканиях в электрических системах (Электронный ресурс). Методические указания к курсовой работе. Сост. Колесник Г.П. ВлГУ, Владимир, 2015. 81 с.	2015	<a href="http://e.lib.vlsu.ru">http://e.lib.vlsu.ru</a>
4. Анализ переходных режимов электроэнергетических систем (Электронный ресурс). Методические указания к практическим занятиям и расчетно-графической работе. Сост. Колесник Г.П. ВлГУ, Владимир, 2015. 53 с.	2015	<a href="http://e.lib.vlsu.ru">http://e.lib.vlsu.ru</a>
Дополнительная литература		
1. Хрущев Ю.В., Заповодников К.И., Юшкова А.Ю. Электромеханические переходные процессы. Учебное пособие. Томский политехнический университет, 2012, - 154 с.	2012	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
2. Колесник Г.П. и др. Переходные электромагнитные процессы при поперечной и продольной несимметрии в электроэнергетических системах. Методические указания к лабораторным работам. ВлГУ, Владимир, 2010. 64 с.	2010	<a href="http://e.lib.vlsu.ru">http://e.lib.vlsu.ru</a>
3. Шабад В.К. Переходные электромагнитные	2004	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>

процессы в электроэнергетических системах. Московский открытый университет, 2004. 263 с.		
4. Расчет токов при коротких замыканиях и устойчивости систем электроснабжения по практическим критериям. Методические указания к курсовой работе и расчетно-графической работе. Сост. Колесник Г.П. ВлГУ, Владимир, 2005. 86 с.	2005	<a href="http://e.lib.vlsu.ru">http://e.lib.vlsu.ru</a>

**6.2. Периодические издания:** Журнал «Электричество» (Библиотека ВлГУ);

Журнал «Энергия единой сети (сайт [www.soyuzpechat.ru](http://www.soyuzpechat.ru));

Журнал «Электрические станции» (Библиотека ВлГУ);

Журнал «Электротехника» (Библиотека ВлГУ);

Журнал «Электрические системы и комплексы» (Библиотека ВлГУ);

**6.3. Интернет-ресурсы:** <http://www.studentlibrary.ru>;

<http://znanium.com/catalog>; <http://www.studentlibrary.ru/book>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Лекции по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах» читаются в аудиториях кафедры ЭтЭн, оборудованных электронными проекторами (ауд. 517-3; 520-3; 522-3), с использованием комплекта слайдов (Электронное средство обучения по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах» / Комплект из 519 слайдов. Составитель Г.П. Колесник. – Владимир: ВлГУ).

Практические занятия проводятся в аудиториях кафедры ЭтЭн, оборудованных электронными проекторами (ауд. 517-3; 520-3; 522-3), и компьютерном классе кафедры ЭтЭн (лаб. 519-3; 16 компьютеров) с использованием лицензионного программного обеспечения.

7.2. Средства вычислительной техники и демонстрационное оборудование:

1. Необходимые расчеты при решении практических задач проводятся в компьютерном классе кафедры ЭтЭн (лаб. 519-3; 16 компьютеров) с использованием лицензионного программного обеспечения.

Рабочую программу составил Колесник Г.П., профессор 

Рецензент технический директор ООО «Энергетика Технологий»,

инженер  Хромов Н.С.


Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры электротехники и электроэнергетики

Протокол № 1 от 04.09.2019 года

Заведующий кафедрой Бадалян Н.П. 

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления \_\_\_\_\_

Протокол № 1 от 04.09.2019 года

Председатель комиссии Бадалян Н.П., зав.кафедрой 

**ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**  
в рабочую программу дисциплины

**ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

образовательной программы направления подготовки

**13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

направленность (профиль) подготовки

**Электроснабжение (бакалавриат)**

образовательной программы направления подготовки *код и наименование ОП*, направленность:  
*наименование (указать уровень подготовки)*

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
*Подпись* *ФИО*

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 2020/21 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 02.09.20 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
*Желез*

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_