

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



УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор

А.А. Каракозов

03 20 23 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.05 Моделирование установившихся режимов в электрических системах

(код и наименование дисциплины согласно учебному плану)

Направление подготовки:

13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления / специальности)

Направленность (профиль):

Электроэнергетические системы и сети

(наименование профиля / магистерской программы / специализации)

Программа:

бакалавриат

(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Форма обучения:

очная, заочная, очно-заочная

(очная, заочная, очно-заочная)

Форма обучения	Очная	Очно-заочная	Заочная
Семестр	5	6	6
Общая трудоёмкость в з.е./часах	5/180	5/180	5/180
Контактная работа (час.), в том числе	74	36	16
лекции (час.)	17	8	2
лабораторные работы (час.)	34	12	4
практические (семинарские) занятия (час.)	17	8	2
Самостоятельная работа (час.), в том числе	52	90	128
курсовой проект (работа) (семестр/час.)	1/27	1/27	1/27
Контроль (экзамен, час./зачёт)	Экзамен (54)	Экзамен (54)	Экзамен (36)

Донецк, 2023 г.

Рабочая программа дисциплины «Моделирование установившихся режимов в электрических системах» составлена в соответствии с учебными планами по направлению подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроэнергетические системы и сети») для 2023 года приёма по очной, заочной и очно-заочной формам обучения.

Составитель:

Ст. преподаватель кафедры
«Электрические системы»

(подпись)

Гришанов С.А.
(Ф.И.О.)

Рабочая программа **рассмотрена и принята** на заседании кафедры «Электрические системы».

Протокол от «07» 03 2023 года № 8

Заведующий кафедрой

(подпись)

Полковниченко Д.В.
(Ф.И.О.)

Рабочая программа **одобрена учебно-методической комиссией** ГОУВПО «ДОННТУ» по направлению подготовки 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника».

Протокол от «23» 03 2023 года № 3

Председатель

(подпись)

Ткаченко С.Н.
(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

Дисциплина рассматривает вопросы, которые связаны с изучением методов формирования математических моделей задачи расчета и анализа установившихся режимов в электрических системах, а также с изучением методов и алгоритмов решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений.

Целью дисциплины является: подготовка студентов в области применения современных математических методов, связанных с моделированием установившихся режимов в электрических системах с использованием алгебры матриц, теории графов, численных методов, вероятностно-статистического анализа и ПЭВМ. А также необходимость связать математику как общетеоретическую дисциплину с практическими ее применениями в автоматизированном диспетчерском управлении электроэнергетическими системами и дать конкретный математический аппарат для инженерных исследований в области электроэнергетики.

Задачи дисциплины: основными задачами дисциплины является изучение математических моделей элементов электрических систем и методов решения задач расчета и анализа установившихся режимов.

В результате освоения дисциплины студент должен **знать**

- методы формирования и преобразования моделей установившегося режима электрических систем в матричной форме;
- математические методы решения систем уравнений описывающих установившейся режим при различных формах их записи, наиболее эффективные при автоматизированном диспетчерском управлении энергосистемами на базе ЭВМ;
- передовой отечественный и зарубежный опыт в области моделирования электрических систем и сетей;

уметь

- формировать узловые и контурные уравнения установившихся режимов электрических систем;
- рассчитывать на ЭВМ режимы электрических систем с помощью программных математических пакетов (MathCad и т.п.);

владеть

- навыками использования математического аппарата для решения задач расчёта и анализа установившихся режимов в электрических системах.

Перечисленные результаты обучения являются основой для формирования следующих компетенций:

- способность моделировать объекты профессиональной деятельности с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования (ПК-2);
- способность определять параметры оборудования, рассчитывать режимы работы и участвовать в ведении режимов объектов профессиональной деятельности (ПК-5);
- готовность определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса по заданной методике (ПК-6).

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, соответствующих плану подготовки бакалавров по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом 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

Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная/очно-заочная/заочная форма)				
	Всего	В том числе			
		Лекции	Практ	Лабор.	СРС
Тема 1. Введение. Модели элементов электрических систем. Схемы замещения элементов электрических систем и их матричное представление.	11/8/14	2/2/2	2/0/0	4/0/0	3/6/
Тема 2. Элементы теории графов для расчета электрических систем. Аналитическое представление информации о конфигурации электрической сети.	11/12/14	2/0/0	4/2/2	2/2/0	3/8/
Тема 3. Обобщенное уравнение состояния сети по законам Кирхгофа.	11/12/12	2/2/0	2/0/0	4/2/0	3/8/
Тема 4. Узловая модель установившегося режима электрической сети. Метод узловых уравнений.	9/12/14	2/2/0	2/0/0	2/2/2	3/8/
Тема 5. Контурные уравнения установившихся режимов электрических сетей. Метод контурных уравнений.	16/15/16	2/2/0	2/2/0	8/2/2	4/9/
Тема 6. Решение уравнения состояния методом Гаусса. Итерационные методы расчета режимов электрической сети (метод простой итерации и метод Зейделя).	13/14/16	2/0/0	2/2/0	6/2/0	3/10/
Тема 7. Метод Ньютона в расчетах режимов электрической сети при нелинейности исходных уравнений.	18/14/16	3/0/0	3/2/0	8/2/0	4/10/
Тема 8. Современные вычислительные комплексы для расчета и анализа установившихся режимов электрических систем.	4/4/7	2/0/0	0/0/0	0/0/0	2/4/
Контактная работа (дополнительная)	6/8/8	-	-	-	-
Курсовая работа (проект)	27/27/27	-	-	-	27/27/27
Итого по видам занятий	126/126/144	17/8/2	17/8/2	34/12/4	52/90/128
Контроль	54/54/36				
Итого:	180				

Формирование компетенций в результате освоения тем дисциплины

Компетенции	Темы дисциплины, нацеленные на выработку компетенции
ПК-2	Темы 3-8
ПК-5	Темы 1-2, 8
ПК-6	Темы 3-8

3.2 Лекции

Целью лекционных занятий является приобретение студентами основ знаний в области построения математических моделей для расчета установившихся режимов в электрических системах и умений решения таких задач с использованием известных математических методов.

Тема 1. Введение. Модели элементов электрических систем. Схемы замещения элементов электрических систем и их матричное представление.

Содержание темы 1:

Цель и задачи дисциплины «Моделирование установившихся режимов в электрических системах», ее место в учебном процессу. Классификация областей применения в целом задач энергетики. Математические основы методов исследования электрических сетей. Основные понятия. Схемы замещения линий, трансформаторов, узлов нагрузки и узлов генерации.

Литература к теме 1: [[Л1](#), [Л2](#), [Л3](#), [Л4](#), [Л6](#)]

Тема 2. Элементы теории графов для расчета электрических систем. Аналитическое представление информации о конфигурации электрической сети.

Содержание темы 2:

Основные понятия. Представление схемы замещения в виде графа. Получение первой матрицы соединений. Использование первой матрицы соединений. Расчет установившегося режима разомкнутой сети. Получение второй матрицы соединений. Использование второй матрицы соединений.

Литература к теме 2: [[Л1](#), [Л2](#), [Л4](#)]

Тема 3. Обобщенное уравнение состояния сети по законам Кирхгофа.

Содержание темы 3:

Получение обобщенного уравнения состояния электрической сети. Получение второй матрицы соединений на основе первой матрицы соединений. Расчет установившегося режима замкнутой сети. Решение обобщенного уравнения состояния путем понижения порядка матрицы A .

Литература к теме 3: [[Л1](#), [Л2](#)]

Тема 4. Узловая модель установившегося режима электрической сети. Метод узловых уравнений.

Содержание темы 4:

Схема замещения электрических систем. Формирование и матричная запись уравнений установившегося режима электрических систем. Уравнения узловых напряжений и их матричная запись. Матрица проводимостей ее получение и характеристика.

Литература к теме 4: [[Л1](#), [Л2](#), [Л3](#), [Л4](#)]

Тема 5. Контурные уравнения установившихся режимов электрических сетей. Метод контурных уравнений.

Содержание темы 5:

Получение матрицы контурных ЭДС и матрицы контурных сопротивлений. Алгоритм метода, при условии, что заданы только ЭДС в ветвях схемы. Обобщенные контурные уравнения. Алгоритм метода для случая наличия в схеме задающих токов и ЭДС в ветвях.

Литература к теме 5: [[Л1](#), [Л3](#), [Л4](#)]

Тема 6. Решение уравнения состояния методом Гаусса. Итерационные методы расчета режимов электрической сети (метод простой итерации и метод Зейделя).

Содержание темы 6:

Прямые методы решения систем линейных уравнений полученных на основе узлового уравнения и обобщенного уравнения состояния. Метод Гаусса в алгебраической форме. Табличная форма метода Гаусса.

Преобразование узлового уравнения для решения методом простой итерации. Основные выражения. Решение контурного уравнения методом простой итерации. Основные выражения по методу Зейделя (метод ускоренной итерации).

Решение не линейного узлового уравнения методом Зейделя. Применение метода Зейделя в энергетике.

Литература к теме 6: [[Л1](#), [Л4](#), [Л5](#)]

Тема 7. Метод Ньютона в расчетах режимов электрической сети при нелинейности исходных уравнений.

Содержание темы 7:

Способы задания нагрузки и генерации в узлах. Запись нелинейной системы уравнений узловых напряжений. Суть метода Ньютона. Графическая интерпретация метода Ньютона. Получение выражения для решения одно нелинейного уравнения методом Ньютона. Модифицированный метод Ньютона. Решение системы нелинейных уравнений методом Ньютона. Решение узловых уравнений баланса мощности. Решение уравнений узловых напряжений баланса токов. Основные выражения.

Литература к теме 6: [[Л1](#), [Л2](#), [Л4](#), [Л5](#)]

Тема 8. Современные вычислительные комплексы для расчета и анализа установившихся режимов электрических систем.

Содержание темы 8:

Требования к вычислительной мощности компьютерной техники. Увеличение объема, решаемых задач в электроэнергетике. Усложнение задач расчета режимов. Примеры современных вычислительных комплексов для решения задач энергетики (EnergyCS, RastrWin, ETAP, PowerFactory, PSS/E и др.).

Литература к теме 6: [[Л2](#), [Л5](#), [Л6](#)]

3.3 Практические занятия

№ п/п	Тема занятия	Объем, час. очн/очн- заоч/заочн	Литера- тура
1	Операции с матрицами (сложение умножения и обращение матриц).	2/0/0	[Л5, Л8]
2	Матричное представление конфигурации сети. Получение первой и второй матрицы соединений. Выделение дерева графа и хорд.	2/2/2	[Л1, Л2, Л8]
3	Использование матрицы коэффициентов распределения дерева для расчета установившегося режима в разомкнутой сети.	2/0/0	[Л1, Л2, Л8]
4	Расчет установившегося режима в замкнутой сети с использованием обобщенного уравнения состояния. Понижение порядка матрицы А.	2/0/0	[Л1, Л2, Л8]
5	Исследование матрицы узловых проводимостей для расчета установившегося режима в электрической сети. Получение матрицы Y_u и ее обращение	2/2/0	[Л1, Л2, Л8]
6	Исследование контурных уравнений для расчета установившегося режима замкнутой сети.	2/2/0	[Л1, Л2, Л8]
7	Решение узлового уравнения методом Гаусса.	2/2/0	[Л1, Л8]
8	Использование итерационного метода Ньютона для получения напряжения в конце радиального участка сети.	3/0/0	[Л1, Л2, Л8]
Итого:		17/8/2	

3.4 Лабораторные работы

№ п/п	Тема работы	Объем, час. очн/очн- заоч/заочн	Литера- тура
1	Использование среды MATHCAD для работы с векторами и матрицами	2/0/0	[Л5, Л7]
2	Матричные операторы и функции в MATHCAD	2/0/0	[Л5, Л7]
3	Расчет установившегося режима разомкнутой электрической сети с помощью матрицы коэффициентов распределения задающих токов	2/2/0	[Л7]
4	Расчет установившегося режима электрической сети путем непосредственного решения обобщенного уравнения состояния	2/2/0	[Л7]
5	Расчет установившегося режима электрической сети путем понижения порядка матрицы коэффициентов обобщенного уравнения состояния	2/0/0	[Л7]
6	Расчет установившегося режима электрической сети методом узловых напряжений	2/2/2	[Л7]
7	Расчет установившегося режима электрической сети методом контурных токов (задающие токи в узлах равны 0)	2/0/0	[Л7]
8	Расчет установившегося режима методом контурных токов (э.д.с. ветвей равны 0)	2/2/2	[Л7]
9	Расчет установившегося режима электрической сети методом контурных токов (заданы э.д.с. ветвей и задающие токи в узлах)	2/0/0	[Л7]

№ п/п	Тема работы	Объем, час. очн/очн- заоч/заочн	Литера- тура
10	Расчет установившегося режима электрической сети методом простой итерации при использовании узловых уравнений	2/0/0	[Л17]
11	Расчет установившегося режима электрической сети методом ускоренной итерации при использовании узловых уравнений	2/2/0	[Л17]
12	Расчет установившегося режима электрической сети методом простой итерации при использовании контурных уравнений	2/0/0	[Л17]
13	Исследование режима несимметричных нагрузок четырехпроводной трехфазной сети 380/220 В	2/0/0	[Л17]
14	Определение напряжения в конце ЛЭП методом Ньютона (без учета поперечной составляющей падения напряжения)	2/0/0	[Л17]
15	Определение напряжения в конце ЛЭП методом Ньютона (с учетом поперечной составляющей падения напряжения)	2/2/0	[Л17]
16	Определение напряжений в узлах замкнутой схемы методом Ньютона с использованием для составления выходного уравнения метода узловых напряжений	2/0/0	[Л17]
17	Расчет напряжений в узлах замкнутой сети модифицированным методом Ньютона	2/0/0	[Л17]
Итого:		34/12/4	

3.5 Самостоятельная работа студента

№ п/п	Виды самостоятельной работы студента	Объем, час. очн/очн- заоч/заочн
1	Изучение лекционного материала	7/16/25
2	Подготовка к практическим занятиям	7/16/25
3	Подготовка к лабораторным работам	11/31/51
4	Выполнение курсового проекта	-
5	Выполнение курсовой работы	27/27/27
6	Выполнение индивидуального задания	-
Итого:		52/90/128

3.6 Курсовой проект (работа), индивидуальное задание

Индивидуальное задание по дисциплине учебным планом не предусмотрено.

Курсовая работа на тему: «Расчет установившихся режимов работы электрической сети математическими методами» предусмотрена в учебном плане.

Цель данной курсовой работы является закрепление теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины «Моделирование установившихся режимов в электрических системах», а также выработка практических навыков расчета установившихся режимов работы электрической сети при изменении условий ее работы. Для облегчения расчетов курсовой работы, все расчеты рекомендуется

выполнять с использованием вычислительной техники при помощи программного комплекса MATHCAD.

Тематика заданий курсовой работы связана с составлением схем замещения элементов электрических систем, а также с применением теории графов для обработки полученной схемы замещения. При выполнении курсовой работы студент должен закрепить материал по составлению математических моделей описывающих устранившийся режим работы электрической сети и научиться выполнять расчет систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений аналитическими и итерационными методами.

В результате выполнения работы студент должен:

- знать принципы построения математической модели участка электрической сети, используя матричное представление основных уравнений;
- уметь пользоваться алгоритмами, предназначенными для решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений как аналитическими, так и итерационными методами.

Отчет о работе состоит из текстовой части на листах формата А4. Рекомендуемый объем пояснительной записки к курсовой работе: 30-40 страниц формата А4.

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 / ответы на два вопроса из трех полностью отсутствуют. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- минимальный уровень: даны не полные, не точные и аргументированные ответы на вопросы. Уровень знаний ниже минимальных требований. Допущено много грубых ошибок;
- 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. Не ориентируется в специальной научной литературе, нормативно-правовых актах;
- 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, нормативно-правовых актах;
- средний уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, нормативно-правовые акты;
- продвинутый уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены неточности. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, нормативно-правовые акты;
- высокий уровень: Понимает суть методики решения задачи. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, передовой зарубежный опыт, нормативно-правовые акты.

Составляющая компетенции – владение навыками

- нулевой уровень: не продемонстрировал навыки выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;
- минимальный уровень: не продемонстрировал навыки выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;
- пороговый уровень: владеет опытом готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию на пороговом уровне. Трудовые действия выполняет медленно и некачественно;
- средний уровень: владеет средним опытом готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию. Трудовые действия выполняет на среднем уровне по скорости и качеству;
- продвинутый уровень: владеет опытом и достаточно выраженной личностной готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию. Быстро и качественно выполняет трудовые действия;
- высокий уровень: владеет опытом и выраженностью личностной готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию. Быстро и качественно выполняет трудовые действия.

Обобщенная оценка сформированности компетенций

- нулевой уровень: компетенции не сформированы;
- минимальный уровень: значительное количество компетенций не сформировано;
- пороговый уровень: все компетенции сформированы, но большинство на пороговом уровне;
- средний уровень: все компетенции сформированы на среднем уровне;
- продвинутый уровень: все компетенции сформированы на среднем или высоком уровне;
- высокий уровень: все компетенции сформированы на высоком уровне.

4.2 Вопросы к экзамену и пример экзаменационного билета

Вопросы к экзамену

1. Какой закон в матричной форме отражает это выражение $(M \cdot I - J \leq \varepsilon_i)$?
2. Какой закон в матричной форме выражает $(M_{\Sigma}^T \cdot U_{y\Sigma} - Z_B \cdot I \leq \varepsilon_u)$?
3. Что показывают элементы столбца матрицы C_{α} ?
4. Как называется матрица n и чему равно число ее строк?
5. Чему равен ток узла баланса?
6. Как получить первую матрицу соединений по заданному графу сети?
7. Как получить вторую матрицу соединений по заданному графу сети?
8. Какова размерность матрицы M и N ?
9. Что такое U_{Δ} и физический смысл этой величины?
10. Какой закон в матричной форме выражает $(U_{\Delta} = C_{\alpha}^T \cdot Z_{\alpha} \cdot I_{\alpha})$?
11. Каков порядок матрицы A ?

12. Как называется ток I_β , в каких ветвях он протекает?
13. Какие ветви входят в матрицы M_β ?
14. Как называется ток I_α , в каких ветвях он протекает?
15. Чему равен порядок матрицы Y_y ?
16. Как определяются элементы Y_{ii} и Y_{ij} ?
17. Чему равен порядок матрицы Z_k ?
18. Чему равны элементы $Z_{k(ii)}$ и $Z_{k(ij)}$?
19. Чему равно количество контурных токов?
20. Зачем вводится подматрица O вместе с подматрицей C_α ?
21. Чему равен порядок матрицы J ?
22. Что такое базисный и балансирующий узлы в схеме?
23. Какой метод - простой или ускоренной итерации обеспечивает более быструю сходимость результатов?
24. Каким образом получить функцию $W(U_2) = 0$?
25. Каким образом нелинейная функция $W(U_2) = 0$ превращается в линейную?
26. Какие существуют способы сходимости?
27. Что представляет собой Якобиан?
28. Каким образом получить функции $W_1(U_2, \delta) = 0$ и $W_2(U_2, \delta) = 0$ при решении задачи расчета потерь напряжения в радиальной сети с нагрузкой?
29. Чем отличается модифицированный метод Ньютона-Рафсона от обычного метода Ньютона?

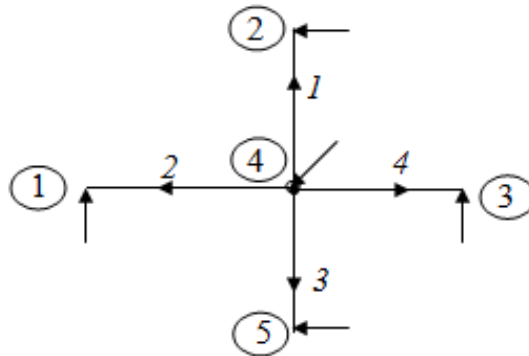
Пример экзаменационного билета

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»

Уровень высшего профессионального образования:	бакалавр
	(бакалавриат, специалитет, магистратура)
Направление подготовки (специальность):	13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника
	(код, название)
Профиль (магистерская программа, специализация):	Электроэнергетические системы и сети
	(название)
Семестр:	5 семестр (очная форма), 6 семестр (заочная форма)
Учебная дисциплина:	Моделирование установившихся режимов в электрических системах

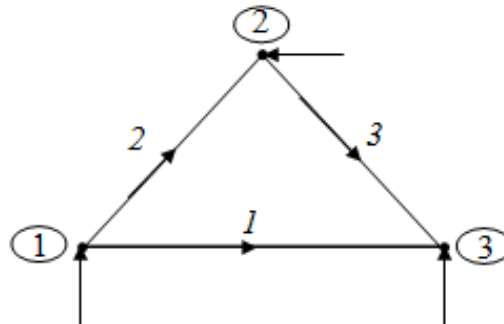
БИЛЕТ № 1

1. Дать определение, что такое базисный узел.
2. Составить матрицу коэффициентов распределения дерева для заданной схемы сети:



3. Рассчитать установившийся режим работы замкнутой электрической сети методом узловых уравнений.

$$\begin{aligned}
 J_1 &= +3 \text{ A} \\
 J_2 &= -7 \text{ A} \\
 R_1 &= 4 \text{ Ом} \\
 R_2 &= 5 \text{ Ом} \\
 R_3 &= 2 \text{ Ом} \\
 U_B &= 65 \text{ В}
 \end{aligned}$$



4. Рассчитать послеаварийный режим работы электрической сети (схема из предыдущего пункта) с помощью матрицы коэффициентов распределения дерева, при отключении линии № 1.

Утверждено на заседании кафедры	Электрические системы
	(наименование кафедры полностью)
Протокол	№ от
Зав. кафедрой	Полковниченко Д.В.
	(подпись) (ф.и.о.)
Экзаменатор	Гришанов С.А.
	(подпись) (ф.и.о.)

4.3 Критерии оценивания

Текущий контроль знаний студента очной формы обучения осуществляется по результатам практических занятий, лабораторных работ и курсовой работы; студента заочной формы обучения – по результатам выполнения курсовой работы. Выполнение заданий на практических занятиях, выполнение лабораторных работ с защитой отчёта, выполнение и защита курсовой работы, предусмотренных рабочей программой дисциплины, является необходимым условием допуска студента к экзамену.

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины в семестре проводится в форме семестрового экзамена. Экзамен проводится письменно по билетам. Экзаменационные билеты для очной и заочной формы обучения содержат один теоретический и три практических задания. При необходимости отвечающий должен сопроводить написанное поясняющими схемами и рисунками. Вопросы охватывают теоретическую часть курса, а также требуют демонстрации практических навыков, полученных студентом в ходе лабораторных и практических работ, а также курсовой работы.

Первое задание теоретический вопрос простейшего типа, оценивается в 5 баллов по шкале ECTS. Требуется краткий и точный ответ на поставленный вопрос. Второе задание, связанное с составлением различных матриц, необходимых для составления исходной математической модели участка электрической сети, оценивается в 15 баллов по шкале ECTS. Требуется составить по заданию матрицу в общем или числовом варианте. Третье задание на тему: решение задачи расчета установившегося режима для замкнутой сети одним из методов, рассмотренных в курсе, оценивается в 50 баллов по шкале ECTS. Требуется не только знание формул, но и точность, и правильность полученного решения. Правильность алгоритма оценивается в 15 баллов, правильность составленных основных матриц оценивается в 15 баллов, выполнение проверки полученных результатов расчета на основе матричных выражений основных законов электротехники оценивается в 10 баллов, 10 баллов правильность вычислений. Четвертое задание, связанное с решением задачи расчета установившегося режима для разомкнутой сети, оценивается в 30 баллов по шкале ECTS. Требуется не только знание формул но и точность и правильность полученного решения. Правильность алгоритма оценивается в 5 баллов, правильность составленных основных матриц оценивается в 10 баллов, выполнение проверки полученных результатов расчета на основе матричных выражений основных законов электротехники оценивается в 5 баллов, 10 баллов правильность вычислений.

При подсчете баллов за теоретический вопрос и практические задания от максимального количества баллов снимается за:

- неправильный ответ на вопрос: 5 баллов – для задания 1;
- неправильно составленная матрица или др. замечания по ее составлению от 5 до 15 баллов – для задания 2;
- существенные ошибки: от 15 до 30 баллов – практическое задание 4;
- мелкие ошибки: от 1 до 15 баллов – практическое задание 4;
- существенные ошибки: от 20 до 50 баллов – практическое задание 3;
- мелкие ошибки: от 1 до 20 баллов – практическое задание 3.

Итоговая оценка за экзамен рассчитывается как сумма баллов за каждое задание. При оценивании студента на экзамене преподаватель руководствуется критериями, приведенными в таблице 1. **Максимально возможное количество баллов – 100.**

Таблица 1 – Распределение баллов по семестровому экзамену (очная форма)

Форма контроля		Максимально возможное количество баллов
Ответ на вопросы и решение задачи экзаменационного билета	вопрос 1	5
	задание 2	15
	задание 3	50
	задание 4	30
ИТОГО:		100

Сумма баллов по 100-бальной 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 занятиях

На примере тем «Операции с матрицами (сложение, умножение и обращение матриц)» и «Матричное представление конфигурации сети. Получение первой и второй матрицы соединений. Выделение дерева графа и хорд»

1. Что такое матрица?
2. Как проверить существует ли обратная матрица для исходной?
3. Когда применяется минор матрицы?
4. Каким образом формируется присоединенная матрица?
5. В каком случае можно перемножить матрицы?
6. Что такое граф? Что значит направленный граф?
7. Что такое дерево графа?
8. Каков принцип выбора хорд графа?
9. Как получить первую матрицу соединения графа?
10. Как получить вторую матрицу соединения графа?

4.5 Пример текущего опроса на лабораторных занятиях

На примере темы «Расчет установившегося режима методом контурных уравнений».

1. В чем преимущества метода контурных токов по сравнению, например, с использованием обобщенного уравнения состояния,
2. Чему равна порядок матрицы Z_k ?

3. Чему равны элементы Z_{kii} и Z_{kij} ?
4. Чему равна количество контурных токов?
5. Зачем относится подматрицы 0 вместе с подматрицы C_α ?
6. Что такое I_k в выражении $I_k = Z_k^{-1} \cdot E_k$.
7. Какой закон в матричной форме отображает уравнения $U_\Delta = C_\alpha^T \cdot Z_\alpha \cdot I_\alpha - C_\alpha^T \cdot E_\alpha$.
8. Чему равна порядок матрицы J ?
9. Чему равен задающий ток в узле баланса?
10. Сколько строк и столбцов 0 прибавится в матрице $\begin{bmatrix} C_\alpha \\ 0 \end{bmatrix}$, если количество контуров увеличится на 1?
11. Как называется ток I_α , в каких ветвях он протекает?
12. Какой закон в матричной форме отображает уравнения $M \cdot I - J \leq \varepsilon_i$.
13. Какой закон в матричной форме отображает уравнения $N \cdot Z_T \cdot I - E_k \leq \varepsilon_u$.
14. Что такое метод наложения?

4.6 Курсовое проектирование

Ключевые вопросы на защиту курсовой работы.

1. Что означает режим и что означает процесс их отличие?
2. Что такое установившийся режим?
3. Что значит нормальный и послеаварийный режим?
4. Что такое параметры режима и параметры схемы замещения?
5. Классификация электрических сетей по напряжению и конфигурации.
6. Составить схему замещения линии электропередач на напряжении 6-10 кВ, 35 кВ и 110-220 кВ их отличия.
7. Расчет параметров схем замещения линий электропередач и силовых трансформаторов.
8. Единицы измерения основных параметров режима и схем замещения?
9. Модели источников и нагрузок. Область применения.
10. Что значит базисный узел? Как его выбрать?
11. Что значит балансирующий узел? Как его выбрать?
12. Получение первой и второй матрицы соединений для графа сети.
13. Алгоритм метода на основе обобщенного уравнения состояния. Его преимущества и недостатки.
14. Алгоритм метода на основе узловых уравнения (метод узловых напряжений). Его преимущества и недостатки.
15. Алгоритм метода на основе контурного уравнения (метод контурных токов). Его преимущества и недостатки.
16. Оценить результаты расчета установившегося режима для замкнутой и разомкнутой сети (послеаварийный режим участка сети).
17. Что значит решить систему уравнений аналитически?
18. Какие итерационные методы решения систем алгебраических уравнений вы знаете?
19. Балансы мощностей, матричное представление.

5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

I Основная литература

1. Лыкин А.В. Математическое моделирование электрических систем и их элементов : учебное пособие / Лыкин А.В.. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 227 с. — ISBN 978-5-7782-2262-5. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/45384.html>
2. Любченко В.Я. Применение математического моделирования в задачах электроэнергетики : учебное пособие / Любченко В.Я., Родыгина С.В.. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. — 72 с. — ISBN 978-5-7782-3627-1. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/91677.html>
3. Ананичева, С. С. Анализ электроэнергетических сетей и систем в примерах и задачах : учебное пособие / С. С. Ананичева, С. Н. Шелюг. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 176 с. — ISBN 978-5-7996-1784-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/65910.html>

II Дополнительная литература

4. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети : учебник / А. В. Лыкин. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 363 с. — ISBN 978-5-7782-3037-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/91589.html>
5. Исаев, Ю. Н. Практика использования системы MathCad в расчетах электрических и магнитных цепей : учебное пособие / Ю. Н. Исаев, А. М. Купцов. — Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2017. — 180 с. — ISBN 978-5-91359-123-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/90411.html>
6. Моделирование элементов и расчет установившихся режимов электрических систем и сетей : лабораторный практикум / составители Н. В. Безменова [и др.]. — Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. — 56 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/111383.html>

6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебно-методические издания, разработанные в ДонНТУ:

7. **Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Моделирование установившихся режимов в электрических системах»** : для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. электрических систем; сост. С. А. Гришанов. — Донецк : ДОННТУ, 2021. – 65 с. (протокол №12 заседания учебно-издательского совета ДОННТУ от 17.12.2021 г.), - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. – (Доступ через личный кабинет студента).

8. **Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Моделирование установившихся режимов в электрических системах»** : для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. электрических систем ; сост. С. А. Гришанов. – Донецк : ДОННТУ, 2021. – 44 с. (протокол №12 заседания учебно-издательского совета ДОННТУ от 17.12.2021 г.), - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. – (Доступ через личный кабинет студента).

9. **Методические указания для самостоятельной работы и выполнения индивидуального задания по дисциплине «Моделирование установившихся режимов в электрических системах»** : для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. электрических систем ; сост. С. А. Гришанов. – Донецк : ДОННТУ, 2022. – 21 с. (протокол №1 заседания учебно-издательского совета ДОННТУ от 26.01.2022 г.), - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. – (Доступ через личный кабинет студента).

10. **Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Моделирование установившихся режимов в электрических системах»** : для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. электрических систем ; сост. С. А. Гришанов. – Донецк : ДОННТУ, 2023. – 47 с. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. – (Доступ через личный кабинет студента).

Электронно-информационные ресурсы

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

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

7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Лекционные занятия:

Учебная лаборатория №8.509, учебный корпус 8, для проведения занятий лекционного типа, практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мультимедийное оборудование: С П-1100 (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; демонстрационные стенды и плакаты).

7.2 Практические занятия:

Дисплейный класс №8.512а, учебный корпус 8, для проведения практических и 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 Лабораторные работы:

Дисплейный класс №8.512а, учебный корпус 8, для проведения практических и 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).

7.4 Курсовая работа:

Дисплейный класс №8.512а, учебный корпус 8, для проведения практических и 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).

7.5 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 ДОН-

НТУ) и электронно-библиотечную систему (ЭБС IPR SMART), 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).