



МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>Електричні системи і мережі</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Денна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>III курс, 5-й семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 годин / 5 кредитів ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / РГР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: канд. техн. наук, доцент Кацадзе Теймураз Луарсабович, 0974407634</i>
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com/c/NTI3MTI1Njc4MzAz?cjc=zi6zbkw</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна «Математичні моделі електричних систем» присвячена питанням моделювання усталених та перехідних режимів електричних мереж і електроенергетичних систем з метою визначення параметрів відповідних режимів роботи, необхідних для оцінки відповідності режимів роботи допустимим обмеженням, їх оптимізації та виконання проектних розрахунків.

Метою навчальної дисципліни є прищеплення студентам знань основ математичного моделювання, вмінь зі розроблення математичних моделей електроенергетичного обладнання та електроенергетичної системи в цілому залежно від поставленого завдання, навичок формування розрахункових алгоритмів математичних моделей та застосування їх з метою проведення розрахунків.

Предмет навчальної дисципліни – математичні моделі обладнання електричних мереж та електроенергетичних систем, методи розрахунку параметрів усталених та перехідних режимів роботи.

Результати навчання:Програмні компетентності:

K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу

K23. Здатність правильно формулювати та розв'язувати математичні задачі в галузі електричних мереж та електроенергетичних систем

K29. Здатність виконувати загальні інженерні розрахунки із застосуванням сучасного програмного забезпечення

K32. Здатність розраховувати значення струму короткого замикання на об'єктах електричних мереж та електроенергетичних систем для різних типів пошкоджень

K34. Здатність виконувати моделювання та розрахунок параметрів об'єктів та процесів в електричних мережах та електроенергетичних системах за допомогою математичного апарату

Програмні результати:

ПРО7. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах.

ПРО8. Обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками.

ПР31. Знати способи розрахунку значень ударного та усталеного струму короткого замикання на об'єктах електричних мереж та електроенергетичних систем для різних типів пошкоджень

ПР33. Знати способи моделювання та розрахунку параметрів об'єктів та процесів в електричних мережах та електроенергетичних системах за допомогою математичного апарату

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізити: вивчення дисципліни передбачає необхідність попереднього вивчення навчальних дисциплін «Теоретичні основи електротехніки» та «Електричні мережі».

Постреквізити: вивчення дисципліни забезпечує можливість вивчення освітніх компонентів «Регулювання режимів електричних систем», «Методи оптимізації режимів енергосистем», «Моделі оптимального розвитку енергосистем» та виконання розрахунків під час дипломного проєктування.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна складається з 3 розділів з таким розподілом за темами:

1. Загальні принципи формування математичних моделей електричних систем

Тема 1.1. Постановка задачі математичного моделювання в електроенергетиці.

Тема 1.2. Математичні моделі елементів електричної системи

2. Моделювання симетричних синусоїдних усталених режимів електричних систем

Тема 2.1. Розрахункові схеми електричних мереж для моделювання усталених режимів.

Тема 2.2. Моделі розімкненої електричної мережі.

Тема 2.3. Моделі замкненої електричної мережі.

3. Моделювання усталених несиметричних і несинусоїдних та динамічних режимів електричних систем

Тема 3.1. Моделювання несиметричного режиму електричної мережі.

Тема 3.2. Моделювання несинусоїдних режимів роботи електричної мережі.

Тема 3.3. Моделювання динамічних елементів та режимів електричної мережі.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. *Електричні системи і мережі. Розрахунок та аналіз усталених режимів електроенергетичних систем [Текст]: навчальний посібник з дисципліни для всіх форм навчання та студентів іноземців спеціальності 141 “ Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” / Уклад. Т. Л. Кацадзе, В. В. Кирик.-К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.-212 с.*
2. *Математичні моделі електричних систем. Розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електричні системи і мережі» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / уклад. Т. Л. Кацадзе, О. М. Паненко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 54 с.*
3. *Математичні моделі електричних систем. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електричні системи і мережі» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / уклад. Т. Л. Кацадзе, О. М. Паненко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 63 с.*
4. *Кириленко О.В., Сегеда М.С., Буткевич О.Ф., Мазур Т.А. Математичне моделювання в електроенергетиці: Підручник / – Львів: 2-е видання. Вид-во нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2013. – 608 с.*

Додаткові інформаційні ресурси:

5. *Мельник В. П. Математичні моделі електроенергетичних систем: навч. посібник / В. П. Мельник. – К : ІСДО, 1993. – 336 с.*
6. *Основи комп’ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір’язєв, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, 2019. – 492 с.*
7. *Tleis N. Power Systems Modelling and Faults Analysis. Theory and Practice/ Nasser Tleis. Second Edition. – Elsevier, 2019. – 915 p.*
8. *Mathematical Models and Algorithms for Power System Optimization: Modeling Technology for Practical Engineers Problems / Mingtian Fan, Zuping Zhang, Chengmin Wang. – Elsevier, 2019. – 425 p.*
9. *Technical report PES-TR1. Dynamic Models for Turbine-Governors in Power System Studies. – IEEE, 2013. – 117 p.*

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	<i>Математичне моделювання: основні поняття та визначення</i> Визначення математичної моделі. Загальні принципи побудови математичних моделей. <i>Література: [1], [2], [3]</i>
2	<i>Загальна характеристика задач моделювання</i> Класифікація режимних параметрів електричних систем. Класифікація режимів роботи електроенергетичних систем. Загальна характеристика задачі моделювання усталених режимів електроенергетичних систем <i>Література: [1], [4]</i>

3	<p><i>Вихідні параметри задачі математичного моделювання електричних систем</i> Балансуючий пункт та пункт, опорний за напругою. Поняття інженерної точності розрахунку. Вибір початкових наближень. <i>Література: [1], [4]</i></p>
4	<p><i>Система симетричних складових</i> Симетричні та несиметричні режими роботи трифазних електричних систем. Взаємний зв'язок параметрів робочих режимів електричних систем в фазній системі координат. Умови перетворення систем координат параметрів робочих режимів електричних систем. Система симетричних складових. Прямая, обернена та нульова послідовності. Матриця перетворення з фазної системи координат в систему симетричних складових. Матриця оберненого перетворення. <i>Література: [5]</i></p>
5	<p><i>Математичні моделі лінії електропередачі</i> Схема заміщення ділянки лінії електропередачі. Матричне рівняння стану лінії електропередачі в часткових похідних. Матричні рівняння ділянки ЛЕП у фазних координатах. Застосування симетричних координат в моделюванні ЛЕП. Однолінійна схема заміщення ділянки лінії. Моделювання ЛЕП за допомогою телеграфних рівнянь. Моделювання повітряної ЛЕП в усталеному режимі роботи з метою визначення теплових втрат. <i>Література: [1], [5]</i></p>
6	<p><i>Математичні моделі трансформаторів</i> Схема заміщення трифазного двохобмоткового трансформатора. Матричне рівняння трансформатора в часткових похідних фазних координат. Моделювання робочого режиму трансформатора в системі координат симетричних складових. Однолінійна схема заміщення трансформатора. Зведення параметрів трансформатора до одного ступеня напруги. Коефіцієнт трансформації. <i>Література: [1], [4]</i></p>
7	<p><i>Математичні моделі синхронного генератора</i> Схема заміщення синхронного генератора. Рівняння стану синхронного генератора у фазних координатах. Система координат, що зв'язана з ротором. Рівняння Парка-Горева. Система алгебраїчних рівнянь доповнення. Коефіцієнти взаємоіндукції обмоток збудження і фазних обмоток. Рівняння для демпферних контурів. Математична модель синхронного генератора в d, q – координатах. <i>Література: [1], [4], [5]</i></p>
8	<p><i>Моделі електроспоживачів</i> Математична модель асинхронного двигуна. Рівняння Парка-Горева для асинхронного двигуна. Математична модель асинхронного двигуна в електромеханічних перехідних процесах. Схема заміщення. Моделювання споживачів за допомогою статичних характеристик навантаження. Умови використання постійного навантаження в якості моделі споживачів. Моделювання споживачів незмінним шунтом, постійним струмом навантаження та постійним коефіцієнтом потужності <i>Література: [5], [6], [8]</i></p>
9	<p><i>Розрахункові схеми електричних мереж</i> Поняття про розрахункову схему. Особливості складання розрахункових для моделювання симетричних синусоїдних усталених режимів електричних систем <i>Література: [2], [4], [8]</i></p>
10	<p><i>Математичні моделі розімкненої електричної мережі. Ч.1</i> Лінійна та нелінійна моделі розімкненої електричної мережі. Алгоритми розрахунку параметрів симетричного синусоїдного усталеного режиму роботи електричної мережі із застосуванням лінійної та нелінійної моделей. <i>Література: [1], [4], [5]</i></p>

11	<p><i>Математичні моделі розімкненої електричної мережі. Ч. 2</i></p> <p>Лінеаризована модель розімкненої електричної мережі. Модель «у два етапи». Алгоритми розрахунку параметрів симетричного синусоїдного усталеного режиму роботи електричної мережі із застосуванням лінеаризованої моделі та моделі «у два етапи».</p> <p><i>Література: [1], [4], [5]</i></p>
12	<p><i>Математичні моделі розімкненої електричної мережі. Ч. 3</i></p> <p>Матрична модель розімкненої електричної мережі. Конфігураційні моделі схем електричних систем. Використання математичного апарату теорії графів для подання структури основної мережі електричної системи. Матриці інцидентцій. Матриця з'єднань. Матриця контурів. Матриця перерізів.</p> <p><i>Література: [5]</i></p>
13	<p><i>Математичні моделі розімкненої електричної мережі. Ч. 4</i></p> <p>Модель розімкненої електричної мережі з трансформаторними зв'язками. Модель розімкненої електричної мережі з вузлом з фіксованою напругою.</p> <p><i>Література: [2], [3], [5], [14]</i></p>
14	<p><i>Математичні моделі замкненої електричної мережі. Контурна модель. Ч.1</i></p> <p>Контурна розрахункова модель електричної мережі. Метод контурних рівнянь. Алгоритм метода контурних рівнянь «у струмах» та «у потужностях».</p> <p><i>Література: [1], [4], [5]</i></p>
15	<p><i>Математичні моделі замкненої електричної мережі. Контурна модель. Ч.2</i></p> <p>Контурна розрахункова модель електричної мережі. Метод розрізання контурів. Розрізання по ділянках та по вузлах.</p> <p><i>Література: [1], [4], [5]</i></p>
16	<p><i>Математичні моделі замкненої електричної мережі. Контурна модель. Ч.3</i></p> <p>Реалізація контурної моделі електричної мережі в матричній формі.</p> <p><i>Література: [1], [5]</i></p>
17	<p><i>Математичні моделі замкненої електричної мережі. Вузлова модель. Ч.1</i></p> <p>Вузлова розрахункова модель електричної мережі. Метод Зейделя. Метод обернення неповної матриці вузлових провідностей.</p> <p><i>Література: [1], [4], [5]</i></p>
18	<p><i>Математичні моделі замкненої електричної мережі. Вузлова модель. Ч.2</i></p> <p>Вузлова розрахункова модель електричної мережі. Метод Ньютона першого та другого порядків. Метод Стотта. Градієнтний метод.</p> <p><i>Література: [1], [4], [5]</i></p>
19	<p><i>Математичні моделі замкненої електричної мережі. Вузлова модель. Ч.3</i></p> <p>Реалізація вузлової розрахункової моделі електричної мережі для мереж з вузлами з фіксацією модуля напруги.</p> <p><i>Література: [1], [4], [5]</i></p>
20	<p><i>Математичні моделі замкненої електричної мережі. Вузлова модель. Ч.4</i></p> <p>Реалізація вузлової розрахункової моделі електричної мережі для мереж з трансформаторними зв'язками. Моделі підвищувальних та понижувальних трансформаторів.</p> <p><i>Література: [1], [4], [5]</i></p>
20	<p><i>Математичні моделі замкненої електричної мережі. Вузлова модель. Ч.5</i></p> <p>Реалізація вузлової моделі електричної мережі в матричній формі.</p> <p><i>Література: [1], [4], [5]</i></p>
21	<p><i>Еквівалентні перетворення розрахункових схем електричних мереж. Ч.1</i></p>

	<p>Критерії та етапи спрощення розрахункової математичної моделі. Залежність методів еквівалентного перетворення від характеру вихідної моделі. Параметричні методи еквівалентного спрощення. Функціональні методи еквівалентного спрощення. Точні і наближені методи еквівалентного спрощення. Еквівалентне заміщення струмів витоків та втрат потужностей додатковими фіктивними навантаженнями. Еквівалентне заміщення перерізів ділянок електричної мережі.</p> <p><i>Література: [1], [4]</i></p>
23	<p><i>Еквівалентні перетворення розрахункових схем електричних мереж. Ч.3</i></p> <p>Еквівалентне перетворення послідовно та паралельно включених ділянок розрахункових схем. Заміщення декількох джерел живлення одним еквівалентним. Еквівалентні перетворення «трикутник-зірка» та «зірка-трикутник». Перенесення електричних навантажень у суміжні пункти розрахункової схеми. Еквівалентне заміщення електропередачі фіктивними навантаженнями. Еквівалентне зведення параметрів розрахункової схеми до базисної напруги. Еквівалентне заміщення трансформаторних ділянок фіктивними джерелами напруги та струму. Метод діакоптики.</p> <p><i>Література: [1], [4]</i></p>
24	<p><i>Моделювання несиметричного режиму електричної системи</i></p> <p>Особливості моделювання несиметричних режимів електричних систем. Методи симетричних та несиметричних складових. Комплексні схеми заміщення електричної мережі</p> <p><i>Література: [4], [5]</i></p>
25	<p><i>Моделювання несинусоїдного режиму електричної системи</i></p> <p>Поняття гармоніки. Особливості моделювання несинусоїдних режимів роботи електричних систем за методом гармонічних складових.</p> <p><i>Література: [4], [5]</i></p>
26	<p><i>Моделювання динамічних режимів роботи електричних систем. Ч.1</i></p> <p>Класифікація задач аналізу динамічних режимів. Склад математичних моделей динамічних режимів. Узагальнений алгоритм реалізації математичної моделі динамічного режиму роботи електричної системи.</p> <p><i>Література: [4], [5]</i></p>
27	<p><i>Моделювання динамічних режимів роботи електричних систем. Ч.2</i></p> <p>Особливості реалізації математичних моделей для аналізу динамічних режимів. Порядок динамічної моделі. Чисельні методи розв'язання системи диференціальних рівнянь математичної моделі динамічного режиму.</p> <p><i>Література: [4], [5]</i></p>

Практичні заняття

№ з/п	<i>Назва теми практичного заняття (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)</i>
1	<p>Розрахунок параметрів симетричної П-подібної схеми заміщення повітряної та кабельної ЛЕП</p> <p><i>Література: [1], [4], [5].</i></p>
2	<p>Розрахунок параметрів Г- та Т-подібної схеми заміщення двохобмоткового силового трансформатора.</p> <p><i>Література: [1], [4], [5].</i></p>
3	<p>Складання розрахункових схем електричних систем та визначення їх еквівалентних параметрів</p> <p><i>Література: [1], [4], [5].</i></p>
4	<p>Моделювання розімкненої електричної мережі із застосуванням лінійної та нелінійної розрахункових моделей</p>

	<i>Література: [1], [4], [5].</i>
5	Моделювання розімкненої електричної мережі із застосуванням лінеаризованої моделі та моделі «у два етапи» <i>Література: [1], [4], [5].</i>
6	Моделювання замкненої електричної мережі із застосуванням методу контурних рівнянь <i>Література: [1], [4], [5].</i>
7	Моделювання замкненої електричної мережі із застосуванням методу Зейделя <i>Література: [1], [4], [5].</i>
8	Моделювання замкненої електричної мережі із застосуванням методу обернення неповної матриці вузлових провідностей <i>Література: [1], [4], [5].</i>
9	Моделювання замкненої електричної мережі із застосуванням матричних методів розрахунку <i>Література: [1], [4], [5].</i>

Лабораторні заняття

№ з/п	<i>Назва теми лабораторного заняття (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)</i>
1	Функції комплексної змінної <i>Література: [1], [3].</i>
2	Заступні схеми елементів електричних мереж <i>Література: [1], [3].</i>
3	Матриці інциденцій <i>Література: [1], [3].</i>
4	Система адресних відображень <i>Література: [1], [3].</i>
5	Слабкозаповнені матриці <i>Література: [1], [3].</i>
6	Ітераційний розрахунок параметрів режиму найпростішої електричної системи <i>Література: [1], [3].</i>
7	Розрахунки режимних параметрів розімкнених електричних мереж <i>Література: [1], [3].</i>
8	Метод розрізання контурів <i>Література: [1], [3].</i>
9	Розв'язання системи вузлових рівнянь методом Зейделя <i>Література: [1], [3].</i>

Розрахунково-графічна робота

Розрахунково-графічна робота на тему «Моделювання усталеного режиму електричної системи» виконується студентами за теоретичними матеріалами 2-го розділу освітнього компоненту. В рамках розрахунково-графічної роботи студенти виконують моделювання та визначення параметрів усталеного режиму роботи електричної мережі із застосуванням методів розрізання контурів та Ньютона.

Типовий перелік розділів розрахунково-графічної роботи:

- 1) формування розрахункової схеми електричної системи;
- 2) розрахунок режимних параметрів електричної системи методом розрізання контурів;
- 3) розрахунок режимних параметрів електричної системи методом Ньютона.

Література: [1], [2].

6. Самостійна робота здобувача

<i>№з/п</i>	<i>Вид самостійної роботи</i>	<i>Кількість годин СРС</i>
1	Підготовка до лекційних та практичних занять	12
2	Підготовка до лабораторних занять	12
3	Виконання РГР	10
4	Підготовка до тестів та складання тестів	8
5	Підготовка до екзамену	18
Загалом		60

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Відвідування лекційних та практичних занять є обов'язковим. Студенти мають право на вільне відвідування лекційних занять з письмового дозволу декану факультету у випадку, коли нормований інтегральний рейтинг студента становить не менше 80%.

Правила поведінки на заняттях

Здобувач має можливість отримувати заохочувальні бали за активність на лекційних та практичних заняттях, передбачені РСО дисципліни.

Використання засобів зв'язку на заняттях допускається виключно за вказівкою викладача для пошуку інформації на гугл-диску викладача та в інтернеті.

Правила захисту індивідуальних завдань

Захист лабораторних робіт проводиться індивідуально в рамках лабораторних занять у час, вільний від проведення досліджень, чи в рамках консультацій викладача, який проводить лабораторні заняття.

Політика дедлайнів та перескладань

Студент має право на виконання лабораторної роботи у разі неможливості її виконання в рамках графіку та на повторний захист лабораторної роботи. Дату та час проведення додаткового лабораторного заняття чи перескладання лабораторної роботи визначає викладач, який проводить лабораторні заняття.

Дедлайн складання РГР зазначається у завданні. Студент має право на перескладання РГР, дату та час проведення перескладання визначає викладач. Перескладання РГР проводиться до дати проведення семестрового контролю з освітнього компоненту.

Перескладання тестового завдання передбачено виключно у випадку неможливості складання тесту в рамках основного складання. Перескладання тестового завдання проводиться в інтервалі до 2 тижнів з дати його основного складання. У випадку порушення термінів перескладання тестового завдання на результати перескладання нараховуються штрафні бали відповідно до РСО. Перескладання тестів відбуваються виключно у визначений викладачем час за узгодженням з ним.

Політика щодо академічної доброчесності

Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (<https://kpi.ua/files/honorcode.pdf>) встановлює загальні моральні принципи, правила

етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись в процесі своєї діяльності.

Інші вимоги

У разі використання цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: виконання РГР та трьох тестових завдань.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу відповідно до графіку навчального процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Умови отримання позитивної оцінки з календарного контролю:

- для 1-го календарного контролю – отримано 15 рейтингових балів та захищено 3 лабораторні роботи;

- для 2-го календарного контролю – отримано 30 рейтингових балів та захищено 6 лабораторних робіт.

Семестровий контроль: екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю: захищено всі лабораторні роботи, зараховано РГР (бал за РГР не менший за 9), отримано не менше 30 рейтингових балів.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Рейтингова система оцінювання освітнього компоненту передбачає можливість набору студентом максимуму у 100 рейтингових балів (без урахування заохочувальних балів).

Бали до семестрового рейтингу студент отримує за:

- 1) виконання РГР – максимально 15 балів;
- 2) виконання трьох тестових завдань – максимально по 5 балів за кожен тест;
- 3) виконання та захист 9 лабораторних робіт – сумарний максимум 20 балів;
- 4) активну роботу на лекційних та практичних заняттях, найкращі результати виконання тестових завдань (заохочувальні бали) – максимально 10 балів.
- 5) виконання екзаменаційної роботи – максимально 50 балів;

Штрафні бали до семестрового рейтингу студент отримує за:

- 1) неуспішного складання РГР – 3 бали;
- 2) несвоєчасний захист лабораторної роботи – до 25% від максимального балу за лабораторну роботу.

Критерії нарахування балів семестрового рейтингу:

1) Виконання РГР:

- повне правильне розв'язання задач РГР – 15 балів;
- повне розв'язання задач РГР з незначними помилками – 13...14 балів;
- розв'язання задач РГР з суттєвими помилками або неповне розв'язання – 9...12 балів;
- задачі РГР нерозв'язано або розв'язано з грубими помилками – 0 балів за роботу.

Незарахована РГР підлягає обов'язковому перескладанню.

2) Виконання трьох тестових завдань

Кожне тестове завдання містить 20 теоретичних питань. Відповіді на кожне тестове питання оцінюються так:

- повністю правильна відповідь – 0,25 бали;
- неправильна або неповністю правильна відповідь – 0 балів.

Бали, отримані за кожне тестове завдання, підсумовуються окремо. Максимальна кількість балів, яка може бути отримана за виконання кожного тестового завдання, становить 5. Десять відсотків студентів потоку, які набрали найбільшу кількість балів за виконання певного тестового завдання, отримують по 2 заохочувальні бали.

Виконані студентом тестові завдання не підлягають перескладанню.

У випадку неявки студента на складання певного тестового завдання без поважної причини на результати перескладання нараховуються 2 штрафні бали, за наявності поважної причини (хвороба, підтверджена медичною довідкою, тощо) штрафні бали не нараховуються.

Дату і час перескладання тестових завдань визначає викладач.

3) Виконання та захист лабораторних робіт:

Максимальний бал за виконання та захист лабораторної роботи з кредитного модуля визначається за таблицею:

Номер роботи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Загалом
Максимальний бал	1	2	2	2	2	2	3	3	3	20

Виконання та захист студентом лабораторної роботи оцінюється так:

- за умови вірного виконання лабораторної роботи, відповідним чином оформленого протоколу та відмінного своєчасного захисту роботи – максимальний бал за відповідну лабораторну роботу;

- за умови вірного виконання лабораторної роботи, відповідним чином оформленого протоколу та доброго своєчасного захисту роботи – 75 % від максимального балу за відповідну лабораторну роботу;

- за умови вірного виконання лабораторної роботи, відповідним чином оформленого протоколу та задовільного своєчасного захисту роботи – 60 % від максимального балу за відповідну лабораторну роботу.

За рішенням викладача, який проводить лабораторні заняття, студент може отримати за виконання та захист лабораторної роботи нецілий бал.

Штраф за умови несвоєчасного захисту лабораторної роботи становить 25 % від максимального балу за відповідну лабораторну роботу.

4) Активна робота на лекційних та практичних заняттях

За активну роботу на лекційному або практичному занятті студент має змогу отримати 1...2 заохочувальні бали.

Максимальне значення суми заохочувальних балів, отриманих студентом за період вивчення освітнього компонента, не може перевищувати 10.

Максимальне значення суми штрафних балів, отриманих студентом за період вивчення освітнього компонента, не може перевищувати 10.

Умовою атестації студента за результатами 7 тижнів навчання (перший календарний контроль) є отримання ним не менше 15 рейтингових балів.

Умовою атестації студента за результатами 13 тижнів навчання (другий календарний контроль) є отримання ним не менше 30 рейтингових балів.

5) Виконання екзаменаційної роботи

Критеріями допуску студента до семестрового контролю є:

- захист всіх лабораторних робіт;
- успішне складання РГР (бал за РГР не менший за 9);
- отримання не менше 30 рейтингових балів.

Екзаменаційна робота складається з теоретичної та практичної частини. Теоретична частина містить 30 тестових питань, практична частина – 1 задачу.

Відповіді на кожне тестове питання теоретичної частини екзаменаційної роботи оцінюються так:

- повністю правильна відповідь – 1 бал;
- неправильна або неповністю правильна відповідь – 0 балів.

Система оцінювання задач практичної частини екзаменаційної роботи є такою:

- повне правильне розв'язання задачі – 20 балів;
- повне розв'язання задачі з незначними помилками – 18...19 балів;
- розв'язання задачі з суттєвими помилками або неповне розв'язання – 12...17 балів;
- задачу нерозв'язано або розв'язано з грубими помилками – 0 балів.

Максимальне значення суми балів, які студент може отримати за виконання екзаменаційної роботи, становить 50. Час, відведений на виконання екзаменаційної роботи становить 35 хвилин на теоретичну частину та 45 хвилин на практичну частину.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	95...100	85...94	75...84	65...74	60...64	Менше 60	Невиконання умов допуску
Оцінка	відмінно	дуже добре	добре	задовільно	достатньо	незадовільно	недопущено

9. Додаткова інформація з дисципліни

Виконання РГР

Виконання РГР може відбуватися із застосуванням програмних комплексів для виконання інженерних розрахунків, встановлених в комп'ютерних класах кафедри електричних мереж та систем.

Виконання тестових завдань

Виконання обох тестових завдань передбачає можливість застосування спеціалізованої тестової системи, встановленої в комп'ютерних класах кафедри електричних мереж та систем.

Виконання лабораторних робіт

Виконання лабораторних робіт відбувається шляхом реалізації алгоритмів математичного моделювання із застосуванням мови програмування С#. Виконання та захист лабораторної роботи можуть відбуватися із застосуванням ПК в комп'ютерному класі або ноутбука студента.

Виконання екзаменаційної роботи

Виконання екзаменаційної роботи передбачає застосування спеціалізованої тестової системи та програмних комплексів для виконання інженерних розрахунків, встановлених в комп'ютерних класах кафедри електричних мереж та систем.

Перелік питань до семестрового контролю

1. Визначення математичної моделі. Загальні принципи побудови математичних моделей.
2. Класифікація режимних параметрів електричних систем. Класифікація режимів роботи електроенергетичних систем.
3. Загальна характеристика задачі моделювання усталених режимів електроенергетичних систем.
4. Балансуючий пункт електричної системи.
5. Пункт, опорний за напругою.
6. Поняття інженерної точності розрахунку.
7. Вибір початкових наближень.
8. Симетричні та несиметричні режими роботи трифазних електричних систем.
9. Взаємний зв'язок параметрів робочих режимів електричних систем в фазній системі координат. Умови перетворення систем координат параметрів робочих режимів електричних систем.

10. Система симетричних складових. Пряма, обернена та нульова послідовності. Матриця перетворення з фазної системи координат в систему симетричних складових. Матриця оберненого перетворення.

11. Схема заміщення ділянки лінії електропередачі. Матричне рівняння стану лінії електропередачі в часткових похідних.

12. Матричні рівняння ділянки ЛЕП у фазних координатах. Застосування симетричних координат в моделюванні ЛЕП.

13. Однолінійна схема заміщення ділянки лінії. Моделювання ЛЕП за допомогою телеграфних рівнянь.

14. Моделювання повітряної ЛЕП в усталеному режимі роботи з метою визначення теплових втрат.

15. Схема заміщення трифазного двохобмоткового трансформатора. Матричне рівняння трансформатора в часткових похідних фазних координат.

16. Моделювання робочого режиму трансформатора в системі координат симетричних складових. Однолінійна схема заміщення трансформатора.

17. Зведення параметрів трансформатора до одного ступеня напруги. Коефіцієнт трансформації.

18. Схема заміщення синхронного генератора. Рівняння стану синхронного генератора у фазних координатах. Система координат, що зв'язана з ротором. Рівняння Парка-Горева.

19. Система алгебраїчних рівнянь доповнення. Коефіцієнти взаємоіндукції обмоток збудження і фазних обмоток. Рівняння для демпферних контурів. Математична модель синхронного генератора в d, q – координатах.

20. Математична модель асинхронного двигуна. Рівняння Парка-Горева для асинхронного двигуна. Математична модель асинхронного двигуна в електромеханічних перехідних процесах.

21. Моделювання споживачів за допомогою статичних характеристик навантаження. Умови використання постійного навантаження в якості моделі споживачів. Моделювання споживачів незмінним шунтом, постійним струмом навантаження та постійним коефіцієнтом потужності.

22. Поняття про розрахункову схему. Особливості складання розрахункових для моделювання симетричних синусоїдних усталених режимів електричних систем

23. Лінійна модель розімкненої електричної мережі: опис та алгоритм розрахунку.

24. Нелінійна модель розімкненої електричної мережі: опис та алгоритм розрахунку.

25. Лінеаризована модель розімкненої електричної мережі: опис та алгоритм розрахунку.

26. Модель «у два етапи»: опис та алгоритм розрахунку.

27. Матриці інциденцій.

28. Матрична модель розімкненої електричної мережі.

29. Модель розімкненої електричної мережі з трансформаторними зв'язками.

30. Модель розімкненої електричної мережі з вузлом з фіксованою напругою.

31. Контурна розрахункова модель електричної мережі. Метод контурних рівнянь: опис методу.

32. Контурна розрахункова модель електричної мережі. Метод контурних рівнянь: алгоритм методу.

33. Контурна розрахункова модель електричної мережі. Метод розрізання контурів по вузлах та по ділянках: опис методу.

34. Контурна розрахункова модель електричної мережі. Метод розрізання контурів по вузлах: алгоритм методу.

35. Контурна розрахункова модель електричної мережі. Метод розрізання контурів по ділянках: алгоритм методу.

36. Реалізація контурної моделі електричної мережі в матричній формі.

37. Вузлова розрахункова модель електричної мережі. Метод Зейделя.
38. Вузлова розрахункова модель електричної мережі. Метод обернення неповної матриці вузлових провідностей.
39. Вузлова розрахункова модель електричної мережі. Метод Ньютона першого порядку.
40. Вузлова розрахункова модель електричної мережі. Метод Ньютона другого порядку.
41. Вузлова розрахункова модель електричної мережі. Метод Стотта та градієнтний метод.
42. Вузлова розрахункова модель електричної мережі для мереж з вузлами з фіксацією модуля напруги.
43. Реалізація вузлової розрахункової моделі електричної мережі для мереж з трансформаторними зв'язками.
44. Реалізація вузлової моделі електричної мережі в матричній формі.
45. Критерії та етапи спрощення розрахункової математичної моделі. Залежність методів еквівалентного перетворення від характеру вихідної моделі. Точні і наближені методи еквівалентного спрощення.
46. Еквівалентне заміщення струмів витоку та втрат потужностей додатковими фіктивними навантаженнями.
47. Еквівалентне заміщення перерізів ділянок електричної мережі.
48. Еквівалентне перетворення послідовно та паралельно включених ділянок розрахункових схем.
49. Заміщення декількох джерел живлення одним еквівалентним.
50. Еквівалентні перетворення «трикутник-зірка» та «зірка-трикутник».
51. Перенесення електричних навантажень у суміжні пункти розрахункової схеми.
52. Еквівалентне заміщення електропередачі фіктивними навантаженнями.
53. Еквівалентне зведення параметрів розрахункової схеми до базисної напруги.
54. Еквівалентне заміщення трансформаторних ділянок фіктивними джерелами напруги та струму.
55. Метод діакоптики.
56. Моделювання несиметричних режимів електричних систем. Метод симетричних складових.
57. Моделювання несиметричних режимів електричних систем. Метод несиметричних складових.
58. Моделювання несиметричних режимів електричних систем. Комплексні схеми заміщення електричної мережі.
59. Моделювання несинусоїдних режимів роботи електричних систем за методом гармонічних складових.
60. Класифікація задач аналізу динамічних режимів. Склад математичних моделей динамічних режимів.
61. Узагальнений алгоритм реалізації математичної моделі динамічного режиму роботи електричної системи.
62. Математична модель електромагнітних перехідних процесів синхронного генератора. Рівняння механічного руху генератора.
63. Чисельні методи розв'язання системи диференціальних рівнянь математичної моделі динамічного режиму.

Силабус:

- складено доц. кафедри електричних мереж та систем ФЕА к. т. н. Кацадзе Т. Л.

Ухвалено кафедрою ЕМС (протокол № 13 від 20 червня 2023 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 16 червня 2023 р.)