



Математичні задачі енергетики

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалавр)</i>
Галузь знань	14 «Електрична інженерія»
Спеціальність	141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма	УПРАВЛІННЯ, ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ
Статус дисципліни	Цикл професійної підготовки. Нормативні компоненти освітньої програми
Форма навчання	Заочна 4 р.н. та заочна 3 р.н. (прискорена)
Рік підготовки, семестр	2 курс, 4-й семестр (4 р.н.); 1 курс, 2-й семестр (3 р.н.)
Обсяг дисципліни	315 годин / 10,5 кредити ECTS
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен / МКР
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н. доцент ХОМЕНКО Олег Володимирович</i> Практичні заняття: <i>к.т.н. доцент ХОМЕНКО Олег Володимирович</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom</i> https://classroom.google.com/c/MTU4ODM1NTAxMTk4

Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Математичні задачі енергетики» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма "Управління, захист та автоматизація енергосистем".

Метою навчальної дисципліни є формування у слухачів системи здатностей по вибору і розрахунку параметрів елементів і режимів роботи електричних мереж; виконанню техніко-економічного обґрунтування рішень, що приймаються; прийняттю рішень, що відповідають новітнім досягненням рівня науки і техніки; обґрунтованому вибору ефективних методів інженерних розрахунків, проведенню досліджень на об'єктах енергосистем, аналізу отриманих результатів; ефективному використанню сучасних інтелектуальних, інформаційних комп'ютерно-інтегрованих технологій; виконанню проектно-конструкторської документації згідно з нормативними вимогами.

Предмет навчальної дисципліни - структура математичної моделі електроенергетичної системи (ЕЕС); схеми заміщення основних елементів ЕЕС і системи в цілому; способи обчислення параметрів схем заміщення елементів ЕЕС; рівняння усталеного режиму ЕЕС у формі балансу струмів, форми їх запису; рівняння усталеного режиму ЕЕС у формі балансу потужностей, форми їх запису; методи розв'язання лінійних рівнянь усталеного режиму; методи розв'язання нелінійних систем рівнянь усталеного режиму; способи обчислення параметрів режиму - струмів, потоків потужностей, втрат потужностей тощо; способи аналізу параметрів режиму. Оптимальні режими роботи ЕЕС та методи їх визначення.

Програмні результати навчання:

Компетенції:

K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.

K23. Здатність правильно формулювати та розв'язувати математичні задачі в галузі управління, захисту та автоматизації енергосистем.

K26. Здатність розуміти математичні підходи до принципів автоматичного регулювання в енергетичних системах, особливості функціонування пристроїв регулювання.

Знання і уміння:

ПР01. Знати і розуміти принципи роботи електричних систем та мереж, силового обладнання електричних станцій та підстанцій, пристроїв захисного заземлення та грозозахисту та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПР07. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах.

ПР19. Застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні.

ПР21. Знати і розуміти основні положення теорії автоматичного керування, особливості застосування різних способів регулювання параметрів режимів електричних мереж та електроенергетичних систем у застосуванні до задач у галузі управління, захисту та автоматизації енергосистем.

ПР24. Вміти розробляти алгоритми вирішення задач в галузі управління, захисту та автоматизації енергосистем з використанням математичного апарату та сучасного програмного забезпечення.

ПР27. Створювати математичні моделі електроенергетичного обладнання та визначати режимні параметри процесів, які мають місце в електричних мережах та електроенергетичних системах в перехідних та ustalених режимах.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти: теоретичною базою дисциплін «Вища математика», «Загальна фізика», «Теоретичні основи електротехніки», «Обчислювальні методи та алгоритмізація». Компетенції, знання та уміння, одержані в процесі вивчення дисципліни є необхідними для вивчення дисципліни «Теорія автоматичного керування» та подальшого якісного виконання досліджень за темою атестаційної роботи.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна структурно розподілена на 2 частини, а саме:

Частина 1. Моделювання і аналіз ustalених режимів роботи електроенергетичних систем (ЕЕС).

Складається із **3-х розділів:**

1. **Моделювання схем електричних мереж**, в якому розглядаються схеми заміщення і розрахункові схеми основних елементів електричних мереж, розрахунок їх параметрів.
2. **Формування математичної моделі режимів роботи електричної мережі**, в якому розглядаються рівняння і системи рівнянь ustalеного режиму у формі балансу струмів і балансу потужностей.
3. **Математичні методи розв'язання систем рівнянь ustalеного режиму**, де розглядаються прямі і ітераційні методи розв'язання систем рівнянь ustalеного режиму, обчислення і аналіз основних параметрів режиму.

Частина 2. Оптимізація режимів роботи ЕЕС.

Елементи теорії ймовірностей в задачах електроенергетики

Складається із 2-х розділів:

1. **Оптимізація режимів роботи ЕЕС**, в якому розглядаються задачі оптимізації режимів роботи ЕЕС, основні поняття та деякі методи оптимізації режимів, обмеження при оптимізації.
2. **Елементи теорії ймовірностей в задачах електроенергетики**, в якому розглядаються випадкові події і випадкові величини, функція і щільність розподілу ймовірностей, закони розподілення ймовірностей.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики. - Львів: Видавництво при Львівському університеті, 1982, - 380 с.
2. Правила улаштування електроустановок : 2017. – Офіц. вид. – К. :Форт : Мінпаливенерго України. 2017.
3. Електричні мережі та системи: підручн. / В.М. Сулейманов, Т.Л. Кацадзе. – К: НТУУ «КПІ», 2008. – 456 с.
4. Журахівський, А. В. Оптимізація режимів електроенергетичних систем : навч. посібник для вузів / А. В. Журахівський, І. В. Жежеленко ; Держ. ун-т "Львівська політехніка"; ПДТУ. КАф. електропостачання пром. підприємств .. - Львів ; Маріуполь : [б. и.], 2000. - 109 с. <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/15902>
5. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник / О. І. Огірко, Н. В.Галайко.–Львів: ЛьвДУВС, 2017. – 292 с.
6. <http://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/629/1/теорія%20ймовірностей%20підручник.pdf>

Додаткові:

7. Хоменко О.В. Математичні задачі енергетики. Моделювання і аналіз ustalених режимів роботи електричних систем [Електронне видання]: навчальний посібник / О.В. Хоменко: НТУУ «КПІ». - Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 109 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/15649>
8. Математичні задачі енергетики. Частина 1 [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання практичних занять / НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» ; уклад. О.В. Хоменко, В.С. Гулий. – Київ : НТУУ «КПІ», 2017. – 88 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19869>
9. Математичні моделі електроенергетичних систем: Навчальний посібник. / В.П. Мельник. – К.: ІСДО, 1993,-336с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
	Частина 1. Розділ 1. Моделювання схем електричних мереж
1	Моделювання ЕЕС. Загальні положення. Поняття моделі. Види моделей. Об'єкт моделювання ЕЕС. Структура моделі ЕЕС. Етапи побудови моделей ЕЕС. Основні елементи електричних мереж та схеми їх заміщення. Загальні визначення і

	припущення. Схеми заміщення ЛЕП і трансформаторів. Параметри режиму при моделюванні цих елементів електричної мережі. Представлення вузлів генерації і навантаження, комутаційних апаратів в схемах заміщення. Параметри режиму при моделюванні цих елементів. Схема заміщення електричної мережі. Обчислення параметрів елементів схем заміщення. Розрахункова схема електричної мережі. Літературні джерела: [1, 3, 4, 5, 6]
	Частина 1. Розділ 2. Формування математичної моделі режимів роботи електричної мережі
2.	Комп'ютерне моделювання режимів електричної мережі. Основні задачі. Вихідні дані та результати обчислень. Аналіз вхідної та вихідної інформації. Рівняння усталеного режиму у формі балансу струмів і балансу потужностей. Вихідні положення. Виведення рівнянь усталеного режиму. Варіанти запису рівнянь усталеного режиму. Рівняння усталеного режиму у формі з розділенням комплексів в полярній системі координат. Рівняння усталеного режиму у прямокутній системі координат. Приклади. Матрична форма запису систем рівнянь усталеного режиму. Варіанти запису. Матриця провідностей і її властивості. Перетворення системи рівнянь. Приклади. Літературні джерела: [1, 3, 4, 5]
	Частина 1. Розділ 3. Математичні методи розв'язання систем рівнянь усталеного режиму
3.	Системи лінійних рівнянь усталеного режиму. Розв'язання СЛР методами упорядкованого виключення невідомих (метод Гауса). Приклади розв'язання систем рівнянь. Загальна характеристика ітераційних методів. Збіжність методів. Перетворення вихідної системи рівнянь. Узагальнений алгоритм ітераційних методів. Методи ітерації. Розв'язання систем нелінійних рівнянь усталеного режиму ітераційним методом Зейделя. Суть методу Зейделя. Алгоритм. Приклади. Літературні джерела: [1, 4, 5]
4.	Заключні обчислення параметрів режиму електричної мережі [2]. Обчислення струмів і потоків потужностей у ділянках електричної мережі, ін'єкцій струмів і потужностей у вузлах електричної мережі. Обчислення втрат потужності в елементах електричної мережі. Сумарні втрати потужності. Баланс потужностей. Моделювання і аналіз режимів роботи розімкнених електричних мереж. Визначення струморозподілу, потокорозподілу, вузлових напруг. Приклади. Літературні джерела: [3]
	Частина 2. Розділ 1. Оптимізація режимів роботи ЕЕС
5.	Задачі оптимізації режимів роботи ЕЕС. Основні задачі оптимального управління електроенергетичними системами. Пошук екстремумів функцій. Основні визначення. Математичні моделі оптимізації режимів ЕЕС. Математичні моделі оптимізації режимів електроенергетичних систем. Загальні положення. Постановка задачі оптимізації режиму. Цільова функція. Залежні і незалежні параметри режиму. Управляючі параметри. Приклади. Обмеження при оптимізації усталених режимів ЕЕС. Обмеження при оптимізації усталеного режиму. Загальні положення. Обмеження у вигляді рівнянь і у вигляді нерівностей. Приклади.

	Урахування обмежень у вигляді рівнянь. Метод Лагранжа. Приклади. Урахування обмежень у вигляді нерівностей. Метод штрафних функцій. Штрафні функції. Приклади Літературні джерела: [1, 5]
6.	Методи оптимізації режимів роботи енергосистем. Оптимальний розподіл активних потужностей електростанцій методом Лагранжа. Постановка задачі. Основні співвідношення. Алгоритм. Приклад розв'язання задачі оптимізації розподілу активних потужностей методом Лагранжа. Методи визначення відносних приростів втрат потужностей. Застосування градієнтних методів для оптимізації режимів енергосистем. Основні визначення градієнтних методів. Загальні положення. Градієнтний метод оптимізації режимів. Загальний алгоритм метода. Графічна інтерпретація. Визначення складових вектора-градієнта. Оптимізація розподілу реактивних потужностей градієнтним методом. Літературні джерела: [5]
	Частина 2. Розділ 2. Елементи теорії ймовірностей в задачах електроенергетики
7.	Основні визначення теорії ймовірностей. Властивості статистичної ймовірності. Незалежні і залежні випадкові події. Закони обчислення ймовірностей складних випадкових подій. Формула Бернуллі. Локальна теорема Лапласа. Випадкові величини. Числові характеристики випадкових величин: математичне очікування, дисперсія, середньоквадратичне відхилення. Момент випадкової величини. Закони розподілення ймовірностей випадкових величин: рівномірне розподілення, нормальне розподілення, експоненціальне розподілення. Літературні джерела: [6]

Лабораторні заняття (не передбачені)

Практичні заняття

№ з/п	Тема практичного заняття	Кількість ауд. годин
1	Формування схеми заміщення і розрахункової схеми електричної мережі. Обчислення параметрів елементів схеми заміщення. Літературні джерела: [5]	1
2.	Обчислення власних і взаємних провідностей вузлів електричної мережі. Складання рівнянь усталеного режиму у формі балансу струмів і балансу потужностей. Літературні джерела: [5]	1
3.	Матриця провідностей. Формування системи рівнянь усталеного режиму роботи електричної мережі. Літературні джерела: [5]	2
4.	Розв'язання системи лінійних рівнянь усталеного режиму роботи електричної мережі. Метод Гауса. Літературні джерела: [5]	2
5.	Розв'язання системи нелінійних рівнянь усталеного режиму роботи електричної мережі. Метод Зейделя. Літературні джерела: [5]	2
6.	Обчислення параметрів режиму роботи електричної мережі. Літературні джерела: [5]	2

	ЗАГАЛОМ	10
--	---------	----

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять Літературні джерела: [1, 3, 4, 6]	140
2	Підготовка до практичних занять Літературні джерела: [5]	100
3	Підготовка до МКР Літературні джерела: [4, 5]	11
4	Підготовка до екзамену	40

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях;
- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та лабораторних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів: заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали. Заохочувальні бали нараховують за участь у факультетських та інститутських олімпіадах та наукових конференціях.
- політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не проходив або не з'явився на МКР, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР не передбачено;
- 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 у своїй діяльності, в тому числі при вивченні матеріалів та складанні контрольних заходів з дисципліни «Математичні задачі енергетики»
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц. мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

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

Поточний контроль: МКР, розв'язання практичних задач.

Календарний контроль: провадиться два рази в семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: виконані та захищені всі практичні завдання, семестровий рейтинг більше 30 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно

Загальна рейтингова оцінка студента після завершення семестру складається з балів, отриманих за:

- виконання та захист практичних завдань;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР).

Виконання та захист практичних завдань	МКР	Rc	Рекз	R
48	12	60	40	100

Виконання та захист практичних завдань

Ваговий бал – 8.

Максимальна кількість балів за всі практичні завдання – 8 балів * 6 = 48 балів.

Критерії оцінювання

- самостійне правильне виконання обчислень, оформлення результатів – 4;
- повні і правильні відповіді на запитання за темою практичного завдання – 4.

Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота складається з практичних завдань.

Максимальний бал за МКР – 12 балів.

Критерії оцінювання

- правильне розв'язання завдань – 100% від кількості балів за завдання;
- часткове розв'язання задачі, наявність незначних помилок – 60-95% від кількості балів за задачу;
- часткове розв'язання задачі, наявність значних помилок – 10-55% від кількості балів за задачу;
- відсутність відповіді – 0 балів.

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації.

Форма семестрового контролю – екзамен

Екзаменаційна робота складається з двох теоретичних питань і однієї задачі.

Критерії оцінювання екзамену

Рейтинг $R_c \geq 0,6 \cdot R$, тобто 60 балів – зараховується автоматично.

Рейтинг R_c в межах $(0,3 - 0,59) \cdot R$, тобто 30 – 59 балів – студенти складають екзамен.

Максимальний рейтинг екзамену $R_z = 40$ балів.

Рейтинг екзамену $R_z = 33 - 40$ балів – студент дав вичерпні відповіді на всі питання (при необхідності – і на додаткові), дає чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні.

Рейтинг екзамену $R_3 = 25 - 32$ балів – відповідаючи на питання, студент припускається окремих помилок, але може їх виправити за допомогою викладача; знає визначення основних понять і величин дисципліни, в цілому розуміє фізичну суть процесів в об'єктах, які вивчав.

Рейтинг екзамену $R_3 = 16 - 24$ балів – студент частково відповідає на екзаменаційні питання, показує знання, але недостатньо розуміє суть процесів моделювання складних динамічних систем. Відповіді непослідовні і нечіткі.

Рейтинг екзамену $R_3 \leq 15$ балів – у відповіді студент припускається суттєвих помилок, проявляє нерозуміння фізичної суті процесів моделювання складних динамічних систем, не може виправити помилки за допомогою викладача. Відповіді некоректні, а в деяких випадках не відповідають суті поставленого питання.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль

1 – Математична модель ЕЕС у формі схем заміщення електричних мереж і систем рівнянь усталеного режиму її роботи;

2 – Математичні методи розв'язання систем рівнянь усталеного режиму;

3 - Оптимізація режимів роботи ЕЕС;

4 - Елементи теорії ймовірностей в задачах електроенергетики

Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 від 01.10.2020 ПРО ЗАТВЕРДЖЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИЗНАННЯ В КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ, НАБУТИХ У НЕФОРМАЛЬНІЙ/ІНФОРМАЛЬНІЙ ОСВІТІ

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус)

складено доцентом кафедри автоматизації енергосистем,
к.т.н. Хоменко О.В.

Ухвалено кафедрою автоматизації енергосистем ФЕА (протокол № 14 від 27.06.2024 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол №10 від 23.06.2024 р.)

¹Методичною радою університету– для загальноуніверситетських дисциплін.