

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної
роботи та організації освітнього
процесу

Олександр ПЕТРОВ

"22" 06 2023 року



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ


СТІЙКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

рівень вищої освіти	другий (магістерський)
галузь знань	14 Електрична інженерія
спеціальність	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітня програма	Електричні системи та мережі

СУЯ ВНТУ-08-21-РП.023.01:23

2023 рік

Робоча програма навчальної дисципліни
 «Стійкість електроенергетичних систем»
 рівень вищої освіти – другий (магістерський)
 галузь знань – 14 Електрична інженерія
 спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
 освітні програми – Електричні системи та мережі
 2023. — 21 с.

	Посада Протокол засідання	ПІБ	Підпис
Розроблено	Професор кафедри ЕСС	д.т.н., доцент Володимир КУЛИК	
	Доцент кафедри ЕСС	к.т.н., доцент Святослав ВИШНЕВСЬКИЙ	
Схвалено	Гарант освітньої програми Електричні системи та мережі	к.т.н., доцент Юлія МАЛОГУЛКО	
	Зав. кафедри ЕСС засідання кафедри ЕСС (протокол № 15 від 23.05.2023 р.)	д.т.н., професор Вячеслав КОМАР	
	Голова Методичної комісії ФЕЕЕМ Методична комісія ФЕЕЕМ (протокол № 10 від 12.06.2023 р.)	к.т.н., доцент Михайло РОЗВОДЮК	
Затверджено	Голова методичної ради Методична рада ВНТУ (протокол № 11 від 22.06.2023 р.)	к.т.н., доцент Олександр ПЕТРОВ	

© В. В. Кулик, 2023 рік

© С.Я. Вишневський, 2023 рік

© ВНТУ, 2023 рік

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 6	Галузь знань <u>14 – Електрична інженерія</u> (шифр і назва)	Нормативна частина	
Модулів – 2	Спеціальності <u>141 –</u> <u>Електроенергетика,</u> <u>електротехніка та</u> <u>електромеханіка</u> Освітня програма <u>Електричні системи і мережі</u>	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 2		1	2
Індивідуальне науково-дослідне завдання (реферати, розрахункові, графічні, розрахунково-графічні роботи, контрольні роботи, що виконуються під час СРС (домашні контрольні роботи), курсові, дипломні проекти (роботи) та ін. визначаються робочим навчальним планом чи рішенням кафедри)		Семестр	
Загальна кількість годин – 180		2-й	3-й
		Лекції	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3,5 самостійної роботи студента – 6,5	Рівень вищої освіти: другий (магістерський)	36 год.	10 год.
		Практичні, семінарські	
		27 год.	5 год.
		Лабораторні	
		Курсовий проект	
		Самостійна робота	
		117 год.	165 год.
		Вид контролю: диф.залік	

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 35% / 65%,

для заочної форми навчання – 8% / 92%.

2. Передумови для вивчення дисципліни

Дисципліна «Стійкість електроенергетичних систем» базується на математичній і електротехнічній підготовці студентів в попередніх семестрах. Для успішного опанування дисципліни необхідно мати компетентності, які забезпечуються вивченням теоретичних основ електротехніки, теорії електричних машин, питань експлуатації електричних систем і мереж, математичного моделювання в електричних системах, основ релейного захисту та автоматизації електричних систем, теорії автоматичного керування, електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів в електричних системах. Ця дисципліна безпосередньо пов'язана і доповнює такі обов'язкові дисципліни, як «Сучасні проблеми електроенергетики, електротехніки та електромеханіки (ЕЕЕ)», «Автоматизовані системи керування електричних систем», «Сучасні інформаційні технології в ЕЕЕ».

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення дисципліни «Стійкість електроенергетичних систем» полягає у формуванні знань і отриманні навичок щодо дослідження перехідних процесів в електроенергетичних системах, аналізу їх стійкості та планування заходів з покращання технологічного процесу передачі електричної енергії. Розвиток на основі отриманих знань творчого мислення, вміння аналізувати знання та успішно застосовувати вміння у керівній та інженерній діяльності дозволить сформувати професіонала, що успішно забезпечує процес експлуатації енергосистем.

Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач в результаті вивчення дисципліни

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів компетентностей:

Інтегральної: Здатність розв'язувати складні проблеми і задачі під час професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.

Загальних:

ЗК02. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, а також володіння навичками критичного мислення.

ЗК06. Здатність приймати обґрунтовані рішення, застосовувати кращі практики у професійній діяльності.

ЗК010. Здатність виявляти зворотні зв'язки та корегувати свої дії з їх врахуванням.

Спеціальних (фахових):

СК04. Здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення надійності, ефективності та безпеки при проектуванні та експлуатації обладнання та об'єктів електроенергетики.

СК06. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

СК11. Здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування електроенергетичних систем, електротехнічних та електромеханічних об'єктів.

СК14. Здатність використовувати програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування, автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки або конструювання елементів електроенергетичних систем.

СК18. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з диспетчеризацією та оптимальним керуванням системами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії.

Програмні результати вивчення дисципліни

РН1. Знаходити варіанти підвищення енергоефективності та надійності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання й відповідних комплексів і систем.

РН2. Відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх моделюванні на персональному комп'ютері.

РН4. Окреслювати план заходів з підвищення надійності, безпеки експлуатації та продовження ресурсу електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання і відповідних комплексів і систем.

РН5. Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах.

РН6. Реконструювати існуючі електричні мережі, станції та підстанції, електротехнічні і електромеханічні комплекси та системи з метою підвищення їх надійності, ефективності експлуатації та продовження ресурсу.

РН7. Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

РН17. Дотримуватися принципів та напрямів стратегії розвитку енергетичної безпеки України.

РН27. Виявити основні чинники та технічні проблеми, що можуть заважати впровадженню сучасних методів керування електроенергетичними, електротехнічними та електромеханічними системами.

Контрольні заходи

Поточний та підсумковий контроль знань студентів проводиться шляхом фронтального, індивідуального чи комбінованого опитування студентів під час лекційного заняття, контрольних робіт, колоквиумів, тестування, захисту курсового проекту, іспиту.

На позааудиторну/самостійну роботу виносяться вивчення окремих проблем курсу, підготовка до лекційних та практичних занять, колоквиумів, тестування, іспиту, виконання індивідуальних науково-дослідних завдань (підготовка доповідей на щорічну науково-теоретичну конференцію підрозділів ВНТУ).

4. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Стаціонарні режими та перехідні процеси в електроенергетичних системах. Методи дослідження стійкості електроенергетичних систем

Тема 1. Вступ. Список рекомендованої літератури для вивчення ОК. Мета та задачі дисципліни. Методи навчання та організація поточного й підсумкового контролю знань. Режими роботи електроенергетичних систем (ЕЕС) і електромеханічні перехідні процеси. Види збурень і види стійкості. Вимоги, що висуваються до усталених режимів.

Тема 2. Електричні станції у електроенергетичній системі. Режимні параметри електричних станцій (ЕС). Характеристики ЕС з неявнополюсними і явнополюсними генераторами без АРЗ і з АРЗ пропорційного типу та “сильної” дії. Вплив АРЗ на граничну потужність ЛЕП та перетину.

Тема 3. Математичні моделі електроенергетичних систем для дослідження стійкості. Заступні схеми основних елементів ЕЕС. Математичні моделі ЕЕС та інформаційне забезпечення задачі аналізу їх стійкості.

Тема 4. Основні характеристики режиму регульованої електроенергетичної системи. Статичні і динамічні характеристики. Кутові характеристики потужності складної системи. Векторна діаграма та характеристики потужності ЕЕС з неявнополюсними і явнополюсними генераторами без АРЗ і з АРЗ пропорційного типу та “сильної” дії.

Тема 5. Статична стійкість електроенергетичної системи. Методи дослідження стійкості. Задачі і методи аналізу статичної стійкості. Практичні критерії статичної стійкості. Первинний і вторинний критерії стійкості. Застосування практичних та алгебраїчних критеріїв стійкості.

Тема 6. Статична стійкість електроенергетичної системи. Метод малих коливань. Рівняння малих коливань. Розв’язання рівняння малих коливань. Зв’язок коренів рівняння та характеру перехідного процесу в ЕЕС. Дослідження статичної стійкості нерегульованої системи. Аналіз впливу демпфування ЕС.

Тема 7. Статична стійкість регульованої електроенергетичної системи. Вплив регуляторів збудження із зоною нечутливості і регуляторів пропорційного типу. Види порушення статичної стійкості: сповзання режиму, саморозхитування і самозбудження. Дослідження статичної стійкості системи з урахуванням дії регуляторів збудження ЕС.

Тема 8. Динамічна стійкість електроенергетичної системи. Методи дослідження стійкості. Синхронна і результуюча динамічна стійкість. Припущення, що приймаються під час аналізу динамічної стійкості. Задачі і методи аналізу динамічної стійкості. Застосування методу площ і дослідження динамічної стійкості.

Тема 9. Вплив засобів локальної автоматизації на динамічну стійкість ЕЕС. Аналіз дії релейного захисту (РЗ), автоматичного повторного ввімкнення (АПВ), автоматичного регулювання збудження (АРЗ), автоматичного регулювання швидкості (АРШ) турбін ЕС та демпфування генераторів. Дослідження стійкості роботи ЕЕС з урахуванням взаємовпливу ЕС.

Змістовий модуль 2. Практичні критерії стійкості складних електроенергетичних систем. Заходи з забезпечення стійкості. Засоби автоматизації для забезпечення стійкості.

Тема 10. Методи розв'язання диференціальних рівнянь відносного руху ротора еквівалентованого генератора. Метод послідовних інтервалів, алгоритм розрахунку. Аналіз впливу АРЗ та АПВ. Застосування ЕОМ до аналізу динамічної стійкості. Наближене розв'язання рівняння відносного руху ротора генератора з використанням апроксимації.

Тема 11. Вплив параметрів навантаження на стійкість ЕЕС. Статичні і динамічні характеристики активної та реактивної потужностей навантаження за напругою та частотою. Характеристики комплексного навантажень. Перехідні процеси у вузлах навантаження.

Тема 12. Вплив регулювання збудження генераторів на стійкість навантаження. Лавина напруги. Аналіз впливу АРЗ та форсування збудження генераторів. Аналіз впливу компенсувальних пристроїв у вузлі навантаження. Стійкості навантаження за повільного зниження напруги у вузлі.

Тема 13. Аналіз статичної стійкості складних систем. Розрахунок статичної стійкості складних, автоматично регульованих систем (за умови врахування навантажень статичними характеристиками та постійними повними опорами). Застосування вірогіднісних методів для оцінки стійкості складних систем.

Тема 14. Асинхронні режими. Синхронізація та ресинхронізація генераторів. Результуюча стійкість. Характеристики режиму найпростішої системи за умови несинхронної швидкості синхронних машин. Процес випадання синхронних генераторів ЕС із синхронізму. Синхронізація синхронних генераторів. Ресинхронізація генераторів. Результуюча стійкість. Методи дослідження результуючої стійкості. Порядок розрахунку результуючої стійкості.

Тема 15. Регулювання частоти та потужності в електроенергетичних системах. Швидкі та повільні зміни частоти. Дія регуляторів швидкості і частоти. Статичні і динамічні характеристики потужності системи під час зміни частоти. Лавина частоти. Автоматичне розвантаження за частотою.

Тема 16. Регулювання міжсистемних перетікань в електроенергетичних системах. Необхідність регулювання міжсистемних перетікань. Статизм енергосистеми за міжсистемним перетоком. Методи регулювання міжсистемних перетоків. Взаємодія процесів регулювання частоти ЕЕС і потужності в її перетинах. Автоматика регулювання частоти і потужності в ЕЕС.

Тема 17. Заходи щодо підвищення стійкості електроенергетичних систем. Протиаварійна автоматика. Завдання підвищення стійкості електричних систем. Автоматика запобігання порушенням стійкості, ліквідації асинхронного режиму, обмеження частоти і напруги. Характер електромеханічного перехідного процесу під дією протиаварійної автоматики. Додаткові заходи та пристрої щодо забезпечення динамічної та результуючої стійкості електричної системи.

Тема 18. Забезпечення операційної безпеки ЕЕС в умовах активних військових дій. Особливості виконання стандартів операційної безпеки. Планування резервів в енергосистемі з урахуванням ризиків для забезпечення балансів електроенергії. Превентивне розвантаження енергооб'єктів для зниження ризику системних аварій в ЕЕС.

5. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин												
	денна форма						Заочна форма						
	усього	у тому числі					усього	у тому числі					
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Модуль 1													
<i>Змістовий модуль 1. Стаціонарні режими та перехідні процеси в електроенергетичних системах. Методи дослідження стійкості електроенергетичних систем</i>													
Тема 1. Вступ. Список рекомендованої літератури для вивчення ОК. Мета та задачі дисципліни. Методи навчання та організація поточного й підсумкового контролю знань. Режими роботи електроенергетичних систем (ЕЕС) і електромеханічні перехідні процеси. Основні поняття та визначення. Класифікація електроенергетичних систем і електромеханічних перехідних процесів в них. Види збурень і види стійкості. Основні положення та припущення, що приймаються під час аналізу електромеханічних перехідних процесів. Вимоги, що висуваються до усталених режимів. Умови існування усталеного режиму.	10	2	1	-	-	7	10	1	-	-	-	9	
Тема 2. Джерела енергії у електроенергетичній системі. Джерела енергії з синхронними генераторами. Принципи керування збудженням синхронних машин. Вплив АРЗ на характеристики видачі потужності. Джерела енергії з інверторними перетворювачами. Вставки постійного струму.	10	2	1	-	-	7	10	-	1	-	-	9	
Тема 3. Математичні моделі електроенергетичних систем для дослідження стійкості. Схеми заміщення основних силових елементів ЕЕС. Структурні схеми та математичні моделі нерегульованої ЕЕС. Структурні схеми та математичні моделі регульованої ЕЕС з АРЗ пропорційного типу та “сильної” дії генераторів. Інформаційне забезпечення	10	2	1	-	-	7	10	1	-	-	-	9	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
задачі аналізу стійкості ЕЕС.												
Тема 4. Основні характеристики режиму регульованої електроенергетичної системи. Характеристики режиму ЕЕС. Статичні і динамічні характеристики. Кутові характеристики потужності складної системи. Кутові характеристики потужності найпростішої нерегульованої системи. Кутові характеристики потужності регульованих ЕЕС. Векторна діаграма характеристики потужності з неявнополосним і явнополосним генератором без АРЗ і АРЗ пропорційного типу та “сильної” дії.	10	2	1	-	-	7	10	-	1	-	-	9
Тема 5. Статична стійкість електроенергетичної системи. Методи дослідження стійкості. Поняття про статичну стійкість. Задачі і методи аналізу статичної стійкості. Практичні критерії статичної стійкості. Первинний і вторинний критерії стійкості. Застосування практичних критеріїв стійкості багатомашинної системи. Застосування математичних критеріїв стійкості.	10	2	2	-	-	6	10,5	1	-	-	-	9
Тема 6. Статична стійкість електроенергетичної системи. Метод малих коливань. Рівняння малих коливань. Рівняння малих електромагнітних перехідних процесів в обмотці збудження. Розв’язання рівняння малих коливань. Види коренів і характер перехідного процесу. Дослідження статичної стійкості нерегульованої системи. Аналіз впливу демпфування.	10	2	2	-	-	6	10	-	1	-	-	9
Тема 7. Статична стійкість регульованої електроенергетичної системи. Вплив регуляторів збудження із зоною нечутливості і регуляторів пропорційного типу. Дослідження методом малих коливань статичної стійкості системи з врахуванням електромагнітних	10	2	2	-	-	6	10	1	-	-	-	9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
перехідних процесів в обмотках збудження та з врахуванням дії регуляторів збудження пропорційного типу і сильної дії. Види порушення статичної стійкості: сповзання режиму, саморозхитування і самозбудження. Зміна струму і кута вибігу ротора генератора в часі.												
Тема 8. Динамічна стійкість електроенергетичної системи. Методи дослідження стійкості. Великі збурення в ЕЕС і динамічна стійкість. Синхронна і результуюча динамічна стійкість. Припущення, що приймаються під час аналізу динамічної стійкості. Задачі і методи аналізу динамічної стійкості. Метод площ. Коливання ротора під час різкої зміни режиму. Застосування методу площ і дослідження динамічної стійкості.	10	2	2	-	-	6	10	1	-	-	-	9
Тема 9. Вплив засобів локальної автоматизації на динамічну стійкість ЕСС. Аналіз дії автоматичного повторного включення, аналіз дії автоматичного регулювання збудження. Аналіз впливу регуляторів потужності турбіни. Аналіз впливу демпфування і дії регуляторів швидкості турбіни на протікання перехідного процесу. Дослідження стійкості роботи ЕЕС з кількома ЕС, аналіз успішності синхронізації генераторів.	10	2	2	-	-	6	10	-	-	-	-	10
<i>Усього годин за I модуль</i>	90	18	14	-	-	58	90	5	3	-	-	82
Модуль 2												
<i>Змістовий модуль 2. Практичні критерії стійкості складних електроенергетичних систем. Заходи з забезпечення стійкості. Засоби автоматизації для забезпечення стійкості енергосистем</i>												
Тема 10. Методи розв'язання диференціальних рівнянь відносного руху ротора еквівалентованого генератора. Метод послідовних інтервалів для розв'язання диференціального рівняння відносного руху ротора еквівалентованого генератора. Обґрунтування	10	2	1	-	-	7	10	1	-	-	-	9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
методу. Алгоритм розрахунку. Врахування впливу дії автоматичного регулювання збудження. Аналіз методом послідовних інтервалів дії автоматичного повторного включення. Застосування ЕОМ до аналізу динамічної стійкості методом послідовних інтервалів. Наближене розв'язання рівняння відносного руху ротора генератора шляхом апроксимації характеристики. Спрощена і уточнена апроксимація.												
Тема 11. Вплив параметрів навантаження на стійкість ЕЕС. Характеристики навантажень. Статичні і динамічні характеристики активної та реактивної потужності асинхронних двигунів при зміні ковзання, напруги і частоти. Критичне ковзання. Характеристики перетворювального та комплексного навантажень. Перехідні процеси у вузлах навантаження за умови малих змін режиму в системах великої потужності та в системах співрозмірної потужності. Дослідження статичної стійкості двигунів, що живляться від системи співрозмірної потужності.	10	2	1	-	-	7	10	-	1	-	-	9
Тема 12. Вплив регулювання збудження генераторів на стійкість навантаження. Аналіз впливу АРЗ генераторів. Лавина напруги. Застосування практичних критеріїв щодо аналізу статичної стійкості навантаження. Аналіз впливу АРЗ генераторів. Аналіз впливу компенсувальних пристроїв у вузлі навантаження. Перевірка стійкості комплексного навантаження. Аналіз стійкості навантаження за повільного зниження напруги у вузлі.	10	2	1	-	-	7	10	1	-	-	-	9
Тема 13. Аналіз статичної стійкості складних систем. Розрахунок статичної стійкості складних позиційних, дисстатичних, автоматично регульованих систем (за умови	10	2	1	-	-	7	10	-	1	-	-	9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
врахування навантажень статичними характеристиками та постійними повними опорами). Застосування вірогіднісних методів до розв'язання рівнянь відносного руху ротора генератора та оцінка стійкості складних систем.												
Тема 14. Асинхронні режими. Синхронізація та ресинхронізація генераторів. Результуюча стійкість. Асинхронні режими в електричних системах. Виникнення асинхронних режимів. Характеристики режиму найпростішої системи за умови несинхронної швидкості синхронних машин. Зміна параметрів елементів і параметрів режиму за умови асинхронної швидкості. Процес випадання асинхронних машин із синхронізму. Синхронізація синхронних генераторів. Процеси під час самосинхронізації та електромеханічному пуску синхронних генераторів. Результуюча стійкість. Особливості, задачі та методи дослідження результуючої стійкості. Порядок розрахунку результуючої стійкості.	10	2	1	-	-	7	10	1	-	-	-	9
Тема 15. Регулювання частоти та потужності в електроенергетичних системах. Швидкі та повільні зміни частоти. Дія регуляторів швидкості і частоти. Статичні і динамічні характеристики потужності системи під час зміни частоти. Нестійкість (лавина) частоти. Автоматичне розвантаження за частотою.	10	2	2	-	-	6	10	1	-	-	-	9
Тема 16. Регулювання міжсистемних перетікань в електроенергетичних системах. Необхідність регулювання міжсистемних перетікань. Статизм енергосистеми за міжсистемним перетоком. Методи регулювання міжсистемних перетоків. Взаємодія процесів регулювання частоти ЕЕС і	10	2	2	-	-	6	10	1	-	-	-	9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
потужності в її перетинах. Структура та принцип дії автоматики регулювання частоти і потужності в ЕЕС.												
Тема 17. Заходи щодо підвищення стійкості електроенергетичних систем. Противарійна автоматика. Завдання підвищення стійкості електричних систем. Поняття про живучості системи. Основні заходи, пов'язані з покращанням характеристики основних елементів електричних систем. Керування збудженням генераторів і потужністю їх первинних двигунів при великих збуреннях в електроенергетичній системі. Автоматика запобігання порушенням стійкості. Автоматика ліквідації асинхронного режиму. Автоматика обмеження частоти і напруги. Характер електромеханічного перехідного процесу під дією противарійної автоматики, що впливає на відключення агрегатів електростанцій, чергового навантаження під час аварій в системі.	10	2	2	-	-	6	10	-	-	-	-	10
Тема 18. Забезпечення операційної безпеки ЕЕС в умовах активних військових дій. Особливості виконання стандартів операційної безпеки. Планування резервів в енергосистемі з урахуванням ризиків для забезпечення балансів електроенергії. Превентивне розвантаження енергооб'єктів для зниження ризиків системних аварій в ЕЕС.	10	2	2	-	-	6	10	-	-	-	-	10
<i>Усього годин за II модуль</i>	90	18	13	-	-	59	90	5	2	-	-	83
<i>Усього годин</i>	180	36	27	-	-	117	180	10	10	-	-	160

6. Теми семінарських занять – не передбачені

7. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин (денна форма)	Кількість годин (заочна форма)
1	Формування заступних схем для дослідження стійкості електроенергетичних систем. Застосування методу спрямлених характеристик.	1	-
2	Перехідний процес в синхронній машині. Характеристики потужності найпростішої системи. Запас стійкості.	1	-
3	Аналіз перехідного процесу електроенергетичної системи.	1	-
4	Практичні критерії стійкості.	1	-
5	Визначення граничного часу відключення короткого замикання в енергосистемі.	1	1
6	Аналіз дії автоматичного повторного вмикання.	1	-
7	Визначення граничної потужності магістральної лінії.	1	1
8	Оцінювання запасів стійкості складної системи за потужністю.	1	-
9	Оцінювання запасів стійкості складної системи за напругою.	1	1
10	Визначення уставок АЧР за частотою та часом.	1	-
11	Визначення потужностей, що комутуються окремими чергами АЧР.	1	-
12	Формування характеристичного рівняння для дослідження стійкості складної системи за алгебраїчними критеріями.	1	-
13	Критерій Ляпунова.	1	-
14	Критерій Гурвица.	1	-
15	Критерій Рауса.	1	-
16	Графічний метод оцінювання стійкості. Критерій Михайлова.	1	-
17	Оцінювання областей стійкості. Метод Д-розбиття.	1	-
18	Оцінювання стійкості вузлів навантаження.	1	1
19	Формування розрахункової моделі електроенергетичної системи для аналізу перехідних процесів та оцінювання ефективності роботи засобів автоматичного керування.	1	-
20	Дослідження статичної стійкості електроенергетичної системи.	1	-
21	Вплив автоматичних регуляторів електричної частини ЕС на статичну стійкість систем.	1	-
22	Дослідження впливу автоматичного регулювання збудження ЕС на стійкість електричних систем. Вплив налагоджувальних параметрів АРЗ на перехідні процеси внаслідок малих збурень. Оптимізація параметрів АРЗ пропорційної та сильної дії.	1	-
23	Динамічна стійкість електроенергетичної системи. Дослідження динамічної стійкості. Заходи по забезпеченню стійкості системи.	1	-
24	Результуюча стійкість електроенергетичної системи. Ресинхронізація синхронних генераторів.	1	-

25	Вплив параметрів генераторів та засобів автоматизації їх функціонування на успішність ресинхронізації.	1	-
26	Вплив автоматичного повторного вмикання (АПВ) на динамічну стійкість енергосистеми. Дослідження АПВ ліній зв'язку електричних станцій з системою. Вплив часу спрацювання РЗА на стійкість електроенергетичної системи.	1	-
27	Аварійне відновлення частоти в складних енергосистемах. Автоматичне частотне розвантаження (АЧР). Дослідження ефективності АЧР для різних обсягу та локалізації аварійних дефіцитів потужності в системі.	1	1
Усього годин		27	5

8. Теми лабораторних занять – не передбачені

9. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин (денна форма)	Кількість годин (заочна форма)
1	Вплив АРЗ на часові характеристики режимів енергосистем.	13	18
2	Стійкість вузлів навантаження під час дії автоматичного повторного вмикання та під час перемикання живлення.	13	18
3	Перехідні процеси та стійкість систем, об'єднаних слабкими зв'язками.	13	18
4	Дослідження стійкості систем, об'єднаних міжсистемними зв'язками. Стійкість об'єднаних систем за умови зміни частоти. Регулювання частоти та обмінної потужності.	13	19
5	Ресинхронізація енергосистем, об'єднаних слабкими зв'язками.	13	18
6	Заходи режимного характеру, пов'язані з підвищенням стійкості електроенергетичних систем. Застосування ЕОМ для забезпечення стійкості електроенергетичних систем.	13	18
7	Особливості дослідження стійкості складних енергетичних систем. Визначення граничних потужностей шляхом обважнення перетинів.	13	18
8	Регулювання частоти в електроенергетичних системах. Структура регулювання частоти.	13	18
9	Противарійна режимна автоматика енергетичних систем.	13	20
Усього годин		117	165

10. Індивідуальні завдання

Робочим навчальним планом виконання індивідуальних завдань не передбачено. Однак за рішенням кафедри студенти готують реферати з окремих тем дисципліни та доповіді на щорічну науково-теоретичну підрозділів ВНТУ.

11. Методи навчання

Основними методами навчання є: лекція-візуалізація; розповідь-пояснення; інструктаж; ілюстрування; демонстрація, зокрема, з використанням мультимедійних засобів навчання; усне опитування; тестування; навчальна дискусія; бесіда-діалог; виконання лабораторних робіт; групова робота; доповідь за темами, які відведені на самостійне вивчення; рішення практичних завдань; консультації; самостійна робота вдома; підготовка доповідей науково-дослідного характеру, зокрема, на щорічну науково-технічну конференцію підрозділів ВНТУ.

12. Форми та методи контролю

Поточний контроль здійснюється під час проведення практичних занять і має на меті перевірку рівня підготовленості студента до виконання конкретної роботи. Поточний контроль може проводитись як за допомогою електронних тестів (JetIQ), так і за допомогою проведення усного або письмового опитування.

Підсумковий контроль проводиться з метою оцінювання результатів навчання на певному освітньо-кваліфікаційному рівні або на окремих його етапах. Підсумковий контроль включає семестровий контроль. Під час семестрового контролю враховуються результати усіх видів навчальної роботи згідно зі структурою залікових кредитів.

Рівень виконання індивідуальної роботи оцінюється шляхом перевірки змісту роботи та її захисту у формі доповіді.

Семестровий контроль знань здійснюється в кінці семестру шляхом підрахування загальної кількості балів, отриманих під час навчання і складання диференційованого заліку.

13. Розподіл балів, які отримують студенти

Таблиця 1 – Розподіл балів по змістових модулях

Поточне тестування та самостійна робота																Сума		
Змістовий модуль 1									Змістовий модуль 2									
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	100
4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	5	4	5	
50									50									

T1, T2 ... T18 – теми змістових модулів.

Шкала оцінювання в балах та ЄКТС

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS
90 – 100	A
82-89	B
75-81	C
64-74	D
60-63	E
35-59	FX незадовільно з можливістю повторного складання
0-34	F незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Таблиця 2 – Кількість і зміст модулів

Модуль	Кредити	Лекції (год.)	Лаб. роботи. (год)	Практичні заняття (теми/години)	Конт-рольна робота	Колоквіуми
I	3	18	-	14/14	-	1
II	3	18	-	13/13	-	1

Таблиця 3 – Оцінювання знань, умінь та навичок студентів з окремих видів роботи та в цілому по модулях (в балах)

Вид роботи	Модуль		Разом
	1	2	
1. Практичні заняття (1 ПЗ – 1 бал)	13	14	27
2. Колоквіум	20	20	40
3. Вирішення тестових завдань	17	16	33
Всього	50	50	100

14. Методичне забезпечення

Навчально-методичний комплекс дисципліни, до складу якого входять:

1. Робоча програма навчальної дисципліни «Стійкість електроенергетичних систем».
2. Конспект лекцій.
3. Методичні вказівки до практичних занять.
4. Питання на колоквіуми.
5. Тести поточного контролю знань.
6. Комплект білетів для проведення диф. заліку.

15. Критерії оцінювання знань, умінь та навичок студентів

Рівень компетентності	За бальною шкалою	За шкалою ЕКТС	Критерії оцінювання
IV Високий (творчий)	90-100	A	Програмні результати досягнуті повністю. Теоретичний зміст курсу освоєний цілком, без прогалин; виявлено глибокі знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності, сформовано необхідні практичні навички вирішувати завдання з організації професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, і розв'язувати проблеми у кризових ситуаціях з урахуванням зовнішніх та внутрішніх впливів; усі передбачені програмою навчання навчальні завдання виконані, якість їхнього виконання оцінено числом балів, близьким до максимального.
III Достатній (конструктивний)	82-89	B	Програмні результати досягнуті повністю. Теоретичний зміст курсу освоєний цілком, без прогалин; сформовано уміння викладати основні ідеї щодо організації професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. Необхідні практичні навички роботи з освоєним матеріалом в основному сформовані, усі передбачені програмою навчання навчальні завдання виконані, якість виконання більшості з них оцінено числом балів, близьким до максимального.
	75-81	C	Програмні результати досягнуті повністю. Теоретичний зміст курсу освоєний цілком, без прогалин. Уміння викладати базові ідеї щодо організації професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також практичні навички роботи з освоєним матеріалом сформовані недостатньо; усі передбачені програмою навчання завдання виконані, якість виконання жодного з них не оцінено мінімальним числом балів, деякі види завдань виконані з помилками.
II Середній (репродуктивний)	64-74	D	Програмні результати досягнуті. Теоретичний зміст курсу освоєний частково, але прогалини не носять істотного характеру, виявлено знання та розуміння основних положень реструктуризації та санації; необхідні практичні навички роботи з освоєним матеріалом в основному сформовані, більшість передбачених програмою навчання навчальних завдань виконано, деякі з виконаних завдань містять помилки.
	60-63	E	Програмні результати досягнуті. Теоретичний зміст курсу освоєний частково, деякі практичні навички роботи не сформовані, частина передбачених програмою навчання завдань не виконано або якість виконання оцінено числом балів, близьким до мінімального.
I Низький	35-59 незадовільно з можливістю повторного складання	FX	Програмні результати не досягнуті. Теоретичний зміст курсу освоєний частково, необхідні практичні навички роботи не сформовані, більшість передбачених програм навчання навчальних завдань не виконано, або якість їхнього виконання оцінено числом балів, близьким до мінімального; при додатковій самостійній роботі над матеріалом курсу можливе підвищення якості виконання навчальних завдань (з можливістю повторного складання)
	0-34 незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	F	Програмні результати не досягнуті. Теоретичний зміст курсу не освоєно, необхідні практичні навички роботи не сформовані, усі виконані навчальні завдання містять грубі помилки, додаткова самостійна робота над матеріалом курсу не приведе до якогось значущого підвищення якості виконання навчальних завдань (з обов'язковим повторним курсом)

16. Рекомендована література

1. Стійкість енергосистем. Керівні вказівки. СОУ-Н МEB 40.1-00100227-68:2012. Київ.: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. – 2012. – 29 с.
2. Букович Н.В. Протиаварійна режимна автоматика електроенергетичних систем / Н.В. Букович.: Навч. посібник. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 224 с.
3. Перехідні процеси в системах електропостачання : підручник для ВНЗ / Г. Г. Півняк, І. В. Жежеленко, Ю. А. Папаїка, Л. І. Несен ; ДВНЗ "Нац. гірн. ун-т". – 5-те вид., доопрац. та допов. - електрон. текст. дан. – Дніпро : НГУ, 2016. – 600 с.
4. Кириленко О. В. Математичне моделювання в електроенергетиці : підручник / О. В. Кириленко, М. С. Сегеда, О. Ф. Буткевич, Т. А. Мазур. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2010. – 608 с.
5. Правила застосування системної протиаварійної автоматики запобігання та ліквідації небезпечного зниження або підвищення частоти в енергосистемах, затверджені наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 31.07.2012 № 553, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 18 грудня 2003 р. за № 1177/8498 (із змінами).
6. Вишневецький С.Я., Кулик В.В. Стійкість електроенергетичних систем. Лабораторний практикум \\\ Електронний варіант (JetIQ).
7. A. A. Fouad, Paul M. Anderson (2012). “Power System Control and Stability,” 2nd edn. Wiley & Sons, Incorporated, John, pp. 672. https://www.carleton.ca/doe/wp-content/uploads/ELEC4602_Fall-2022.pdf
8. Гололта А.Д. Автоматика в електроенергетичних системах. – Київ: Вища школа, 2006. – 367 с.
9. Національна бібліотека України імені академіка В. І. Вернадського: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/>
10. Task Force, “Ukrainian energy sector e valuation and damage assessment – I (as of August 24, 2022)”, 2022, https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/20220829_UA_sectoral_evaluation_and_damage_assessment_final.pdf
11. Task Force, “Ukrainian energy sector evaluation and damage assessment – II (as of September 24, 2022)”, 2022, https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/2022_09_30_UA_sectoral_evaluation_and_damage_assessment_Version_II.pdf
12. Task Force, “Ukrainian energy sector e valuation and damage assessment – III (as of October 24, 2022)”, 2022, https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/2022_10_24_UA_sectoral_evaluation_and_damage_assessment_Version_III.pdf
13. Task Force, “Ukrainian energy sector evaluation and damage assessment – IV (as of November 24, 2022)”, 2022, https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/2022_11_24_UA_sectoral_evaluation_and_damage_assessment_Version_IV.pdf
14. Task Force, “Ukrainian energy sector evaluation and damage assessment – V (as of December 20, 2022)”, 2022,

https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/2022_12_20_UA_sectoral_evaluation_and_damage_assessment_Version_V.pdf

15. “The total amount of damage caused to Ukraine’s infrastructure is more than \$136 billion“ — Kyiv school of economics, 2022,

<https://kse.ua/about-the-school/news/as-of-november-2022-the-total-amount-of-losses-caused-to-the-infrastructure-of-ukraine-increased-to-almost-136-billion/>

