

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Інженерії енергосистем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ННІ

_____ Віктор КАПЛУН

" ____ " _____ 2026 р.

СХВАЛЕНО

на засіданні кафедри

Інженерії енергосистем

Протокол № ____ від " ____ " _____ 2026 р.

Завідувач кафедри

_____ Євген АНТИПОВ

РОЗГЛЯНУТО

Гарант ОП «Цифрова інженерія та автоматизація електроенергетичних систем (Digital engineering and automation of electric power systems)»

_____ Павленко Володимир Миколайович

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Галузь знань G Інженерія, виробництво та будівництво

Спеціальність G3 Електрична інженерія

Освітня програма Цифрова інженерія та автоматизація електроенергетичних систем (Digital engineering and automation of electric power systems)

ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження

Розробник: Петренко А.В., к.т.н., доцент; Павленко В.М., к.т.н., доцент

Київ - 2026 р.

Опис навчальної дисципліни

ОК 6 «Електромагнітна сумісність та якість електроенергії» є обов'язковою навчальною дисципліною фахового циклу підготовки. Вона відіграє фундаментальну роль у сучасній цифровій енергетиці, оскільки забезпечує надійне та безперебійне функціонування чутливого мікропроцесорного обладнання (терміналів РЗА, програмованих логічних контролерів, засобів вимірювань та давачів IoT) в умовах інтенсивних завад. Основний зміст дисципліни охоплює: - Природу та класифікацію електромагнітних завад: вивчення комутаційних, грозових, періодичних та імпульсних завад провідності й випромінювання. - Апаратні методи захисту від завад: проектування систем екранування, заземлення (за схемами TN, TT, IT), гальванічної розв'язки та трасування ліній зв'язку на цифрових підстанціях. - Вплив відновлюваних джерел енергії (ВДЕ): аналіз процесів генерування вищих гармонік сучасними напівпровідниковими інверторами сонячних (СЕС) та вітрових (ВЕС) електростанцій. - Цифровий моніторинг якості енергії: використання сучасних смарт-лічильників (Smart Metering) та пристроїв векторних вимірювань (PMU) для аналізу показників якості напруги за стандартами ДСТУ та EN 50160 у реальному часі. - Інженерні рішення компенсації: розрахунок пасивних та активних фільтрів вищих гармонік, а також застосування пристроїв гнучких систем передачі (FACTS), зокрема статичних компенсаторів STATCOM для динамічної стабілізації напруги розподільних мереж.

Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній ступінь

Освітній ступінь	Другого (магістерського) ОП
Галузь знань	G Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G3 Електрична інженерія
Освітня програма	Цифрова інженерія та автоматизація електроенергетичних систем (Digital engineering and automation of electric power systems)
Факультет/ННІ	ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження

Характеристика навчальної дисципліни

Вид	Обов'язкова
Загальна кількість годин	150
Кількість кредитів ECTS	5
Кількість змістових модулів	3
Курсовий проект (робота) (за наявності)	-

Форма контролю	Екзамен
----------------	---------

Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм здобуття вищої освіти (повний термін навчання)

	Форма здобуття вищої освіти	
	денна	заочна
Курс (рік підготовки)	1	-
Семестр	1	-
Лекційні заняття	15 год.	-
Лабораторні роботи	30 год.	-
Практичні, семінарські заняття	-	-
Самостійна робота	105 год.	-
Кількість тижневих аудиторних годин для денної форми здобуття вищої освіти	3 год.	-
Форма контролю	Екзамен	-

Мета, компетентності та програмні результати навчальної дисципліни

Мета: Основною метою вивчення дисципліни ОК 6 «Електромагнітна сумісність та якість електроенергії» є формування у магістрантів комплексу сучасних теоретичних знань і практичних інженерно-дослідницьких навичок для оцінювання, моніторингу та забезпечення належного рівня електромагнітної сумісності (ЕМС) і якості електричної енергії в умовах інтенсивної цифровізації та децентралізації енергосистем. Ця мета безпосередньо спрямована на вирішення ключових завдань нашої міждисциплінарної програми та передбачає набуття здобувачами таких спроможностей: Моделювання та дослідження режимів ЕЕС (ПРН 3): здатність будувати й аналізувати комп'ютерні моделі об'єктів електроенергетичних систем для оцінки впливу силових напівпровідникових інверторів ВДЕ (сонячних та вітрових станцій) на якість напруги та генерацію вищих гармонік. Розробка заходів інженерного захисту (ПРН 8): вміння розраховувати показники надійності та ЕМС, проектувати ефективні системи екранування, заземлення та фільтрації для надійного захисту чутливого мікропроцесорного обладнання (терміналів РЗА, контролерів Edge/Fog та датчиків IoT) від завад і перенапруг. Впровадження цифрових технологій управління: практичне застосування засобів Smart Metering і пристроїв векторних вимірювань (PMU) для цифрового моніторингу якості напруги в реальному часі, а також використання гнучких

систем передачі (FACTS/STATCOM) та активних фільтрів для динамічної компенсації спотворень у мережі.

Перелік навчальних дисциплін, які передують вивченню «Електромагнітна сумісність та якість електроенергії» (за їх наявності)

Набуття компетентностей

ЗК1 — Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу, пошуку і оброблення інформації з різних джерел.

ЗК2 — Здатність генерувати нові ідеї (креативність) та проводити наукові і прикладні дослідження на відповідному рівні.

ЗК7 — Здатність діяти, неухильно дотримуючись цінностей, принципів і правил академічної доброчесності в освітньому процесі та науковій (творчій) діяльності.

СК1 — Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові інженерні методики, технології та процедури для розв’язання складних завдань в електроенергетиці (G3).

СК2 — Здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення надійності, ефективності та безпеки при проєктуванні й експлуатації обладнання та об’єктів електроенергетичних систем (G3).

СК3 — Здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування електроенергетичних комплексів в умовах інтеграції децентралізованих і відновлюваних джерел енергії (G3).

СК6 — Здатність здійснювати автоматизацію складних електроенергетичних об’єктів, створювати кіберфізичні системи на основі інтелектуальних методів управління та цифрових технологій (G7).

Програмні результати навчання

ПРН3 — Будувати й досліджувати моделі об’єктів електроенергетичних систем, застосовувати методи системного аналізу для підвищення їхньої ефективності в умовах інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) (G3).

ПРН8 — Оцінювати показники надійності, електромагнітної сумісності та якості електричної енергії, розробляти заходи з підвищення безпеки експлуатації обладнання ЕЕС (G3).

Програма та структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма)						Кількість годин (заочна форма)					
	л	лаб	сем	п	с.р.	усього	л	лаб	сем	п	с.р.	усього
Модуль 1. Електромагнітна сумісність та завадостійкість мікропроцесорної техніки в ЕЕС												
Тема 1. Вступ до ЕМС в електроенергетиці. Класифікація та фізична природа завад (2 години) Основні питання: Еволюція ЕЕС до кіберфізичних систем (Smart Grid). Поняття рецептора, джерела та каналу поширення завад. Класифікація електромагнітних завад (кондуктивні, індуктивні, ємнісні, випромінювані). Комутаційні, грозові та імпульсні перенапруги в мережах високої та середньої напруги. Результати (ОПП): Формування системного бачення проблеми завад (ЗК 1), підготовка до аналізу електромагнітної обстановки підстанцій (ПРН 8). Підготовка до лаб. роботи: Базові знання для початку Лабораторної роботи №1 (оцінка завадостійкості терміналів РЗА).	2	-	-	-	7	9	-	-	-	-	-	-
Тема 2. Завадостійкість та живучість мікропроцесорних пристроїв РЗА, автоматики та IoT (2 години) Основні питання: Механізми впливу завад на напівпровідникові плати, аналогові та цифрові входи контролерів і реле. Поняття критерію якості функціонування пристрою при випробуваннях на завадостійкість (класи А, В, С, D). Наслідки впливу завад: хибні спрацьовування захистів, зависання процесорів, спотворення вимірювальних сигналів. Результати (ОПП): Оцінка надійності та безпеки роботи кіберфізичних пристроїв (СК 2, СК 6). Підготовка до лаб. роботи: Методологічна база для випробувань реле на завадостійкість за стандартами ІЕС/ДСТУ у ЛР №1.	2	10	-	-	6	18	-	-	-	-	-	-

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма)						Кількість годин (заочна форма)					
	л	лаб	сем	п	с.р.	усього	л	лаб	сем	п	с.р.	усього
Тема 3. Апаратні інженерні методи придушення завад та захисту обладнання (2 години) Основні питання: Екранування сигнальних та силових кабелів. Трасування кабельних трас на підстанціях. Гальванічна розв'язка сигнальних кіл (оптрони, трансформатори). Системи заземлення нейтралі (TN, TT, IT) як контур опорного потенціалу для придушення завад (відмінність від заземлення для електробезпеки). Застосування пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП). Результати (ОПП): Розробка та впровадження конкретних технічних рішень із захисту обладнання (СК 1, СК 2, ПРН 8). Підготовка до лаб. роботи: Практичні схеми підключення заземлення та екранів, що досліджуються в ЛР №1.	2	-	-	-	17	19	-	-	-	-	-	-
Разом за модулем 1	6	10	0	0	30	46	-	-	-	-	-	-

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма)						Кількість годин (заочна форма)					
	л	лаб	сем	п	с.р.	усього	л	лаб	сем	п	с.р.	усього
Модуль 2. Якість електричної енергії та моделювання впливу децентралізованої генерації (ВДЕ)												
Тема 1. Показники якості електричної енергії та стандартизація (2 години) Основні питання: Державний та європейський стандарт ДСТУ EN 50160:2014. Класифікація показників якості електроенергії (ПKE): відхилення та колювання напруги, несиметрія, несинусоїдальність. Математичний апарат аналізу періодичних несинусоїдальних процесів: розкладання сигналів у ряд Фур'є, вищі гармоніки та субгармоніки. Поняття коефіцієнта гармонійних спотворень (THD). Результати (ОПП): Застосування математичних та інженерних методів для оцінки параметрів напруги (ЗК 2, СК 1, ПРН 8). Підготовка до лаб. роботи: Математична база для Лабораторної роботи №2 (комп'ютерне моделювання ВДЕ та FFT-аналіз гармонік)	2	-	-	-	7	9	-	-	-	-	-	-

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма)						Кількість годин (заочна форма)					
	л	лаб	сем	п	с.р.	усього	л	лаб	сем	п	с.р.	усього
Тема 2. Фізика генерування вищих гармонік інверторами СЕС та ВЕС. Комп'ютерне моделювання (2 години) Основні питання: Принцип роботи силових напівпровідникових інверторів сонячних та вітрових станцій. ШІМ-модуляція як джерело високочастотних гармонік та комутаційних завад. Вплив режимів роботи ВДЕ (зміна сонячної інсоляції та швидкості вітру) на спектральний склад струму. Особливості побудови комп'ютерних моделей інверторних джерел у MATLAB/Simulink та DIgSILENT PowerFactory. Результати (ОПП): Моделювання об'єктів ЕЕС з інтеграцією ВДЕ та аналіз їхньої ефективності (СК 3, ПРН 3). Підготовка до лаб. роботи: Пряме керівництво з побудови схем СЕС/ ВЕС та проведення швидкого перетворення Фур'є (FFT) у ЛР №2.	2	10	-	-	6	18	-	-	-	-	-	-
Тема 3. Системні наслідки зниження якості напруги та гармонійного забруднення мереж (2 години) Основні питання: Вплив вищих гармонік на силові трансформатори (додаткові втрати у сталі та міді, перегрів). Прискорене теплове старіння та деградація паперово-масляної ізоляції силових кабелів. Резонансні явища в колах із конденсаторними установками компенсації реактивної потужності (КУКРП). Результати (ОПП): Оцінка показників довговічності та надійності обладнання в умовах низької якості енергії (СК 3, ПРН 8). Підготовка до лаб. роботи: Розрахунковий аналіз резонансних частот мережі, що моделюється у ЛР №2.	2	-	-	-	17	19	-	-	-	-	-	-
Разом за модулем 2	6	10	0	0	30	46	-	-	-	-	-	-

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма)						Кількість годин (заочна форма)					
	л	лаб	сем	п	с.р.	усього	л	лаб	сем	п	с.р.	усього
Модуль 3. Цифровий моніторинг та інтелектуальні методи управління якістю напруги (Smart Grid)												
Тема 1. Інтелектуальні засоби компенсації та стабілізації напруги в Smart Grid (2 години) Основні питання: Розрахунок та проектування пасивних резонансних LC-фільтрів. Принцип роботи активних фільтрів гармонік (APF) на базі силових транзисторів. Гнучкі системи передачі змінного струму (FACTS): статичні синхронні компенсатори STATCOM. Алгоритми інтелектуального управління STATCOM для динамічної підтримки напруги та компенсації реактивної потужності ВДЕ. Результати (ОПП): Розробка кіберфізичних систем та засобів автоматизації на базі інтелектуальних методів управління (СК 6, ПРН 3). Підготовка до лаб. роботи: Побудова алгоритмів керування блоком STATCOM та активного фільтра в Лабораторній роботі №3	2	10	-	-	15	27	-	-	-	-	-	-

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма)						Кількість годин (заочна форма)					
	л	лаб	сем	п	с.р.	усього	л	лаб	сем	п	с.р.	усього
Тема 2. Цифровий моніторинг якості електроенергії: Smart Metering та PMU (1 година) Основні питання: Архітектура систем онлайн-контролю ПКЕ. Інтелектуальні лічильники (Smart Meters) з функцією фіксації провалів та перенапруг. Пристрої векторних вимірювань (PMU) та системи моніторингу перехідних режимів (WAMS). Передача телеметрії якості напруги за протоколами IEC 61850 та OPC UA у хмару та SCADA-системи. Результати (ОПП): Використання інформаційно-комунікаційних та цифрових технологій в енергетиці (ЗК 3, СК 6). Підготовка до лаб. роботи: Налаштування OPC-сервера та шлюзування даних вимірювань у диспетчерський інтерфейс в ЛР №3.	1	-	-	-	30	31	-	-	-	-	-	-
Разом за модулем 3	3	10	0	0	45	58	-	-	-	-	-	-
Курсовий проект (робота)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Усього годин	15	30	0	0	105	150	-	-	-	-	-	-

Теми лекцій

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема 1. Вступ до ЕМС в електроенергетиці. Класифікація та фізична природа завад (2 години) Основні питання: Еволюція ЕЕС до кіберфізичних систем (Smart Grid). Поняття рецептора, джерела та каналу поширення завад. Класифікація електромагнітних завад (кондуктивні, індуктивні, ємнісні, випромінювані). Комутаційні, грозові та імпульсні перенапруги в мережах високої та середньої напруги. Результати (ОПП): Формування системного бачення проблеми завад (ЗК 1), підготовка до аналізу електромагнітної обстановки підстанцій (ПРН 8). Підготовка до лаб. роботи: Базові знання для початку Лабораторної роботи №1 (оцінка завадостійкості терміналів РЗА).	2

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
2	Тема 2. Завадостійкість та живучість мікропроцесорних пристроїв РЗА, автоматики та IoT (2 години) Основні питання: Механізми впливу завад на напівпровідникові плати, аналогові та цифрові входи контролерів і реле. Поняття критерію якості функціонування пристрою при випробуваннях на завадостійкість (класи А, В, С, D). Наслідки впливу завад: хибні спрацьовування захистів, зависання процесорів, спотворення вимірювальних сигналів. Результати (ОПП): Оцінка надійності та безпеки роботи кіберфізичних пристроїв (СК 2, СК 6). Підготовка до лаб. роботи: Методологічна база для випробувань реле на завадостійкість за стандартами IEC/ДСТУ у ЛР №1.	2
3	Тема 3. Апаратні інженерні методи придушення завад та захисту обладнання (2 години) Основні питання: Екранування сигнальних та силових кабелів. Трасування кабельних трас на підстанціях. Гальванічна розв'язка сигнальних кіл (оптрони, трансформатори). Системи заземлення нейтралі (TN, TT, IT) як контур опорного потенціалу для придушення завад (відмінність від заземлення для електробезпеки). Застосування пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП). Результати (ОПП): Розробка та впровадження конкретних технічних рішень із захисту обладнання (СК 1, СК 2, ПРН 8). Підготовка до лаб. роботи: Практичні схеми підключення заземлення та екранів, що досліджуються в ЛР №1.	2
4	Тема 4. Показники якості електричної енергії та стандартизація (2 години) Основні питання: Державний та європейський стандарт ДСТУ EN 50160:2014. Класифікація показників якості електроенергії (ПКЕ): відхилення та коливання напруги, несиметрія, несинусоїдальність. Математичний апарат аналізу періодичних несинусоїдальних процесів: розкладання сигналів у ряд Фур'є, вищі гармоніки та субгармоніки. Поняття коефіцієнта гармонійних спотворень (THD). Результати (ОПП): Застосування математичних та інженерних методів для оцінки параметрів напруги (ЗК 2, СК 1, ПРН 8). Підготовка до лаб. роботи: Математична база для Лабораторної роботи №2 (комп'ютерне моделювання ВДЕ та FFT-аналіз гармонік)	2

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
5	Тема 5. Фізика генерування вищих гармонік інверторами СЕС та ВЕС. Комп'ютерне моделювання (2 години) Основні питання: Принцип роботи силових напівпровідникових інверторів сонячних та вітрових станцій. ШІМ-модуляція як джерело високочастотних гармонік та комутаційних завад. Вплив режимів роботи ВДЕ (зміна сонячної інсоляції та швидкості вітру) на спектральний склад струму. Особливості побудови комп'ютерних моделей інверторних джерел у MATLAB/Simulink та DIgSILENT PowerFactory. Результати (ОПП): Моделювання об'єктів ЕЕС з інтеграцією ВДЕ та аналіз їхньої ефективності (СК 3, ПРН 3). Підготовка до лаб. роботи: Пряме керівництво з побудови схем СЕС/ВЕС та проведення швидкого перетворення Фур'є (FFT) у ЛР №2.	2
6	Тема 6. Системні наслідки зниження якості напруги та гармонійного забруднення мереж (2 години) Основні питання: Вплив вищих гармонік на силові трансформатори (додаткові втрати у сталі та міді, перегрів). Прискорене теплове старіння та деградація паперово-масляної ізоляції силових кабелів. Резонансні явища в колах із конденсаторними установками компенсації реактивної потужності (КУКРП). Результати (ОПП): Оцінка показників довговічності та надійності обладнання в умовах низької якості енергії (СК 3, ПРН 8). Підготовка до лаб. роботи: Розрахунковий аналіз резонансних частот мережі, що моделюється у ЛР №2.	2
7	Тема 7. Інтелектуальні засоби компенсації та стабілізації напруги в Smart Grid (2 години) Основні питання: Розрахунок та проектування пасивних резонансних LC-фільтрів. Принцип роботи активних фільтрів гармонік (APF) на базі силових транзисторів. Гнучкі системи передачі змінного струму (FACTS): статичні синхронні компенсатори STATCOM. Алгоритми інтелектуального управління STATCOM для динамічної підтримки напруги та компенсації реактивної потужності ВДЕ. Результати (ОПП): Розробка кіберфізичних систем та засобів автоматизації на базі інтелектуальних методів управління (СК 6, ПРН 3). Підготовка до лаб. роботи: Побудова алгоритмів керування блоком STATCOM та активного фільтра в Лабораторній роботі №3	2

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
8	Тема 8. Цифровий моніторинг якості електроенергії: Smart Metering та PMU (1 година) Основні питання: Архітектура систем онлайн-контролю ПКЕ. Інтелектуальні лічильники (Smart Meters) з функцією фіксації провалів та перенапруг. Пристрої векторних вимірювань (PMU) та системи моніторингу перехідних режимів (WAMS). Передача телеметрії якості напруги за протоколами IEC 61850 та OPC UA у хмару та SCADA-системи. Результати (ОПП): Використання інформаційно-комунікаційних та цифрових технологій в енергетиці (ЗК 3, СК 6). Підготовка до лаб. роботи: Налаштування OPC-сервера та шлюзування даних вимірювань у диспетчерський інтерфейс в ЛР №3.	1
Всього годин		15

Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема: Дослідження завадостійкості мікропроцесорних пристроїв РЗА та засобів захисту від імпульсних завад Загальний обсяг: 10 годин (5 занять по 2 год.) Мета: Дослідити фізику проникнення та впливу завад на цифрові реле захисту й контролери, практично оцінити ефективність засобів екранування, заземлення та пристроїв захисту від перенапруг (ПЗП). Забезпечує результати ОПП: ЗК 2, СК 1, СК 2, ПРН 8. База реалізації: Фізичний стенд випробувань на завадостійкість (генератор імпульсних завад типу ГІЗ, цифровий осцилограф, термінал мікропроцесорної РЗА) або його верифікована віртуальна модель у MATLAB/Simulink. Покроковий зміст занять: Заняття 1 (2 год). Дослідження чутливості дискретних та аналогових входів мікропроцесорного реле до кондуктивних високовольтних імпульсних завад. Визначення порогів хибного спрацювання захисту при зміні амплітуди та тривалості імпульсу. Заняття 2 (20 год). Експериментальна оцінка ефективності екранування сигнальних кабелів. Порівняльний аналіз рівнів наведених завад при односторонньому, двосторонньому та комбінованому заземленні екранів контрольних кабелів. Заняття 3 (2 год). Дослідження впливу контурів заземлення різних типів (TN-C, TN-S, IT) на рівень завад в інформаційних шинах. Моделювання завад, що виникають через протікання струмів замикання на землю по спільних провідниках опорного потенціалу. Заняття 4 (2 год). Дослідження характеристик та вибір ПЗП. Оцінка швидкодії та величини залишкової напруги обмежувачів перенапруг (ОПН), варисторних та напівпровідникових супресорних захисних схем для Edge-контролерів. Заняття 5 (2 год). Комплексна перевірка завадостійкості цифрового промислового інтерфейсу RS-485 (протокол Modbus RTU) при дії високочастотних імпульсних наведень. Розрахунок коефіцієнта пакетних помилок (BER).	10

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
2	Комп'ютерне моделювання та спектральний аналіз впливу інверторних джерел ВДЕ на якість електричної енергії Загальний обсяг: 10 годин (5 занять по 2 год.) Мета: Навчитися будувати цифрові моделі фотоелектричних (СЕС) та вітрових (ВЕС) електростанцій, проводити спектральний аналіз струмів та напруг, розраховувати показники несинусоїдальності та несиметрії згідно з ДСТУ EN 50160. Забезпечує результати ОПП: ЗК 1, СК 3, ПРН 3, ПРН 8. База реалізації: Комп'ютерне середовище MATLAB/Simulink (Simscape Electrical) або DIgSILENT PowerFactory. Покроковий зміст занять: Заняття 1 (2 год). Побудова базової моделі трифазного мостового автономного інвертора напруги зі ШІМ-керуванням. Дослідження форми вихідної кривої напруги при активному та індуктивному навантаженні до встановлення вихідних фільтрів. Заняття 2 (2 год). Проведення швидкого перетворення Фур'є (FFT-analyser) струмів та напруг інвертора. Побудова гістограми спектрального складу та розрахунок сумарного коефіцієнта гармонійних спотворень напруги (THD_U) і струму (THD_I). Заняття 3 (20 год). Моделювання сонячної електростанції (СЕС) з підключенням до розподільної мережі. Аналіз спектрального складу струму в точці загального приєднання (РСС) при динамічній зміні сонячної інсоляції (від 200 до 1000 Вт/м²). Заняття 4 (2 год). Моделювання вітрогенератора на базі асинхронної машини подвійного живлення (DFIG). Дослідження процесів генерації вищих гармонік та інтергармонік при комутаціях у роторному та мережевому перетворювачах частоти. Заняття 5 (2 год). Дослідження несиметрії напруг при нерівномірному розподілі однофазних мікро-СЕС по фазах трифазної мережі. Розрахунок коефіцієнтів несиметрії напруги за зворотною (K_{2U}) та нульовою (K_{0U}) послідовностями.	10

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
3	Проектування та дослідження інтелектуальних систем компенсації завад та моніторингу ПКЕ (Smart Grid) Загальний обсяг: 10 годин (5 занять по 2 год.) Мета: Навчитися проектувати пасивні та активні фільтри гармонік, дослідити динаміку роботи STATCOM для стабілізації напруги, побудувати систему збору даних моніторингу якості енергії на базі віртуальних PMU та SCADA. Забезпечує результати ОПП: ЗК 3, СК 2, СК 6, ПРН 3, ПРН 8. База реалізації: MATLAB/Simulink (Simscape Electrical), інтелектуальні датчики-імітатори PMU, SCADA-система (наприклад, ThingsBoard або TRACE MODE). Покроковий зміст занять: Заняття 1 (2 год). Проектування та моделювання пасивного однонастроєного LC-фільтра для придушення 5-ї та 7-ї гармонік. Розрахунок параметрів індуктивності та ємності, аналіз частотної характеристики мережі для усунення небезпеки паралельного резонансу. Заняття 2 (2 год). Дослідження активного фільтра гармонік (APF) з алгоритмом керування на основі теорії миттєвої активної та реактивної потужності (p-q теорія). Моделювання компенсації спотворень нелінійного навантаження в реальному часі. Заняття 3 (2 год). Моделювання та інтеграція статичного синхронного компенсатора STATCOM. Налаштування ПІ-регуляторів STATCOM для динамічної стабілізації напруги та компенсації реактивної потужності в мережі при різких коливаннях генерації ВДЕ. Заняття 4 (2 год). Моделювання системи моніторингу перехідних процесів (WAMS) на базі пристроїв векторних вимірювань (PMU). Фіксація та реєстрація динамічних провалів, перенапруг та відхилень частоти при комутаціях та КЗ в Smart Grid. Заняття 5 (2 год). Організація передачі телеметрії показників якості електроенергії (ПКЕ) за протоколами Modbus TCP або OPC UA у SCADA-систему. Розробка людино-машинного інтерфейсу (HMI-дашборду) диспетчера для візуалізації ПКЕ відповідно до стандарту ISA-101.	10
Всього годин		30

Теми самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Опрацювання лекційного матеріалу: систематизація конспектів, робота з базовим підручником та стандартами щодо завадостійкості пристроїв РЗА та Edge-контролерів (Лекції 1–3).	3
2	Підготовка до лабораторної роботи №1: опрацювання теоретичних засад та оформлення звітів до 5 занять практикуму з дослідження завадостійкості РЗА та систем екранування/заземлення.	10

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
3	Самостійне опрацювання додаткових розділів, що не виносяться на лекції: • Тема: «Сучасне випробувальне обладнання для тестування РЗА на завадостійкість відповідно до стандартів серії ІЕС 61000» (5 год.); • Тема: «Специфіка вибору та монтажу ПЗПІ у ланцюгах живлення та передачі даних цифрових підстанцій» (8 год.).	12
4	Підготовка до контрольних заходів: повторення матеріалу та проходження комп'ютерного тестування до Модульної контрольної роботи №1 в eLearn.	5
5	Опрацювання лекційного матеріалу: опрацювання стандартів якості електроенергії (ДСТУ EN 50160) та математичного апарату розкладання сигналів у ряд Фур'є (Лекції 4–6).	3
6	Підготовка до лабораторної роботи №2: побудова математичних моделей ВДЕ в MATLAB/Simulink та оформлення звітів до 5 занять з дослідження гармонік інверторів CEC/BEC.	10
7	Самостійне опрацювання додаткових розділів, що не виносяться на лекції: • Тема: «Методи математичного опису та оцінки інтергармонік і флікера (коливань напруги) в мережах з ВДЕ» (5 год.); • Тема: «Теплове старіння та деградація ізоляції кабельних ліній і силових трансформаторів в умовах постійного гармонійного забруднення» (7 год.).	12
8	Підготовка до контрольних заходів: повторення матеріалу та проходження комп'ютерного тестування до Модульної контрольної роботи №2 в eLearn.	5
9	Опрацювання лекційного матеріалу: вивчення засобів компенсації (STATCOM, APF) та цифрового моніторингу параметрів якості мережі Smart Grid (Лекції 7–8).	3
10	Підготовка до лабораторної роботи №3: моделювання алгоритмів керування компенсаторами STATCOM та інтеграція віртуальних PMU із SCADA-системою (5 занять практикуму).	10
11	Самостійне опрацювання додаткових розділів, що не виносяться на лекції: • Тема: «Принципи оптимального проектування та розрахунку параметрів пасивних багатоланкових та широкосмугових LC-фільтрів вищих гармонік» (8 год.); • Тема: «Стандарти та архітектури систем WAMS (Wide Area Measurement Systems) для глобального моніторингу перехідних режимів енергосистем» (9 год.).	17
12	Підготовка до контрольних заходів: підготовка та складання комп'ютерного тестування до Модульної контрольної роботи №3 в eLearn.	5

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
13	Підготовка до підсумкового контролю: систематизація всього теоретичного та практичного матеріалу за 3-ма змістовими модулями, робота з банком тестових питань eLearn та самопідготовка до семестрового іспиту.	10
Всього годин		105

Методи навчання

Методи та засоби діагностики результатів навчання:

- Усне опитування для перевірки теоретичних знань та розуміння основних понять та класифікації електромагнітних завад
- Тестування для оцінювання знань щодо апаратних методів захисту, проектування систем екранування та заземлення
- Комп'ютерне тестування для перевірки навичок моделювання впливу ВДЕ на якість енергії та аналізу результатів
- Аналіз та оцінювання практичних робіт з цифрового моніторингу якості електроенергії (Smart Metering, PMU)
- Поточне оцінювання виконання лабораторних та практичних завдань з проектування систем захисту та компенсації
- Модульний контроль для перевірки засвоєння матеріалу по модулях дисципліни
- Підсумковий екзамен для комплексної оцінки знань та навичок у галузі електромагнітної сумісності та якості електроенергії

Методи навчання:

- Лекційні заняття з використанням мультимедійних презентацій та інтерактивних демонстрацій
- Моделювання та симуляція процесів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, MATLAB/Simulink)
- Проєктна діяльність, спрямована на розробку інженерних рішень
- Використання дистанційних платформ для самостійної роботи та обговорень
- Інтерактивні тренінги з використанням сучасних цифрових технологій та обладнання для моніторингу та аналізу якості електроенергії

Оцінювання результатів навчання

Оцінювання знань здобувача вищої освіти відбувається за 100-бальною шкалою і переводиться в національну оцінку згідно чинного «Положення про екзамени та заліки у НУБіП України»

Розподіл балів за видами навчальної діяльності

Вид навчальної діяльності	Результати навчання	Оцінювання
Модуль 1. Електромагнітна сумісність та завадостійкість мікропроцесорної техніки в ЕЕС		
Лабораторна робота. Дослідження завадостійкості мікропроцесорних Заняття 1.1. Дослідження чутливості дискретних та аналогових входів мікропроцесорного реле до кондуктивних високовольтних імпульсних завад — 10 балів. Заняття 1.2. Експериментальна оцінка ефективності екранування сигнальних кабелів — 10 балів. Заняття 1.3. Дослідження впливу контурів заземлення різних типів (TN-C, TN-S, IT) на рівень завад в інформаційних шинах — 10 балів. Заняття 1.4. Дослідження характеристик та вибір ПЗІП — 10 балів. Заняття 1.5. Комплексна перевірка завадостійкості промислового інтерфейсу RS-485 (Modbus RTU) при дії імпульсних наведень — 10 балів. пристроїв РЗА та засобів захисту	ПРН 8. Під час цього модуля студенти здобудуть знання та навички щодо дослідження завадостійкості мікропроцесорних пристроїв, засобів захисту від імпульсних завад, екранування та заземлення. Вивчать методи оцінки ефективності захисних заходів, дослідження впливу різних конфігурацій заземлення та характеристик ПЗІП. Зможуть аналізувати рівень завад, застосовувати сучасне випробувальне обладнання та розробляти заходи щодо підвищення надійності та безпеки роботи ЕЕС.	50
Самостійна робота. Самостійне опрацювання додаткових розділів, що не виносяться на лекції: • Тема: «Сучасне випробувальне обладнання для тестування РЗА на завадостійкість відповідно до стандартів серії ІЕС 61000» (10);• Тема: «Специфіка вибору та монтажу ПЗІП у ланцюгах живлення та передачі даних цифрових підстанцій» (10).		20
Модульна контрольна. Комп'ютерне тестування на платформі eLearn		30
Всього за модулем 1		100

Вид навчальної діяльності	Результати навчання	Оцінювання
Модуль 2. Якість електричної енергії та моделювання впливу децентралізованої генерації (ВДЕ)		
Лабораторна робота. Моделювання та спектральний аналіз ВДЕ в MATLAB/Simulink. Заняття 2.1. Побудова базової моделі трифазного мостового автономного інвертора напруги зі ШІМ-керуванням у MATLAB/Simulink — 10 балів. Заняття 2.2. Проведення швидкого перетворення Фур'є (FFT-analyser) струмів та напруг інвертора — 10 балів. Заняття 2.3. Моделювання сонячної електростанції (СЕС) з підключенням до розподільної мережі — 10 балів. Заняття 2.4. Моделювання вітрогенератора на базі асинхронної машини подвійного живлення (ДФІГ) — 10 балів. Заняття 2.5. Дослідження несиметрії напруг при нерівномірному розподілі однофазних мікро-СЕС по фазах трифазної мережі — 10 балів.	ПРН 3, ПРН 8. В цьому модулі студенти навчаться моделювати та аналізувати спектральний склад струмів і напруг у системах з ВДЕ, досліджувати вплив інверторних джерел на якість електроенергії, а також вивчать методи оцінки несиметрії та гармонік. Здобудуть навички побудови моделей фотоелектричних та вітрових електростанцій, аналізу їх впливу на мережу, а також навички застосування стандартів якості електроенергії.	50
Самостійна робота. Самостійне опрацювання додаткових розділів, що не виносяться на лекції:• Тема: «Методи математичного опису та оцінки інтергармонік і флікера (коливань напруги) в мережах з ВДЕ» (10);• Тема: «Теплове старіння та деградація ізоляції кабельних ліній і силових трансформаторів в умовах постійного гармонійного забруднення» (10).		20
Модульна контрольна. Комп'ютерне тестування на платформі eLearn		30
Всього за модулем 2		100

Вид навчальної діяльності	Результати навчання	Оцінювання
Модуль 3. Цифровий моніторинг та інтелектуальні методи управління якістю напруги (Smart Grid)		
Лабораторна робота. Проектування та моделювання фільтрів і STATCOM. Заняття 3.1. Проектування та моделювання пасивного однонастроєного LC-фільтра для придушення 5-ї та 7-ї гармонік струму — 10 балів. Заняття 3.2. Дослідження активного фільтра гармонік (APF) з алгоритмом керування на основі теорії миттєвой потужності (p-q теорія) — 10 балів. Заняття 3.3. Моделювання та інтеграція статичного синхронного компенсатора STATCOM для стабілізації напруги — 10 балів. Заняття 3.4. Моделювання системи моніторингу перехідних процесів (WAMS) на базі пристроїв векторних вимірювань (PMU) — 10 балів. Заняття 3.5. Організація передачі телеметрії показників якості електроенергії (ПКЕ) за протоколами Modbus TCP або OPC UA у SCADA-систему — 10 балів.	ПРН 3, ПРН 8. Модуль спрямований на освоєння сучасних технологій моніторингу та управління якістю напруги в Smart Grid. Студенти навчатимуться проектувати пасивні та активні фільтри гармонік, моделювати системи компенсації, аналізувати динаміку роботи STATCOM та систем збору даних за допомогою PMU та SCADA. Вивчать стандарти та архітектури систем WAMS, а також розроблятимуть НМІ для диспетчерів.	50
Самостійна робота. Самостійне опрацювання додаткових розділів, що не виносяться на лекції:• Тема: «Принципи оптимального проектування та розрахунку параметрів пасивних багатоланкових та широкосмугових LC-фільтрів вищих гармонік» (10); • Тема: «Стандарти та архітектури систем WAMS (Wide Area Measurement Systems) для глобального моніторингу перехідних режимів енергосистем» (10).		20
Модульна контрольна. Комп'ютерне тестування на платформі eLearn		30
Всього за модулем 3		100

Вид навчальної діяльності	Результати навчання	Оцінювання
Публікація наукової статті одноосібно у фаховому виданні України (категорія «Б»). Публікація наукової статті у співавторстві з науковим керівником / іншими здобувачами. Публікація тез доповідей на міжнародній конференції (наприклад, щорічні наукові заходи ННІ ЕАіЕ). Публікація тез доповідей на всеукраїнській або університетській конференції. Усна доповідь (презентація результатів моделювання CEC/BEC у MATLAB) на науковому семінарі випускової кафедри. Перемога (I–III місце) у I етапі Всеукраїнської студентської олімпіади чи Конкурсу наукових робіт з електроенергетики або автоматизації. Участь у I етапі олімпіади / конкурсу наукових робіт (без призового місця). Участь у профільних хакатонах чи інженерних змаганнях з розробки рішень для енергоефективності або Smart Grid. Надання сертифіката про успішне проходження профільного онлайн-курсу (наприклад, Coursera, edX, Udemu з комп'ютерного моделювання у MATLAB/Simulink, цифрової обробки сигналів або Smart Grid технологій) обсягом від 15 годин. Проходження короткотермінових сертифікованих тренінгів чи воркшопів від виробників обладнання (Siemens, Schneider Electric, Phoenix Contact, Eaton) з питань захисту від перенапруг, заземлення чи компенсації вищих гармонік.		від 5 до 30 балів
Навчальна робота (разом за семестр)		70
Підсумковий екзамен		30
Разом за курс		100

Шкала оцінювання знань здобувача вищої освіти

Рейтинг здобувача вищої освіти, бали	Оцінка за національною системою (екзамен/залік)
90-100	відмінно
74-89	добре
60-73	задовільно
0-59	незадовільно

Політика оцінювання

Політика щодо дедлайнів та перескладання:	Лабораторні, самостійні та модульні роботи необхідно здавати у заплановані терміни. Перескладання модульних робіт допускається за наявності поважних причин у визначені кафедрою строки.
Політика щодо академічної доброчесності:	Списування, використання сторонніх матеріалів і несанкціонованих пристроїв під час виконання контрольних робіт, заліку або екзамену заборонено.
Політика щодо відвідування:	Відвідування занять є обов'язковим. Пропуски відпрацьовуються згідно з індивідуальним графіком та правилами кафедри.

Навчально-методичне забезпечення

-електронний навчальний курс навчальної дисципліни (на навчальному порталі НУБіП України eLearn - в розробці);

Рекомендовані джерела інформації

1. Планування та електромагнітна сумісність в безпроводових інфокомунікаціях [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка / М. Ю. Ільченко, Т. М. Наритник, С. В. Капштик, Г. Л. Авдеєнко, В. І. Корсун, В. І. Присяжний ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,66 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 275 с.<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/54667>
2. A comprehensive exploration of IoT-enabled smart grid systems: power quality issues, solutions, and challenges Saleha Tabassum, Attuluri R. Vijay Babu, Dharmendra Kumar Dheer Sci. Tech. Energ. Transition, 79 (2024) 62 Published online: 2024-09-02 DOI: <https://doi.org/10.2516/stet/2024056>
3. Якість електричної енергії [Електронний ресурс] / Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). – Офіційний сайт. – Дата оновлення: 20.11.2025. – Режим доступу: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/yakist-elektropostachannya/yakist-elektrichnoyi-energiyi>. – Назва з екрана. – (дата звернення: 20.08.2026).