Силабус освітнього компонента
Програма навчальної дисципліни

Технології SMART GRID і цифровізації електроенергетики

Шифр та назва спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка,
176 – Мікро- та наносистемна техніка

Інститут
ННІ Енергетики, електроніки та електромеханіки

Освітня програма
Стала та відновлювана енергетика: електрична та мікроелектронна інженерія

Кафедра
Електричних станцій (130)

Рівень освіти
Магістр

Тип дисципліни
Обов'язкова, Спеціальна (фахова)

Семестр
3

Мова викладання
Українська, англійська

Викладачі, розробники

Махотіло Костянтин Володимирович
Kostiantyn.Makhotilo@khpi.edu.ua
Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор

Автор понад 90 наукових публікацій та навчально-методичних праць. Провідний лектор з дисциплін: «Основи інформаційних технологій в електроенергетиці», «Облік та керування електроспоживанням», «Енергетична політика України та маркетинг енергії», «Моделювання та прогнозування електроспоживання», «Проблеми та перспективи розвитку електроенергетики та електромеханіки».
Детальніше про викладача на сайті кафедри

Загальна інформація

Анотація

Розумна мережа майбутнього – це складна енергетична система, яка має забезпечити сталий розвиток енергетики майбутнього. Дисципліна присвячена концепції та проблемам створення розумних мереж.
В теоретичній частині дисципліни розглядаються питанням визначення поняття інтелектуальної мережі Smart Grid, концепції її побудови та організації взаємодії її складових. Вивчаються особливості моделювання такої неоднорідної енергетичної системи, задачі управління нею з урахуванням мінливості режимів роботи відновлюваних джерел енергії. Розглядаються особливості систем автоматизації, що є частиною розумної мережі, а також цифровізації енергетики. Обговорюються питання безпеки розумних мереж та оцінювання наслідків кібернетичних атак.
Складність розумної мережі не дозволяє охопити її лише аналітичними методами, тому для її моделювання велике значення мають чисельні методи. Практична частина дисципліни присвячена методам моделювання розумних мереж на базі відкритого програмного забезпечення, методам оцінки впливу на режими роботи різних збурень та мінливості відновлюваних джерел енергії.

Мета та цілі дисципліни

Мета.
Формування знань про концепцією розумних мереж Smart Grid їх особливості та роль у переході до сталої енергетики, здобуття навичок моделювання розумних мереж з урахуванням впливу змінності відновлюваних джерел енергії та можливих кібератак.
Цілі.
Знати:
– Визначення розумної мережі та концепцію багатодоменної розумної мережі
– Особливості управління енергією в розумній мережі
– Методи моделювання процесів в розумній мережі
– Особливості співмоделювання процесів в розумній мережі
– Проблеми стійкості та динаміки в енергосистемах та їх особливості в розумній мережі
– Методи моделювання невизначеності в розумній мережі з відновлюваними джерелами енергії
– Принципи будови мереж автоматизації в енергосистемах
– Принципи цифровізації та автоматизації енергосистем
– Проблему кібернетичної безпеки в розумних мережах та методи оцінювання її ризиків
Вміти:
– Застосовувати програмні пакети для співмоделювання процесів в розумній мережі
– Моделювати режими роботи розумної мережі на прикладі тестової системи
– Аналізувати динаміку енергосистеми
– Моделювати та аналізувати вплив змінних відновлюваних джерел енергії
– Оцінювати вплив різного роду кібернетичних атака на розумну мережу

Формат занять

Лекції, практичні занятті, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – екзамен.

Компетентності

СК1. Здатність обґрунтовано обирати, застосовувати наявні та розробляти нові методи, методики, технології для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також мікро- та наносистемної техніки.
СК3. Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові й технічні методи для вирішення науково-технічних проблем електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також мікро- та наносистемної техніки, оцінювати отримані результати.
СК6. Здатність розробляти й реалізовувати наукові та/або інноваційні проєкти у сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також мікро- та наносистемної техніки
СК7. Здатність проєктувати та впроваджувати ефективні, надійні й безпечні, зв’язані з мережею та автономні електрогенеруючі установки й станції, що використовують відновлювані джерела енергії, зокрема фотоелектричні.
СК8. Здатність планувати впровадження і керувати роботою відновлюваних джерел енергії для забезпечення сталого розвитку енергетики на основі технологій розумних мереж, розподіленої генерації та акумулювання енергії.

Результати навчання

РН1. Формулювати й розв’язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проєктування, виготовлення і дослідження електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів і систем, а також мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проєктах.
РН2. Визначати напрями, розробляти й реалізовувати проєкти створення та модернізації електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів і систем, а також виробництва мікро- та наносистемної техніки з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів.
РН3. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері електроенергетики, електротехніки,

електромеханіки, а також мікро- та наноелектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності.
РН7. Будувати й досліджувати фізичні, математичні й комп'ютерні моделі об'єктів та процесів електроенергетики, електротехніки, електромеханіки, а також мікро- та наноелектроніки.
РН10. Дотримуватися принципів та напрямів стратегії сталого розвитку енергетики, забезпечення енергетичної безпеки та переходу до відновлюваної енергетики в України, ЄС та світі.
РН11. Розуміти та використовувати правові акти, норми, правила та стандарти в галузі електроенергетики, зокрема відновлюваних джерел енергії.
РН12. Застосовувати наявне та опановувати нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах, а також мікро- та наноелектронних системах.
РНс1.3. Планувати побудову та управління роботою ефективних енергетичних установок та стацій на основі технологій розподіленої відновлюваної генерації та розумних мереж.
РНс1.4. Планувати побудову та управління роботою надійних і безпечних електроенергетичних систем з великою часткою відновлюваних джерел енергії на основі технологій цифровізації електроенергетики.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 120 год. (4 кредитів ECTS): лекції – 48 год., практичні заняття – 16 год., самостійна робота – 56 год.

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Попередні дисципліни:
Проєктування систем відновлюваної генерації та акумулювання енергії.

Знання основ методів розв'язання математичних задач енергетики, основ теорії автоматичного управління, електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів в енергосистемах. Навички роботи з пакетами математичного моделювання.

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Методи навчання:
1. Пояснювально-ілюстративний метод, метод проблемного навчання, частково-пошуковий метод.
2. Виконання індивідуальних завдань, самостійна робота, робота з навчально-методичною літературою і інформаційними ресурсами.
3. Дискусії, виконання групових завдань.

Лекції проводяться в інтерактивному режимі з використанням мультимедійних технологій. Практичні завдання виконуються з використанням відкритого програмного забезпечення OpenModelica та платформи Microsoft 365. Навчальні матеріали доступні для студентів у блокноті OneNote Class Notebook.

Програма навчальної дисципліни

Теми лекційних занять

Цілі навчальної дисципліни
Значення даної навчальної дисципліни для забезпечення інших професійних навчальних дисциплін. Обсяг навчального матеріалу, види занять та організація роботи для його засвоєння

Змістовий модуль 1. Концепція розумної мережі
Тема 1. Енергетичні системи сучасності та майбутнього
Становлення традиційної моделі енергосистеми. Розвиток концепції розумної енергетичної системи Smart Grid
Тема 2. Платформа Smart Grid NIST

Концепція багатодоменної розумної мережі. Домен «Клієнт». Домен «Ринки»

Тема 3. Домени Smart Grid NIST. Частина 2

Домен «Постачальник послуг». Домен «Генерація».

Тема 4. Домени Smart Grid NIST. Частина 3

Домен «Передача». Домен «Розподіл»

Тема 5. Енергетичний менеджмент у Smart Grid

Управління зі сторони попиту. Реагування зі сторони попиту. Компоненти системи енергетичного менеджменту в розумній мережі

Змістовий модуль 2. Моделювання розумних мереж

Тема 6. Задача моделювання розумної мережі

Міждисциплінарність задачі моделювання розумних мереж. Особливості моделювання гетерогенних систем

Тема 7. Підходи до моделювання розумних мереж

Приведення до одного способу моделювання. Використання універсального інструменту моделювання

Тема 8. Підхід співмоделювання

Співмоделювання розумних мереж

Тема 9. Програмні інструменти для співмоделювання

PowerFactory. MATPOWER/Octave, PSAT, OpenModelica/OpenIPSL

Тема 10. Стійкість енергосистеми

Категорії стійкості в енергосистемі. Наслідки нестійкості енергосистеми.

Тема 11. Стійкість енергосистеми. Частина 2

Забезпечення стійкості енергосистеми. Особливості моделювання для аналізу стійкості енергосистеми.

Тема 12. Регулювання частоти

Синхронна швидкість генераторів. Баланс активної потужності. Види резервів регулювання частоти. Принцип роботи регулятора частоти обертання.

Тема 13. Оптимальний потік потужності в умовах невизначеності

Задача оптимізації. Алгоритм оптимізації. Гуссівський випадковий процес. Модель суміші Гаусса. Розподіл Вейбулла

Тема 14. Застосування ймовірнісного аналізу в енергетичних системах

Метод Монте-Карло в енергетичних системах. Моделювання вихідної потужності вітроенергетичної установки. Аналіз ймовірнісного потоку потужності

Змістовий модуль 3. Мережі автоматизації розумних мереж

Тема 15. Мережі автоматизації

Типи мереж автоматизації. Протокол зв’язку. Мережева модель OSI.

Тема 16. Мережі автоматизації. Частина 2

Функції та властивості протоколів зв'язку

Тема 17. Стандарт мережевої платформи LonWorks

Платформа LonWorks. Протокол LonTalk

Тема 18. Надійність, сумісність та безпека мереж автоматизації

Децентралізована мережа автоматизації. Сумісність протоколів мереж автоматизації. Інформаційна безпека мереж автоматизації

Тема 19. Цифровізація енергетики

Система управління енергією. Диспетчерське управління та збір даних.

Тема 20. Цифровізація енергетики. Частина 2

Цифрова електрична підстанція. Технологія синхронізованих вимірювань. Моніторинг, захист та управління на великих територіях

Тема 21. Кібербезпека Smart Grids

Кібернетичні атаки на енергомережі. Атака шляхом введення хибних даних. Кібернетичні ризики. Управління кібернетичними ризиками

Тема 22. Оцінювання ризиків у розумних мережах

Індекс безпеки. Розрахунок вектора атаки. Задача розрахунку індексу безпеки. Оцінювання впливу на основі моделювання кіберфізичної системи

Теми практичних занять

Тема 1. OpenModelica
Встановлення та налаштування OpenModelica
Тема 2. Моделювання енергетичної системи в OpenModelica
Тестова система IEEE 9 шин. Моделювання режимів роботи системи без збурення. Система зі збуренням за навантаженням. Моделювання режимів роботи системи при збуренні
Тема 3. Моделювання енергетичної системи з регулюванням
Система з автоматичними регуляторами напруги генератора. Моделювання режимів роботи системи з AVR при збуренні. Система з автоматичними регуляторами частоти обертання. Моделювання режимів роботи системи з GOV при збуренні
Тема 4. Моделювання енергетичної системи з відновлюваним джерелом енергії
Система з вітровою електростанцією. Моделювання режимів роботи з ВЕС.
Тема 5. Моделювання енергетичної системи для оцінювання кібербезпеки
Зонована система з регулятором потужності. Атака введення хибних даних FDI. Атака на відмову в обслуговуванні DoS. Комбіновані атаки

Теми лабораторних робіт

Не передбачені

Самостійна робота

Індивідуальне завдання – реферат
Тема: "Приклади реалізації концепції розумних мереж"
Обсяг: 10-15 с.
Термін подачі: 16-й тиждень.
Реферат має містити опис прикладу проєкту зі створення розумної мережі, аналіз повноти реалізації функцій розумної мережі у ньому.
До реферату готується презентація та проводиться захист результатів аналізу.
Оцінюється відповідність темі, сучасність джерел інформації, повнота аналізу, оформлення роботи.

Література та навчальні матеріали

Основна література:
1. Tomar A., Kandari R. (ed.). Advances in Smart Grid Power System: Network, Control and Security. Academic Press, 2020.
2. Gopstein, A., Nguyen, C., O'Fallon, C., Hastings, N., & Wollman, D. NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 4.0. Gaithersburg, MD, USA: Department of Commerce. National Institute of Standards and Technology, 2021.
3. Morales-España, G., Martínez-Gordón, R., & Sijm, J. Classifying and modelling demand response in power systems. Energy, 2022, 242, 122544.
4. Fritzson, P., et al. OpenModelica Users Guide. 2006.
5. Milano F. Power system modelling and scripting. Springer Science & Business Media, 2010.

Додаткова література
1. Забезпечення стійкості енергосистем та їх об’єднань: За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2018. – 320 с.
2. Правила застосування системної протиаварійної автоматики запобігання та ліквідації небезпечного зниження або підвищення частоти в енергосистемах. Мінпаливенерго України; Наказ, Правила, Умови від 01.12.2003 № 714. Інформаційний бюлетень НКРЕ – 2004 р., № 1
3. Saianiruth, M., Vinothkumar, K., & Karthik, P. Smart Grid Technology and Its Impact on Renewable Energy Integration (No. 10702). EasyChair. 2023.
4. Liu, Y., Ning, P., & Reiter, M. K.. False data injection attacks against state estimation in electric power grids. ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC), 14(1), 2011, p. 1-33.

5. Domínguez C., Porras Á., Pineda S., Morales J. M. Optimal power flow under uncertainty / Encyclopedia of Electrical and Electronic Power Engineering, Volume 1, 2023, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821204-2.00107-0.

Система оцінювання

Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

Остаточна оцінка складається з:
30 балів за три модульні контрольні роботи,
30 балів за виконання завдань практичних занять,
20 балів за індивідуальне завдання
20 балів за екзамен.

Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/

Погодження

Силабус погоджено 28.08.23 Завідувач кафедри
Олександр ЛАЗУРЕНКО

28.08.23 Гарант ОП
Костянтин МАХОТІЛО