



Системи перетворювальної техніки

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (освітньо-професійний)
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма	«Енергетичний менеджмент, електропостачання та інжиніринг електротехнічних комплексів»
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	I курс, другий семестр
Обсяг дисципліни	120 годин / 4 кредити ECTS (36 год. – лекцій, 18 год. – практичних занять, 66 год. – самостійна робота)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік / модульна контрольна робота (МКР)
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: докт. техн. наук, проф. Юрченко Олег миколайович, ol.nik.yurchenko@gmail.com , +38(067) 445-05-42, (Telegram) - у робочі години; Консультації: щочетверга, 16:00-17:00
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс Google classroom https://classroom.google.com/

Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Системи перетворювальної техніки» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістрів з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Системи перетворювальної техніки є важливими складовими частинами більшості сучасних електротехнічних і енергетичних комплексів. Тому вивчення цієї дисципліни має значний вплив на отримання знань про різні джерела відновлюваної енергії (таких як вітрові, фотоелектричні та енергетичні системи океану), приводи змінних швидкостей у транспортних системах (таких як електричні та гібридні транспортні засоби, суднові рушії та ін.), системи енергоконцентрації (такі як батарея, маховик тощо). Перетворення енергії завдяки силовій електроніці може включати перехід на постійний струм (ректифікація), dc-to-ac (інверсія), dc-to-dc (buck, boost або buck-boost) і ac-to-ac, який може бути частотним перетворювачем або регулятором напруги (на тій же частоті).

Метою дисципліни «Системи перетворювальної техніки» є надання студентам теоретичних знань сучасних систем з пристроями силової електроніки, які дозволяють їм успішно вирішувати професійні завдання в області проектування, розрахунку і експлуатації таких систем різного функціонального призначення; вивчення принципів побудови сучасних систем енергозабезпечення з пристроями силової електроніки з урахуванням математичної структури і фізичних закономірностей об'єктів керування, методів аналізу, розрахунку,

раціонального вибору елементів таких систем, відмінних рис в залежності від призначення, характеру динамічних процесів і особливостей статичних і перехідних режимів, зокрема, в системах енергозабезпечення з джерелами безперебійного живлення та відновлюваними джерелами енергії, в електричних мережах для покращення якості електроенергії; **формування** знань про силову електроніку як про пристрої, що входять до складу різних об'єктів електротехніки та електроенергетики.

Предмет: структури і схемні рішення систем з пристроями силової електроніки, складені багатофункціональні перетворювачі електроенергії, системи керування для комплексних систем застосування пристроїв силової електроніки, їх моделі та функціональні можливості; активні випрямлячі, активні та гібридні фільтри струму мережі і симетруючі пристрої.

Компетентності: Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці; Здатність використовувати програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування, автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки або конструювання елементів електротехнічних і енергетичних комплексів.

Програмні результати навчання: Відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні; Окреслювати план заходів з підвищення надійності, безпеки експлуатації та продовження ресурсу електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання і відповідних комплексів і систем.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти «Іноземною мовою для наукової діяльності», оскільки значна частина новітніх технологій описується в науковій літературі англійською мовою.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Загальна характеристика систем перетворювальної техніки.

Тема 1. Системи перетворювальної техніки. Загальні положення.

Тема 2. Особливості побудови систем з пристроями силової електроніки. Критерії оптимальності, принципи керування електроживлення.

Розділ 2. Базові системи з пристроями силової електроніки.

Тема 3. Модульні та коміркові перетворювачі. реверсивні випрямлячі.

Тема 4. Багаторівневі перетворювачі.

Тема 5. Джерела безперебійного живлення. принципи керування. особливості режимів бай-пас (bypass) в системах безперебійного живлення.

Тема 6. Пристрої силової електроніки в системах електропостачання та електротехнологіях.

Тема 7. Компенсація вищих гармонік в системах електропостачання. Активні фільтри.

Тема 8. Силова електроніка для світлотехніки. системи силової електроніки для транспорту та заряджання електромобілів.

Розділ 3. Перспективні системи перетворювальної техніки

Тема 9. Основні напрямки використання пристроїв силової електроніки в інтелектуальних електричних мережах та системах.

Тема 10 Технології підвищення ефективності систем передачі та розподілу електроенергії змінним струмом. Системи FACTS.

Тема 11. Системи передачі енергії постійним струмом. системи HVDC. Особливості функціонування мереж постійно-змінного струму.

Тема 12. Системи з пристроями силової електроніки для підключення та керування джерелами розосередженої генерації.

Тема 13. Системи зарядки електромобілів. Транзисторні SiC-модулі. Випрямляч Vienna.

Тема 14. Розвиток Microgrid на основі пристроїв силової електроніки.

Тема 15. Розподільні мережі та споживачі постійного струму.

Тема 16. Твердотільні трансформатори.

Тема 17. Енергорутери на основі пристроїв постійного струму.

Тема 18. Загальні питання роботи пристроїв силової електроніки в системі.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Кириленко О.В., Жуйков В.Я., Денисюк С.П., Рибіна О.Б. Системи силової електроніки та методи їх аналізу. – К.: Текст, 2006. – 488 с.

2. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. – К.: Текст, 2010. – 264 с.

3. Жуйков В.Я., Денисюк С.П., Мельничук Г.В. Моделювання систем з перетворювачами електроенергії з циклічно-змінюваними параметрами. – К.: Наш формат, 2018. – 165 с.

4. Шидловський А.К., Новський В.О., Жаркін А.Ф. Стабілізація параметрів електричної енергії в трифазних системах напівпровідниковими коригуючими пристроями. – К.: Інститут електродинаміки НАН України. – 2013. – 378 с.

5. Силова електроніка в системах електропостачання: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньою програмою «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.П. Денисюк, Д.Г. Дерев'янка, Г.С. Белоха. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 80 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48138>

Додаткова література

(факультативно / ознайомлення)

6. Сенько В.І., Трубіцин К.В., Чибеліс В.І. Інвертори і перетворювачі частоти: навч. посіб. – К.: Видавництво Ліра-К, 2020. – 300 с.

7. Руденко В.С., Ромашко В.Я., Морозов В.Г. Перетворювальна техніка. Частина 1. Підручник. – К.: ІСДО, 1996. – 262 с.

8. Перетворювальна техніка. Підручник. Ч.2 / За ред. В.С. Руденка. – Харків: Фоліо, 2000. – 360 с.

9. Підвищення ефективності систем з відновлюваними джерелами енергії / В.Я. Жуйков, Л.М. Лук'яненко, Д.А. Миколаєць, К.С. Осипенко. – К.: Кафедра, 2018. – 368 с.

10. Артеменко М.Ю., Михальський В.М., Шаповал І.А. Теорія активної фільтрації багатофазних систем електроживлення, спрямована на мінімізацію потужності втрат в лінії передачі. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2021. – 235 с.

11. Жаркін А.Ф., Палачов С.О., Новський В.О. Нормативно-правове регулювання якості напруги в електричних мережах з джерелами розосередженої генерації. К.: Інститут електродинаміки НАН України. 2018. – 161 с.

12. Перетворювачі параметрів електроенергії в Smart-системах енергетики / Кириленко О.В., Ю.І. Якименко, В.Я. Жуйков, С.П. Денисюк // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. – К.: ІЕД НАНУ, 2010. – С. 17–23.

13. Денисюк С.П. Аналіз та оптимізація енергопроцесів в розосереджених електроенергетичних системах // Техн. електродинаміка. – 2016. – № 4. – С. 62–64.

14. Денисюк С.П. Аналіз та оптимізація енергопроцесів у розосереджених електроенергетичних системах // *Технічна електродинаміка*. – 2016. – № 4. – С. 62–64.

15. Моделювання пристроїв силової електроніки в MATLAB Simulink. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «системи електропостачання» / С.П. Денисюк, Д.Г. Дерев'янку. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 95 с; Url: ; Ухвалено методичною радою; Протокол № 8; Дата 25.04.2019.

16. Системи силової електроніки в електроенергетиці. Основи роботи в MATLAB Simulink: метод. вказівки до проведення лабор. робіт для студ. спец. 8.05070108 «Енергетичний менеджмент», 8.05060105 «Енергетичний менеджмент», 8.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання» / Уклад.: С.П. Денисюк, Д.Г. Дерев'янку, Г.В. Мельничук. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 72 с.

17. Системи силової електроніки в електроенергетиці: метод. вказівки до проведення лабор. робіт для студ. спец. 8.05070108 «Енергетичний менеджмент», 8.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання» / Уклад.: С.П. Денисюк, Є.А. Штогрин, Д.Г. Дерев'янку. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 80 с.

18. Системи силової електроніки в електроенергетиці. Програмне забезпечення Power Factory. Базовий курс / Метод. вказівки до проведення лабор. робіт для студ. спец. 8.05070108 «Енергетичний менеджмент», 8.05060105 «Енергетичний менеджмент», 8.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання» / Уклад.: С.П. Денисюк, Д.Г. В.В. Рогаль, Д.Г. Астахов, І.Ю. Бойко. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 96 с.

19. Power Electronics: Electronics devices modelling in MATLAB Simulink. Computer practicum. [Electronic resource]: A manual for graduates of the bachelor's Degree in the educational program «Power Systems» / S. Denysiuk, D. Derevianko. – Electronic text data (1file: 2,9 Mbyte). – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2019. – 81 p.; Url: ; Ухвалено методичною радою; Протокол № 8; Дата 25.04.2019.

20. Power electronics handbook / Editor-in-chief Muhammad H. Rashid. – San Diego, California: ACADEMIC PRESS, 2006. – 892 p.

21. Daniel W. Hart. Power Electronics. – NY: McGraw-Hill, 2011. – 494 p.

22. Power electronics handbook: devices, circuits, and applications handbook / edited by Muhammad H. Rashid. – 3rd ed. – Elsevier Inc., 2011.

23. Advanced Power Electronic Interfaces for Distributed Energy Systems Part 1: Systems and Topologies W. Kramer, S. Chakraborty, B. Kroposki, H. Thomas. – Technical Report NREL/TP-581-42672 March 2008. – 132 p.

24. Advanced Power Electronic Interfaces for Distributed Energy Systems Part 2: Modeling, Development, and Experimental Evaluation of Advanced Control Functions for Single-Phase Utility-Connected Inverter S. Chakraborty, B. Kroposki, W. Kramer. – Technical Report NREL/TP-550-44313 November 2008. – 62 p.

25. Kroposki B., Pink Ch., DeBlasio R., Thomas H., Simoes M., Pankaj K. Sen. Benefits of Power Electronic Interfaces for Distributed Energy Systems // *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 25, No. 3, September 2010. – P. 901–908.

26. Molinas M. The Role of Power Electronics in Distributed Energy Systems. – moam.info_the-role-of-power-electronics-in-distributed-energ_59e215a41723dd3a34b2a502.pdf

27. Power electronic systems as a crucial part of Smart Grid infrastructure – a survey / G. Benysek, M.P. Kazmierkowski, J. Popczyk, R. Strzelecki // *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. – 2011. – No. 4. – Vol. 59.

28. Power Electronics for Distributed Energy Systems AND Transmission And Distribution Applications L. M. Tolbert T. J. King B. Ozpineci J. B. Campbell. – Prepared by the OAK RIDGE National Laboratory Oak Ridge, Tennessee 37831 managed by UT-BATTELLE, LLC for the U.S. Department of Energy Under contract DE-AC05-00OR22725. – December 2005. – 182 p.

29. Tandjaoui M.N., Benachaiba C., Abdelkhalek O., Banoudjafar C. Role of Power Electronics in Grid

Інформаційні ресурси

1. Науково-прикладний журнал «Технічна електродинаміка» (входить до наукометричної бази Scopus). – Режим доступу: <http://techned.org.ua/>
2. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». – Режим доступу: <http://energy.kpi.ua/>
3. Національна бібліотека України імені В.І.Вернадського. – Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/>
4. Матеріали Товариства силової електроніки IEEE (IEEE Power Electronics society). – Режим доступу: <https://www.ieee-pels.org/>
5. Загальноєвропейський журнал у сфері силової електроніки (Power Electronics Europe). – Режим доступу: <https://www.power-mag.com/>
6. Журнал з проблем силової електроніки (Корея) (The Journal of Power Electronics (JPE) is the official publication of the Korean Institute of Power Electronics (KIPE)). – Режим доступу: <https://jpels.org/> The Journal of Power Electronics (JPE) is the official publication of the Korean Institute of Power Electronics (KIPE).
7. Матеріали компанії ABB. – Режим доступу: <https://new.abb.com/power-electronics>

Літературу, бібліографія якої подана із посиланням, можна знайти в інтернеті. Літературу, бібліографія якої не містить посилання, можна знайти в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Обов'язковим для прочитання є окремі розділи базової літератури [1 – 5]. Розділи базової літератури, що є обов'язковими для прочитання, а також зв'язок цих ресурсів з конкретними темами дисципліни наводиться нижче, в методиці опанування навчальної дисципліни. Усі інші літературні джерела є факультативними, з ними рекомендується ознайомитись.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальна дисципліна охоплює 36 годин лекцій та 18 годин практичних занять, а також виконання модульної контрольної роботи (МКР), яка складається з двох частин (за темами) тривалістю 1 акад. год. кожна.

Практичні заняття з дисципліни проводяться з метою закріплення теоретичних положень навчальної дисципліни і набуття студентами умінь і досвіду оперувати сучасними поняттями в галузі систем силової електроніки та засобів керування в електроенергетиці. Виходячи з розподілу часу на вивчення дисципліни, рекомендується дев'ять практичних занять.

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
Розділ 1. Загальна характеристика систем перетворювальної техніки	
1	Тема 1. Системи перетворювальної техніки. Загальні положення. Системний підхід і системний аналіз. Загальна характеристика систем з пристроями силової електроніки. Основні типи та характеристики перетворювачів електроенергії. Особливості побудови та режими роботи систем з пристроями силової електроніки. Літературні джерела: [1]
2	Тема 2. Особливості побудови систем з пристроями силової електроніки. Критерії оптимальності, принципи керування електроживлення. Принципи реалізації системного підходу при побудові систем з пристроями силової електроніки. Особливості аналізу процесів енергообміну в системах з

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
	<p>пристроями силової електроніки. Система критеріїв оптимальності та обмеження. Аналіз критеріїв оптимального відбору потужності. Керування електроживленням в системах з пристроями силової електроніки. Особливості керування режимами інтелектуальних електромереж. Літературні джерела: [1 – 3]</p>
Розділ 2. Базові системи з пристроями силової електроніки	
3	<p>Тема 3. Модульні та коміркові перетворювачі. реверсивні випрямлячі. Модульні, багаторівневі та коміркові перетворювачі. Загальні положення. Паралельне з'єднання двомостових перетворювачів та широтно-імпульсних перетворювачів. Паралельне з'єднання автономних інверторів. Багатомостові схеми випрямлячів. Реверсивні перетворювачі електроенергії, реверсивний широтно-імпульсний перетворювач. Особливості роботи реверсивних випрямлячів. Процес реверсу струму під час роботи випрямляча на активно-індуктивне навантаження та на проти-ЕРС. Сумісне та роздільне керування реверсивними випрямлячами. Обмеження зрівняльних струмів при сумісному керуванні. Літературні джерела: [1, 4, 5]</p>
4	<p>Тема 4. Багаторівневі перетворювачі. Помножувачі випрямленої напруги на основі конденсаторно-діодних ланок. Дільники випрямленої напруги на основі конденсаторно-діодних ланок. Багаторівневі перетворювачі. Схеми інверторів на основі конденсаторів з діодним блокуванням. Перетворювачі з комірково-гніздовою структурою конденсаторів. Літературні джерела: [1, 3]</p>
5	<p>Тема 5. Джерела безперебійного живлення. принципи керування. особливості режимів бай-пас (bypass) в системах безперебійного живлення. Словничок ДБЖ. Класифікація та типи ДБЖ. Модульний принцип побудови ДБЖ. Системи безперебійного живлення з трифазним входом і трифазним виходом потужністю від 40 до 200 кВА. Організація паралельної роботи джерел живлення змінного струму. Принципи керування джерелами безперебійного живлення. Системи гарантованого електропостачання. Літературні джерела: [1, 5]</p>
6	<p>Тема 6. Пристрої силової електроніки в системах електропостачання та електротехнологіях. Показники якості електроенергії. Пристрої силової електроніки для електротехнологій. Підвищення енергоефективності систем електропостачання промислових споживачів постійного струму на основі активних перетворювачів електроенергії. Особливості систем електропостачання загального призначення з пристроями силової електроніки. Технологічні установки як джерела вищих гармонік. Нормалізація та регулювання показників якості електроенергії. Статичні компенсатори реактивної потужності. Літературні джерела: [1-4]</p>
7	<p>Тема 7. Компенсація вищих гармонік в системах електропостачання. Активні фільтри. Основна характеристика силових активних фільтрів. Коректори коефіцієнта потужності випрямлячів. Принципи реалізації активних силових фільтрів.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
	Гібридні фільтри. Схемні варіанти систем активної фільтрації (САФ) та типи їх підключення. Компенсація реактивної потужності та вищих гармонік. Літературні джерела: [1-4]
8	Тема 8. Силова електроніка для світлотехніки. системи силової електроніки для транспорту та заряджання електромобілів. Силова електроніка для світлотехніки. Електротехнічні системи наземного транспорту. Електротехнічні системи суден та авіакосмічної техніки. Авіаційні електротехнічні системи та електроживлення ракетних комплексів. Базові аспекти комплексного використання відновлюваних джерел енергії для заряджання електромобілів. Літературні джерела: [1, 4, 5]
Розділ3. Перспективні системи перетворювальної техніки	
9	Тема 9. Основні напрямки використання пристроїв силової електроніки в інтелектуальних електричних мережах та системах. Об'єктивні передумови для переозброєння електроенергетики України на новій технологічній основі шляхом створення Smart Grid з використанням пристроїв силової електроніки. Пристрої регулювання (компенсації) реактивної потужності та напруги, що підключаються до мереж паралельно. Пристрої регулювання параметрів мережі (опору мережі), що підключаються у мережі послідовно. Пристрої, що поєднують функції перших двох груп – пристрої поздовжньо-поперечного включення. Пристрої обмеження струмів короткого замикання. Накопичувачі електричної енергії для електроенергетичних систем. Перетворювачі роду струму (змінний струм у постійний і постійний струм у змінний). Кабельні лінії електропередачі постійного та змінного струму на базі високотемпературних надпровідників. Інформаційно-комунікаційні технології. Програмні засоби. Літературні джерела: [1 – 3]
10	Тема 10 Технології підвищення ефективності систем передачі та розподілу електроенергії змінним струмом. Системи FACTS. Технологій збільшення ефективності систем передачі і розподілу електроенергії. Еволюція технологій і пристроїв компенсації реактивної потужності. Гнучкі системи передачі змінного струму FACTS. Установки синхронної компенсації реактивної потужності. Системи передачі змінного струму FACTS – підвищення якості роботи електричних мереж. Літературні джерела: [1, 4, 5]
11	Тема 11. Системи передачі енергії постійним струмом. системи HVDC. Особливості функціонування мереж постійно-змінного струму. Схеми електропередачі та вставок постійного струму. HVDC – системи постійного струму високої напруги. Типи схем HVDC. Історія високовольтних ліній електропередачі постійного струму. Особливості функціонування електромереж постійно-змінного струму. Літературні джерела: [1, 4, 5]
12	Тема 12. Системи з пристроями силової електроніки для підключення та керування джерелами розосередженої генерації. Особливості застосування ВДЕ як джерел розосередженої генерації. Технічні особливості підключення джерел розосередженої генерації. Основні способи підключення фотоелектричних панелей. Основні способи підключення

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
	<p>вітроенергетичних установок. Способи підключення двигунів внутрішнього згорання. Способи підключення акумуляторних батарей. Способи підключення мікротурбін. Конфігурації паливних елементів, способи підключення паливних елементів. Основні способи підключення маховиків. Особливості побудови схем інверторів.</p> <p>Літературні джерела: [1, 4, 5]</p>
13	<p>Тема 13. Системи зарядки електромобілей. Транзисторні Sic-модулі. Випрямляч Vienna.</p> <p>Режими зарядки електромобілів. Швидка зарядка акумуляторів електромобілів. Станції зарядки електромобілів: перспективи. Комбінована система заряджання – Combined Charging System. Інфраструктура електростанцій для електромобілів, системи групової зарядки. Силова електроніка для зарядки електромобілів. Особливості побудови зарядних пристроїв потужністю 350 кВт на транзисторних модулях Infineon. Випрямляч Vienna. Інфраструктура електростанцій для електромобілів фірми SIEMENS. Системи групової зарядки.</p> <p>Літературні джерела: [1, 4, 5]</p>
14	<p>Тема 14. Розвиток Microgrid на основі пристроїв силової електроніки.</p> <p>Основна архітектура та загальні характеристики Microgrid. Співставна характеристика Microgrid змінного та постійного струму. Microgrid змінного струму; архітектура Microgrid змінного струму. Microgrid постійного струму; архітектура Microgrid постійного струму. Гібридні Microgrid (постійного та змінного струму). Керування електромагнітними процесами в Microgrid.</p> <p>Літературні джерела: [1, 3, 4, 5]</p>
15	<p>Тема 15. Розподільні мережі та споживачі постійного струму.</p> <p>Драйвери попиту на перехід до електроживлення постійним струмом. Архітектури розподільних мереж мікрорайону на постійному струмі і оцінки її порівняльної ефективності. Перетворювачі постійного струму (DC / DC) для будівель з послідовним зниженням напруги до 440 та 220 В. Переваги електроживлення локальних навантажень на постійному струмі у порівнянні з електроживленням на змінному струмі; потенціал енергоефективності. Лінії електроживлення низької напруги. Енергопостачання локальних об'єктів, мікро- і міні-мережі постійної напруги. Споживачі постійного струму. Схемотехнічні рішення для інтеграції в існуючі системи змінного струму.</p> <p>Літературні джерела: [1, 5]</p>
16	<p>Тема 16. Твердотільні трансформатори.</p> <p>Передумови формування потреб у високоефективному перетворювальному обладнанні. Загальна характеристика особливостей побудови та застосування твердотільних трансформаторів. Схемотехнічні рішення твердотільних трансформаторів. Практичне застосування твердотільних трансформаторів.</p> <p>Літературні джерела: [1]</p>
17	<p>Тема 17. Енергороутери на основі пристроїв постійного струму.</p> <p>Сучасні вимоги цифровізації електроенергетичних систем та мереж. Основні характеристики інтелектуальних гібридних систем електроживлення. Загальні вимоги до побудови енергороутерів. Структурні схеми та схемотехнічні рішення енергороутерів. Режими роботи та особливості застосування енергороутерів.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
	<i>Літературні джерела: [1, 4]</i>
18	Тема 18. Загальні питання роботи пристроїв силової електроніки в системі. Основні вимоги до силових електронних пристроїв. Електромагнітна сумісність пристроїв силової електроніки на системному рівні. Технічні та організаційні заходи забезпечення електромагнітної сумісності. Технічні умови інтеграції розосереджених джерел генерації електроенергії в електроенергетичну систему. Сертифікація силових електронних пристроїв. <i>Літературні джерела: [1, 5]</i>

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	Тема 1. Оцінка енергетичних характеристик та показників систем з пристроями силової електроніки. <i>Літературні джерела: [1 –3]</i>
2	Тема 2. Дослідження системи генератор – трансформатор – перетворювач електроенергії – двигун постійного струму. <i>Літературні джерела: [1, 2]</i>
3	Тема 3. Аналіз енергетичних процесів в системах електроживлення з активним фільтром та змінним у часі навантаженням. <i>Літературні джерела: [1, 2, 4]</i>
4	Тема 4. Дослідження три-провідної та чотири-провідної систем з пристроями силової електроніки та паралельним активним фільтром. МКР <i>Літературні джерела: [1 – 4]</i>
5	Тема 5. Аналіз процесів керування активним фільтром в системі електроживлення. <i>Літературні джерела: [1, 2, 4, 5]</i>
6	Тема 6. Дослідження процесів в системі сонячна електростанція – перетворювач електроенергії – змінне у часі навантаження. <i>Літературні джерела: [1, 2, 4, 5]</i>
7	Тема 7. Дослідження процесів в системі вітроенергетична установка – перетворювач електроенергії – змінне у часі навантаження. <i>Літературні джерела: [1, 2, 4, 5]</i>
8	Тема 8. Аналіз енергетичних процесів в системах зарядки електромобілів. МКР <i>Літературні джерела: [1, 2, 5]</i>
9	Тема 9. Залік <i>Літературні джерела: [1, 4]</i>

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента (СРС) є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає: опрацювання навчального матеріалу, підготовку до аудиторних занять та до виконання МКР і екзамену.

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	56
2	Підготовка до МКР	4
3	Підготовка до заліку	6

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Поточний контроль: експрес-опитування, МКР, робота на практичних заняттях.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: виконання МКР, завдань на практичних заняттях та поточний рейтинг 60 балів і більше.

1. Рейтинг здобувача зі 100 балів та складається з балів, що здобувач отримує за:

- роботу на практичних заняттях (9 занять);
- виконання МКР на лекційних заняттях;
- заохочувальні бали (не входять в загальний рейтинг).

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Робота на практичних заняттях:

бездоганна робота – 6 балів;

роботу виконано з незначними недоліками – 4 бали;

роботу виконано з певними помилками – 2 бал;

роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – 0 балів;

максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях – 6 балів × 8 = 48 балів;

2.3. Виконання модульної контрольної роботи:

– модульна робота складається із 6 питань (дві частини МКР, на кожній з яких розглядається три питання) – 26 кожна бали:

- повна відповідь – 23-26 балів;
- достатньо повна відповідь з незначними помилками - 19-22 балів;
- неповна, але на високому рівні відповідь – 15-19 балів;
- відповідь на задовільному рівні – 11-14 балів;
- достатня відповідь – 8-10 балів;
- незадовільна відповідь 0-8 балів;

З метою надання студентам можливості виправити отримані за модульну контрольну роботу бали (за власним бажанням студента), наприкінці семеструзначається один день, у який проводиться перездача робіт.

3. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Умовою першої атестації є отримання не менше 15 балів та виконання всіх практичних робіт (на час атестації) та виконання першої частини МКР. Умовою другої атестації – отримання не менше 26 балів, виконання всіх практичних робіт (на час атестації) та виконання другої частини МКР.

4. Умовою допуску до заліку є зарахування всіх практичних робіт, виконання МКР та стартовий рейтинг не менше 30 балів.

Форма семестрового контролю – залік

Максимальна сума балів складає 100.

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити свою оцінку в системі ECTS, виконують залікову контрольну роботу. При цьому набрані бали студентом анулюються, а оцінка за залікову контрольну роботу є остаточною.

Залікова контрольна робота оцінюється у 100 балів. Кожне завдання містить два теоретичних запитання й одне практичне завдання. Перелік запитань, що наданий у додатку до силабусу, надається викладачем і викладено на інформаційних ресурсах (Кампус, Google Classroom). Кожне теоретичне запитання (завдання) оцінюється у 30 балів, а практичне – у 40 балів за такими критеріями:

«відмінно», повна відповідь, не менше 90 % потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв’язування завдання) – відповідно 29–30 балів за теоретичне запитання та 37–40 балів за практичне завдання;

«добре», достатньо повна відповідь, не менше 75 % потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв’язування завдання з незначними неточностями) – відповідно 22–28 балів за теоретичне запитання та 34–36 балів за практичне завдання;

«задовільно», неповна відповідь, не менше 60 % потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – відповідно 18-21 балів за теоретичне запитання та 30–33 балів за практичне завдання;

«незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

5. Сума стартових балів переводиться до кінцевої оцінки згідно з таблицею:

Метод оцінювання	Кількість	Мінімальна оцінка в балах	Максимальна оцінка в балах
Практичні роботи	8	20	48
МКР	2	30	52
Загальна оцінка		60	100

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
Не виконані умови допуску	Не допущено

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
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль

Тема 1. Системи силової електроніки. Загальні положення.

Тема 2. Особливості побудови систем з пристроями силової електроніки. Критерії оптимальності, принципи керування електроживлення.

Тема 3. Модульні та коміркові перетворювачі. реверсивні випрямлячі.

Тема 4. Помножувачі та дільники випрямленої напруги. багаторівневі перетворювачі.

Тема 5. Джерела безперебійного живлення. принципи керування. особливості режимів бай-пас (bypass) в системах безперебійного живлення.

Тема 6. Пристрої силової електроніки в системах електропостачання та електротехнологіях.

Тема 7. Компенсація вищих гармонік в системах електропостачання. Активні фільтри.

Тема 8. Силова електроніка для світлотехніки. системи силової електроніки для транспорту та заряджання електромобілів.

Тема 9. Основні напрямки використання пристроїв силової електроніки в інтелектуальних електричних мережах та системах.

Тема 10. Технології підвищення ефективності систем передачі та розподілу електроенергії змінним струмом. Системи FACTS.

Тема 11. Системи передачі енергії постійним струмом. системи HVDC. Особливості функціонування мереж постійно-змінного струму.

Тема 12. Системи з пристроями силової електроніки для підключення та керування джерелами розосередженої генерації.

Тема 13. Системи зарядки електромобілів. Транзисторні SiC-модулі. Випрямляч Vienna.

Тема 14. Розвиток Microgrid на основі пристроїв силової електроніки.

Тема 15. Розподільні мережі та споживачі постійного струму.

Тема 16. Твердотільні трансформатори.

Тема 17. Енергороутери на основі пристроїв постійного струму.

Тема 18. Загальні питання роботи пристроїв силової електроніки в системі.

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль.

1. Силова електроніка, інтелектуальна мережа та системи відновлювальної енергії.

2. Загальна характеристика пристроїв силової електроніки.

3. Загальна характеристика системи, технічна система.

4. Системний підхід і системний аналіз.

5. Загальна характеристика систем з пристроями силової електроніки.

6. Основні типи та характеристики перетворювачів електроенергії.

7. Особливості побудови та режими роботи систем з пристроями силової електроніки.

8. Принципи реалізації системного підходу при побудові систем з пристроями силової електроніки.

9. Особливості аналізу процесів енергообміну в системах з пристроями силової електроніки.

10. Система критеріїв оптимальності та обмеження.

11. Аналіз критеріїв оптимального відбору потужності.

12. Керування електроживленням в системах з пристроями силової електроніки.

13. Особливості керування режимами інтелектуальних електромереж.

14. Модульні, багаторівневі та коміркові перетворювачі. Загальні положення.

15. Паралельне з'єднання двомостових перетворювачів та широтно-імпульсних перетворювачів.

16. Паралельне з'єднання автономних інверторів.
17. Багатомостові схеми випрямлячів.
18. Реверсивні перетворювачі електроенергії, реверсивний широтно-імпульсний перетворювач.
19. Особливості роботи реверсивних випрямлячів.
20. Процес реверсу струму під час роботи випрямляча на активно-індуктивне навантаження та на проти-ЕРС.
21. Сумісне та роздільне керування реверсивними випрямлячами.
22. Обмеження зрівняльних струмів при сумісному керуванні.
23. Помножувачі випрямленої напруги на основі конденсаторно-діодних ланок.
24. Дільники випрямленої напруги на основі конденсаторно-діодних ланок.
25. Багаторівневі перетворювачі електроенергії.
26. Схеми інверторів на основі конденсаторів з діодним блокуванням.
27. Перетворювачі з комірково-гніздовою структурою конденсаторів.
28. Класифікація та типи ДБЖ з пристроями силової електроніки.
29. Модульний принцип побудови ДБЖ з пристроями силової електроніки.
30. Системи безперебійного живлення з трифазним входом і трифазним виходом потужністю від 40 до 200 кВА.
31. Організація паралельної роботи джерел живлення змінного струму.
32. Принципи керування джерелами безперебійного живлення.
33. Системи гарантованого електропостачання.
34. Показники якості електроенергії.
35. Пристрої силової електроніки для електротехнологій.
36. Підвищення енергоефективності систем електропостачання промислових споживачів постійного струму на основі активних перетворювачів електроенергії.
37. Особливості систем електропостачання загального призначення з пристроями силової електроніки.
38. Технологічні установки як джерела вищих гармонік.
39. Нормалізація та регулювання показників якості електроенергії.
40. Статичні компенсатори реактивної потужності.
41. Основна характеристика силових активних фільтрів.
42. Коректори коефіцієнта потужності випрямлячів.
43. Принципи реалізації активних силових фільтрів.
44. Гібридні фільтри.
45. Схемні варіанти систем активної фільтрації (САФ) та типи їх підключення.
46. Компенсація реактивної потужності та вищих гармонік.
47. Силова електроніка для світлотехніки.
48. Електротехнічні системи наземного транспорту.
49. Електротехнічні системи суден та авіакосмічної техніки.
50. Авіаційні електротехнічні системи та електроживлення ракетних комплексів.
51. Базові аспекти комплексного використання відновлюваних джерел енергії для заряджання електромобілів.
52. Об'єктивні передумови для переозброєння електроенергетики України на новій технологічній основі шляхом створення Smart Grid з використанням пристроїв силової електроніки.
53. Пристрої регулювання (компенсації) реактивної потужності та напруги, що підключаються до мереж паралельно.
54. Пристрої регулювання параметрів мережі (опору мережі), що підключаються у мережі послідовно.
55. Пристрої, що поєднують функції перших двох груп – пристрої поздовжньо-поперечного включення.

56. Пристрої обмеження струмів короткого замикання.
57. Накопичувачі електричної енергії для електроенергетичних систем.
58. Перетворювачі роду струму (змінний струм у постійний і постійний струм у змінний).
59. Технологій збільшення ефективності систем передачі і розподілу електроенергії.
60. Еволюція технологій і пристроїв компенсації реактивної потужності.
61. Гнучкі системи передачі змінного струму FACTS.
62. Установки синхронної компенсації реактивної потужності.
63. Системи передачі змінного струму FACTS – підвищення якості роботи електричних мереж.
64. Схеми електропередачі та вставок постійного струму.
65. HVDC – системи постійного струму високої напруги.
66. Типи схем HVDC.
67. Особливості функціонування електромереж постійно-змінного струму.
68. Особливості застосування ВДЕ як джерел розосередженої генерації.
69. Технічні особливості підключення джерел розосередженої генерації.
70. Основні способи підключення фотоелектричних панелей.
71. Основні способи підключення вітроенергетичних установок.
72. Способи підключення двигунів внутрішнього згорання.
73. Способи підключення акумуляторних батарей.
74. Способи підключення мікротурбін.
75. Конфігурації паливних елементів, способи підключення паливних елементів.
76. Основні способи підключення маховиків.
77. Особливості побудови схем інверторів.
78. Режим зарядки електромобілів.
79. Швидка зарядка акумуляторів електромобілів.
80. Станції зарядки електромобілів: перспективи.
81. Комбінована система заряджання – Combined Charging System.
82. Інфраструктура електрозарядних станцій для електромобілів, системи групової зарядки.
83. Силова електроніка для зарядки електромобілів.
84. Особливості побудови зарядних пристроїв потужністю 350 кВт на транзисторних модулях Infineon
85. Випрямляч Vienna.
86. Інфраструктура електрозарядних станцій для електромобілів фірми SIEMENS. Системи групової зарядки.
87. Основна архітектура та загальні характеристики Microgrid.
88. Співставна характеристика Microgrid змінного та постійного струму.
89. Microgrid змінного струму; архітектура Microgrid змінного струму.
90. Microgrid постійного струму; архітектура Microgrid постійного струму.
91. Гібридні Microgrid (постійного та змінного струму).
92. Керування електромагнітними процесами в Microgrid.
93. Драйвери попиту на перехід до електроживлення постійним струмом.
94. Архітектури розподільних мереж мікрорайону на постійному струмі і оцінки її порівняльної ефективності.
95. Перетворювачі постійного струму (DC / DC) для будівель з послідовним зниженням напруги до 440 та 220 В.
96. Переваги електроживлення локальних навантажень на постійному струмі у порівнянні з електроживленням на змінному струмі; потенціал енергоефективності.
97. Лінії електроживлення низької напруги. Енергопостачання локальних об'єктів, мікро- і міні-мережі постійної напруги.
98. Схемотехнічні рішення для інтеграції в існуючі системи змінного струму.

99. Загальна характеристика особливостей побудови та застосування твердотільних 1. трансформаторів.

100. Схемотехнічні рішення твердотільних трансформаторів.

101. Практичне застосування твердотільних трансформаторів.

102. Сучасні вимоги цифровізації електроенергетичних систем та мереж.

103. Основні характеристики інтелектуальних гібридних систем електроживлення

104. Загальні вимоги до побудови енергорутерів.

105. Структурні схеми та схемотехнічні рішення енергорутерів.

106. Режим роботи та особливості застосування енергорутерів.

107. Основні вимоги до силових електронних пристроїв.

108. Електромагнітна сумісність пристроїв силової електроніки на системному рівні.

109. Технічні та організаційні заходи забезпечення електромагнітної сумісності.

110. Технічні умови інтеграції розосереджених джерел генерації електроенергії в електроенергетичну систему.

Здобувач вищої освіти має можливість пройти онлайн курс(и) за однією або декількома темами, передбаченими робочою програмою навчальної дисципліни. Онлайн курс здобувач може обрати самостійно або за рекомендацією викладача. 1 год прослуханого курсу оцінюється у 0,83 бали. Максимальна кількість годин, яка може бути зарахована за результатами неформальної освіти, становить 12 год, відповідно максимальна кількість балів за такі результати становить – 10 балів.

Для самостійного вивчення пропонуються відносно прості запитання, які носять у більшості випадків описовий характер, призначені для розширення кругозору студентів та повторення матеріалів, які вивчались у інших дисциплінах, та мають безпосереднє відношення до дисципліни.

Методи та форми навчання включають не лише традиційні університетські лекції та практичні заняття, а також елементи роботи в командах та групових дискусій. Застосовуються стратегії активного навчання, які визначаються такими методами та технологіями: методи проблемного навчання (дослідницький метод); особистісно-орієнтовані технології, засновані на таких формах і методах навчання як кейс-технологія і проектна технологія; візуалізація та інформаційно-комунікаційні технології, зокрема електронні презентації для лекційних занять. Комунікація з викладачем будується за допомогою використання інформаційної системи «Електронний кампус», платформи дистанційного навчання «Сікорський» на базі G Suite for Education, а також такими інструментами комунікації, як електронна пошта і Telegram. Під час навчання та для взаємодії зі студентами використовуються сучасні інформаційно-комунікаційні та мережеві технології для вирішення навчальних завдань.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: професором кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів (АЕМК), доктором технічних наук, професором

Юрченком Олегом Миколайовичем

Ухвалено кафедрою АЕМК (протокол № 21 від 07.06.2023 р.).

Погоджено Методичною радою інституту (протокол № 9 від 22.06.2022 р.).