



Використання засобів силової електроніки в активних системах розподілу електричної енергії

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	14 «Електрична інженерія»
Спеціальність	141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма	ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, перший семестр
Обсяг дисципліни	90 годин / 3 кредити ECTS
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік, МКР, РР
Розклад занять	18 год. – лекцій, 9 год. – практичних занять, 63 год. – самостійна робота
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: докт. техн. наук, проф. Денисюк Сергій Петрович, spdens.ukr@ukr.net Практичні: канд. техн. наук, доцент Дерев'янко Денис Григорович, dereviankodenys@gmail.com
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 «Використання засобів силової електроніки в активних системах розподілу електричної енергії» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Нові виклики майбутніх електромереж вимагають кваліфікованих та досвідчених вчених, здатних вирішувати мультидисциплінарні проблеми, пов'язані з перетворенням електроенергії, підвищенням ефективності передачі та розподілу електроенергії, забезпечення заданих показників якості електроенергії в системах розподілу електричної енергії, інтеграцією систем відновлюваної енергетики та енергоефективністю. Ця дисципліна дозволить аспірантам отримати знання та практичні навички для аналізу, проектування та застосування пристроїв силової електроніки, зокрема, в активних системах розподілу електроенергії, отримати теоретичні знання та навички для подальших досліджень в електроенергетичних системах та новітніх технологіях інтелектуальних мереж. Студенти застосовуватимуть ці навички при проектуванні та впровадженні засобів силової електроніки для різних промислових застосувань.

Метою навчальної дисципліни є професійна підготовка аспірантів і здобувачів, орієнтована на розвиток професійних компетенцій молодих вчених у сфері застосування пристроїв силової електроніки в системах енергозабезпечення та розподілу електроенергії, формування у молодих вчених розуміння принципів побудови активних систем розподілу електричної енергії з пристроями силової електроніки в умовах широкого використання розосереджених засобів генерування та акумулювання електроенергії, отримання знань, умінь та навиків аналізу енергетичних процесів в зазначених системах, обґрунтованого вибору пристроїв силової електроніки для побудови та керування їх роботою, підвищення якості електроенергії. Важливим завданням дисципліни є ознайомлення аспірантів з досвідом застосування передових силових електронних технологій та

реалізацій для різних сфер застосування, включаючи дизайн силових електронних перетворювачів, а також з світовим досвідом реформування сектору розподілу електричної енергії з широким залученням сучасних інформаційних технологій, засобів силових електроніки при використанні положень концепції Smart Grid.

Предметом навчальної дисципліни є формування у аспірантів теоретичних знань та практичних навичок підвищення якості електроенергії в електричних мережах, інтеграції локальних джерел енергії в розподільні мережі за допомогою використання пристроїв силових електроніки для забезпечення їх узгодженого спільного функціонування, побудова локальних систем енергозабезпечення (Microgrid) для створення умов для забезпечення високого рівня надійності електропостачання, якості електричної енергії, мінімізації втрат електроенергії. Отриманні знання дадуть аспірантам змогу: класифікувати різні типи пристроїв силових електроніки; аналізувати основні алгоритми керування потоками електроенергії; розуміти і використовувати характеристики пристроїв силових електроніки, інтелектуальних силових модулів в активних систем розподілу електричної енергії; самостійно проводити побудову силових електронних вузлів електроенергетичних та електротехнічних комплексів, долучитися до вирішення складних питань комплексної модернізації розподільних мереж з залучення сучасних технічних рішень, їх розвитку та подальшого децентралізованого керування режимами в ринкових умовах; розуміти роль світових вчених в цілому, та України, зокрема, в розвитку сучасних пристроїв силових електроніки як основи побудови інтелектуальних електроенергетичних систем і мереж.

Програмні результати навчання:

Компетенції: (СК01) здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання в електричній інженерії та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з електричної інженерії та суміжних галузей; (СК02) здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та англійською мовами, глибоке розуміння англійських наукових текстів за напрямом досліджень; (СК03) здатність вирішувати проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних об'єктів і систем, зумовлених необхідністю забезпечення сталого розвитку; (СК05) здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в галузі електричної інженерії, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

Знання: (РН01) передові концептуальні та методологічні знання з електричної інженерії і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

Уміння: (РН03). Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у електричній інженерії та дотичних міждисциплінарних напрямках; (РН08) Уміти розробляти техніко-економічне обґрунтування проєктів з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки та оцінювати економічну ефективність їх впровадження; (РН05) глибоко розуміти загальні принципи та методи технічних наук, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у галузі електричної інженерії та у викладацькій практиці.

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

Підвищення якості електроенергії в електричних мережах, інтеграції локальних джерел енергії в розподільні мережі за допомогою використання пристроїв силових електроніки для забезпечення їх узгодженого спільного функціонування, побудова локальних систем енергозабезпечення (Microgrid) вимагає знання теоретичних основ електротехніки, промислової електроніки, класичної та сучасної теорії автоматичного керування, вищої та обчислювальної математики, володіння навичками програмування, аналізу та структурного моделювання. Кредитний модуль «Використання засобів силових електроніки в активних системах розподілу електричної енергії» потребує знання і навичок, придбаних при вивченні дисциплін з побудови та оцінки ефективності функціонування електроенергетичних мереж та систем, інформаційно-комунікаційних технологій. Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти «Іноземною мовою для наукової

діяльності», оскільки значна частина новітніх технологій описується в науковій літературі англійською мовою. Компетенції, знання та уміння, одержані в процесі вивчення кредитного модуля, є необхідними для виконання наукових досліджень за темою кандидатської дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Сучасні технології перетворювальної техніки. Силова електроніка як базова технологія вирішення мультидисциплінарних проблем, побудова вискоєфективних систем енергозабезпечення, передачі та розподілу електроенергії.

Тема 1. Вступ. Силова електроніка, інтелектуальні електроенергетичні системи, мережі та обладнання (пристрої), системи з відновлюваними джерелами енергії.

Тема 2. Силові напівпровідникові прилади для інтелектуальних електроенергетичних мереж та систем.

Тема 3. Сучасна перетворювальна техніка (енергетична електроніка). Багаторівневі перетворювачі: фундаментальні схеми та системи; методи керування та модуляції сигналів для їх експлуатації та промислового застосування.

Тема 4. Зберігання енергії та технології силовій електроніки як базова структура для прискорення переходу до інтелектуальної мережі. Твердотільні трансформатори.

Тема 5. Керування в інтелектуальних мережах з пристроями силовій електроніки: архітектури систем керування та структура алгоритмів керування.

Розділ 2. Пристрої силовій електроніки в системах енергозабезпечення та розподілу електричної енергії.

Тема 6. Системи передачі та перетворення електроенергії на постійному струмі, роль HVDC в інтелектуальних електромережах.

Тема 7. Гнучкі системи передачі змінного струму (FACTS) та гнучкі системи розподілу електроенергії змінного струму (RACDS) в інтелектуальних електромережах.

Тема 8. Системи вітрової енергії. Сонячні фотоелектричні енергетичні системи.

Тема 9. Аналіз та моделювання систем з пристроями силовій електроніки; програмне забезпечення розрахунку та оптимізації електроенергетичних процесів.

Модульна контрольна робота (МКР).

Розрахункова робота (РР).

Залік.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

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

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

3. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. – К.: Текст, 2010. – 264 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. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.

Додаткові:

6. Жуйков В.Я., Денисюк С.П., Мельничук Г.В. Моделювання систем з перетворювачами електроенергії з циклічно-змінюваними параметрами. – К.: Наш формат, 2018. – 165 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. Power electronics handbook / Editor-in-chief. Muhammad H. Rashid. – San Diego, California:

ACADEMIC PRESS, 2006. – 892 p.

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

11. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632 с.

12. 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, Vol. 59, No. 4, 2011.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Назви розділів і тем	Кількість годин			
	Всього	у тому числі		
		Лекції	Практичні (семінарські)	Самостійна робота студента
1	2	3	4	5
Розділ 1. Сучасні технології перетворювальної техніки. Силова електроніка як базова технологія вирішення мультидисциплінарних проблем, побудова високоефективних систем енергозабезпечення, передачі та розподілу електроенергії.	35	10	3	22
Розділ 2. Пристрої силових електроніки в системах енергозабезпечення та розподілу електричної енергії.	33	8	3	22
Модульна контрольна робота	6		2	4
РР	9			9
Залік	7		1	6
Всього годин	90	18	9	63

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	Вступ. Силова електроніка, інтелектуальні електроенергетичні системи, мережі та обладнання (пристрої), системи з відновлюваними джерелами енергії. <i>Літературні джерела</i> [1,2,3,5,6]
2	Силові напівпровідникові прилади для інтелектуальних електроенергетичних мереж та систем. Розгляд сучасних силових напівпровідникових приладів для застосування в інтелектуальних мережах та системах відновлюваної енергії. <i>Літературні джерела</i> [1,2,5,8,9,10,12]
3	Сучасна перетворювальна техніка (енергетична електроніка). Багаторівневі перетворювачі: фундаментальні схеми та системи; методи керування та модуляції для їх експлуатації та промислового застосування. Багаторівневі перетворювачі високої та середньої напруги на основі сучасних технологій силових електроніки. <i>Літературні джерела</i> [2,4,5,11]
4	Зберігання енергії та технології силових електроніки як базова структура для прискорення переходу до інтелектуальної мережі. Твердотільні трансформатори. Нові технології

	зберігання енергії, з високим потенціалом забезпечення основних потреб розробки інтелектуальної мережі. Твердотільні трансформатори середньої та низької напруги. <i>Літературні джерела</i> [5,6,10,13]
5	Керування в інтелектуальних мережах з пристроями силової електроніки: архітектури систем керування та структура алгоритмів керування. Роль вдосконалених систем керування у системах розподілу електроенергії: сьогодення та майбутнього. <i>Літературні джерела</i> [1,3,4,5,6,7,11]
6	Системи передачі та перетворення електроенергії на постійному струмі, HVDC в інтелектуальних електромережах. Вставки постійного струму. Системи розподілу електроенергії на постійному струмі. <i>Літературні джерела</i> [5,6,10,11]
7	Гнучкі системи передачі змінного струму (FACTS) та гнучкі системи розподілу електроенергії змінного струму (RACDS) у інтелектуальних мережах. Огляд спроб модернізації технології FACTS, що призводить до її використання у інтелектуальних електромережах. Розширення технології FACTS до системи розподілу електроенергії змінного струму (RACDS) для втілення переходу до інтелектуального розподілу електроенергії. <i>Літературні джерела</i> [4,5,6,10,11,13]
8	Системи вітрової енергії. Сонячні фотоелектричні енергетичні системи. Огляд технології силової електроніки, що використовуються у системах вітрогенерації та побудови фотоелектричних систем. <i>Літературні джерела</i> [4,5,6,9,12,13]
9	Аналіз та моделювання систем з пристроями силової електроніки; програмне забезпечення розрахунку та оптимізації електроенергетичних процесів. Сучасний стан та стратегії майбутніх реалізацій моделювання та симуляції систем розподілу електроенергії. <i>Літературні джерела</i> [1,2,3,7,10]

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Аналіз якості електроенергії та складових потужності.
2	Синтез вихідної напруги системи.
3	Аналіз стійкості роботи системи (FACTS).
4	Застосовування аналітичних та моделюючих методів для розрахунку енергетичних характеристик пристроїв силової електроніки.
5	Оцінка ефективності роботи відповідних пристроїв силової електроніки, їх компонентів або електромагнітних процесів.
4	Модульна контрольна робота.
5	Залік.

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
------	------------------------	---------------------

1	Підготовка до аудиторних занять	44
2	Розрахункова робота	9
3	Підготовка до МКР	4
4	Підготовка до заліку	6
Всього годин:		63

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях та в процесі самостійної роботи аспіранта.

- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, які передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;

- правила захисту індивідуальних завдань: захист розрахункової роботи з дисципліни здійснюється індивідуально і лише у випадку, коли студент не погоджується із нарахованими балами за результатами перевірки РР (за умови дотримання календарного плану її виконання); захист реферату з дисципліни здійснюється індивідуально у формі презентації перед аудиторією на останньому практичному занятті;

- політика дедлайнів та перескладань: несвоєчасне виконання РР передбачає нарахування штрафних балів. Якщо студент не приймав участі або не з'явився на МКР, його результат оцінюється у 0 балів.

- політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, у тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Загальні принципи побудови та управління активними системами розподілу електричної енергії»

- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соціальних мережах, тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

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

Поточний контроль: експрес-опитування, МКР.

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

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: повний конспект лекцій, мінімально позитивна оцінка за розрахункову роботу та МКР, семестровий рейтинг більше 54 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре

84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

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

- відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- проведення досліджень на практичних заняттях;
- виконання розрахункової роботи (РР);
- виконання однієї модульної контрольної роботи (МКР);
- складання заліку.

Експрес-опитування	Практичні заняття	РР	МКР	Рс	Рзал	Р
18	30	24	24	90	10	100

Відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях

Ваговий бал – 1.

Максимальна кількість балів на всіх лекціях (при двох правильних відповідях на лекції) – $2 \text{ бал} * 9 = 18 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання

- правильні відповіді на одне питання з місця – 1;

Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 10.

Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях – $10 \text{ балів} * 3 = 30 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання

- самостійне розв'язання задачі, вільне володіння темою заняття – 10;
- розв'язання задачі за допомогою викладача, володіння окремими розділами теми заняття – 5;

Індивідуальне семестрове завдання (РР)

Згідно з робочою навчальною програмою кожен аспірант виконує розрахункову роботу.

Максимальна кількість балів за виконання ДКР – 24.

Критерії оцінювання

- повне, точне і вчасне виконання – 24 бали;
- розрахунок є окремими несуттєвими помилками – 16...20 балів;
- розрахунок неповний, є окремі помилки – 10...14 балів;
- розрахунки містять суттєві помилки 6-10 балів
- розрахунок неправильний – 0 балів;
- на виконання РР відводять 6 тижнів з моменту видачі завдання; здача РР після встановленого терміну передбачає нарахування штрафного балу -2 за кожен тиждень понад встановлений термін.

Модульна контрольна робота

Ваговий бал кожної частини МКР (містить дві частини) – 9.

Максимальний бал за МКР – $2 * 9 = 18$.

Критерії оцінювання

- правильне розв'язання 2 задач – 18 балів;
- часткове розв'язання задач, наявність незначних помилок – 12-16 балів;
- правильне розв'язання 1 задачі – 9 балів;
- відсутність відповіді – 0 балів.

Індивідуальне додаткове семестрове завдання (реферат)

Максимальна кількість балів за виконання індивідуального додаткового семестрового завдання (реферат) – 20.

Критерії оцінювання

- повне і вчасне виконання без елементів плагіату (менше 10%) – 20 балів;
- неповне висвітлення теми реферату та/або наявність плагіату на рівні від 10 до 30 % – 7...11 балів;
- неповне висвітлення теми реферату та/або наявність плагіату на рівні від 30 до 50 % – 1...6 балів;
- неповне висвітлення теми реферату та/або наявність плагіату на рівні більше 50 % – 0 балів.

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці.

Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації.

Умовою допуску до заліку є повний конспект лекцій, зарахування РР, зарахування МКР та стартовий рейтинг не менше 54 балів.

Форма семестрового контролю – залік

На заліку студенти усно відповідають на питання. Запитання (завдання) оцінюється у 10 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 9-10 балів;
- «дуже добре», достатньо повна відповідь, не менше 85% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 8-9 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 7-8 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 65% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 6-7 балів;
- «достатньо», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 5-6 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

Оцінювання результатів навчання (PCO)

Сума стартових балів та балів за усну відповідь на заліку переводиться до оцінки згідно з таблицею:

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Бали	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Відсутній повний конспект лекцій, не зараховано РР, не зараховано МКР чи стартовий рейтинг менше 54 балів.	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- За участь в науково-дослідній роботі з виступом на конференції аспірант отримує 10 заохочувальних балів, які додаються до загальної суми, якщо вона менша 100.
- За проект тез по проблематиці дисципліни аспірант отримує 10 заохочувальних балів, за проект наукової статті для фахового видання аспірант отримує 20 балів.

Вибір теми реферату (індивідуального додаткового семестрового завдання)

Тема реферату формується лектором таким чином, щоб вона максимально наближалася до сфери інтересів теми дисертаційного дослідження студента та дозволила висвітлити сучасний стан технологій електромеханічних систем в цій сфері.

Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль:

1. Сучасні технології перетворювальної техніки.
2. Силова електроніка як базова технологія вирішення мультидисциплінарних проблем, побудови високоефективних систем енергозабезпечення, передачі та розподілу електроенергії.
3. Силова електроніка, інтелектуальні електроенергетичні системи, мережі та обладнання (пристрої), системи з відновлюваними джерелами енергії.
4. Силові напівпровідникові прилади для інтелектуальних електроенергетичних мереж та систем.
5. Сучасна перетворювальна техніка (енергетична електроніка).
6. Багаторівневі перетворювачі: фундаментальні схеми та системи.
7. Методи керування та модуляції сигналів для їх експлуатації та промислового застосування.
8. Зберігання енергії та технології силових електроніки як базова структура для прискорення переходу до інтелектуальної мережі.
9. Твердотільні трансформатори.
10. Керування в інтелектуальних мережах з пристроями силових електроніки: архітектури систем керування та структура алгоритмів керування.
11. Пристрої силових електроніки в системах енергозабезпечення та розподілу електричної енергії.
12. Системи передачі та перетворення електроенергії на постійному струмі.
13. Особливості застосування HVDC в інтелектуальних електромережах.
14. Гнучкі системи передачі змінного струму (FACTS) та гнучкі системи розподілу електроенергії змінного струму (RACDS) у інтелектуальних електромережах.
15. Системи вітрової енергії.
16. Сонячні фотоелектричні енергетичні системи.
17. Аналіз та моделювання систем з пристроями силових електроніки.
18. Програмне забезпечення розрахунку та оптимізації електроенергетичних процесів.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором кафедри електропостачання ІЕЕ д.т.н., професором Денисюком С.П.

Ухвалено кафедрою електропостачання ІЕЕ (протокол № 14 від 30.06.2020)

Погоджено Методичною комісією інституту (протокол №1 від 31.08.2020 р.)