



МОНІТОРИНГ, КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>90 годин / 3 кредита ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/МКР/РГР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ViewSchedule.aspx?v=b7b1fd68-85bb-4080-962e-7a9829f6fdec</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор, Яндульський Олександр Станіславович, тел. 0972648742 к.т.н., доцент Дмитренко Олександр Олексійович, тел. 0672382408</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom https://classroom.google.com/c/MTg0NTQ4OTQ1NDlw=fszhfo5</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Моніторинг, керування та захист електроенергетичних систем та електротехнічних комплексів» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки аспіранта з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

***Метою навчальної дисципліни** є формування у аспірантів системи здатностей ставити та розв'язувати комплексні наукові задачі під час дослідницько-інноваційної діяльності у сфері систем управління виробництвом та розподілом електроенергії, а саме - отримання глибинних знань з теоретичних основ та принципів технічної реалізації пристроїв та систем моніторингу, керування, захисту та передачі інформації.*

***Предмет навчальної дисципліни** – фізичні явища та процеси в електроенергетичних системах та електротехнічних комплексах при збуреннях; методи дослідження та демпфування низькочастотних коливань; методи та засоби підвищення ефективності систем керування електроенергетичними об'єктами, підходи до побудови систем моніторингу, керування захисту електроенергетичних об'єктів.*

Програмні результати навчання:

Компетенції: (СК03) здатність вирішувати проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних об'єктів і систем, зумовлених необхідністю забезпечення сталого розвитку шляхом розробки та застосування новітніх систем управління, захисту та автоматизації; (СК06) здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в галузі електричної інженерії в цілому та в галузі управління виробництвом та розподілом електроенергії, зокрема, та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації.

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 в галузі управління виробництвом та розподілом електроенергії.

Уміння: (РН08) розробляти техніко-економічне обґрунтування проектів з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки та оцінювати економічну ефективність їх впровадження.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти: теоретичною базою дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Теоретичні основи електротехніки», «Електрична частина станцій і підстанцій», «Електричні мережі та системи», «Перехідні процеси в електроенергетиці», «Промислова електроніка», «Теорія автоматичного керування», "Релейний захист та автоматизація енергосистем", а також «Іноземною мовою для наукової діяльності», оскільки значна частина літератури з дисципліни написана англійською мовою. Компетенції, знання та уміння, одержані в процесі вивчення кредитного модуля є необхідними для вивчення дисципліни " Методи дослідження, формування та керування інтелектуальними енергетичними системами та комплексами" та подальшого якісного виконання наукових та експериментальних досліджень за темою дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розподілено на **5 розділів**, а саме:

Розділ 1. Стан та основні напрямки підвищення ефективності керування електроенергетичною системою, до якої увійшли:

- Узагальнена характеристика магістральних і розподільних мереж та об'єднаної електроенергетичної системи (ЕЕС);
- Стан та основні напрямки розвитку систем керування ЕЕС;
- Підвищення ефективності керування ЕЕС з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ).

Розділ 2. Моніторинг параметрів ЕЕС з ВДЕ в перехідних режимах, до якого увійшли:

- Вплив ВДЕ та організаційно-технічних заходів на порушення стійкості ЕЕС при збуреннях;
- Низькочастотні коливання (НЧК) в ЕЕС при збуреннях.

Розділ 3. Демпфування низькочастотних коливань в ЕЕС, до якого увійшли:

- Підходи та основні етапи демпфування НЧК;
- Спектральний аналіз, кластеризація та оптимальне демпфування на основі прогнозуючої моделі;
- Віртуальна інерція ВДЕ.

Розділ 4. Інтелектуальні електропостачальні системи, до якого увійшли:

- Інтелектуальні підстанції 220-750 кВ
- Диспетчерські центри;
- Передача даних в SCADA-системах.

Розділ 5. Автоматизація розподільних електричних мереж (РЕМ) та системи управління, до якого увійшли:

- **Автоматизація РЕМ: призначення, перелік підсистем, їх функції та інтеграція;**
- **SMART-GRID концепції для управління РЕМ.**

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электроэнергетических систем. - М. Энергоатомиздат. 1992.
2. Design of Smart power grid. Renewable Energy systems/ Ali Keyrani. 2011. John Weley.
3. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. С. Яндульський, О. О. Дмитренко ; НТУУ «КПІ». – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 103 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/16600>
4. Э.М. Шнеерсон. Дистанционные защиты. – М.: Энергоатомиздат, 2007, 547 с.
5. Математичне моделювання систем та процесів. Математичне забезпечення мікропроцесорних пристроїв релейного захисту і автоматики електроенергетичних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. С. Яндульський, О. О. Дмитренко; під заг. ред. О. С. Яндульського ; НТУУ «КПІ». – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 60 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/16601>
6. Регулювання частоти та потужності електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії: монографія / О. С. Яндульський, А.Б. Нестерко, О.В. Тимохін, Г.О. Труніна. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 200 с.
7. Темников Ф.Е., Афонин В.А., Дмитриев В.И. Теоретические основы информационной техники. Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. – 512 с. с ил.
8. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов: Учебник для вузов. – М.: Связь, 1980. – 288 с. с ил.
9. Power system SCADA and Smart grids/ Mini S. Thomas, John D. MC Donald.
10. Белоус Б.П. Средства связи диспетчерского и технологического управления энергосистем: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1978. – 296 с. с ил.
11. Кловский Д.Д., Шилкин В.А. Теория передачи сигналов в задачах: Учебное пособие для вузов. – М.: Связь, 1978. – 252 с. с ил.
12. Релейний захист. Частина 1. Основи релейного захисту. Основи релейного захисту та автоматизації електричних систем [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання модульної контрольної роботи (для студентів денної форми навчання), домашньої контрольної роботи (для студентів заочної форми навчання). Розрахунок параметрів спрацювання захистів за струмом електричних мереж 6 – 35 кВ / НТУУ «КПІ» ; уклад. О. О. Дмитренко. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 49 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/9321>
13. Релейний захист. Частина 2: Основи релейного захисту [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання розрахунково–графічної роботи «Дослідження двоступеневого струмового захисту з незалежною витримкою часу» / НТУУ «КПІ» ; уклад. О. О. Дмитренко, В. М. Хлистов. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 14 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/9337>

Додаткові:

14. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. - М. Высшая школа. 1991.
15. Овчаренко Н.И. Микропроцессорные комплексы релейной защиты и автоматики распределительных электрических сетей. М.: НТФ «Энергопрогресс», 1999- 64 с.; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу "Энергетик"; Вып. 7(1 О)].

16. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Релейний захист. Частина 2 «Мікропроцесорні пристрої РЗА закордонних виробників. Пристрої виробництва АВВ» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка // Уклад.: О.О. Дмитренко, В.В. Заколюдажний – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 8 с.
17. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Релейний захист. Частина 2 «Мікропроцесорні пристрої РЗА вітчизняних та закордонних виробників» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка// Уклад.: О.О. Дмитренко, В.В. Заколюдажний, В.В. Мацейко –К.: НТУУ «КПІ», 2017.- 8 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	Тема лекції 1. Узагальнена характеристика магістральних і розподільних мереж та об'єднаної електроенергетичної системи (ЕЕС). Перелік факторів, які впливають на стан ЕЕС, оцінка стану магістральних і розподільних мереж. «Віковий» діапазон основного обладнання. Добові графіки споживання. Енергоємність ВВП країн. Літературні джерела: [], презентація
2	Тема лекції 2. Підвищення ефективності керування ЕЕС з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ). Стан системи оперативного керування об'єднаної ЕЕС (ОЕС) України. Системи моніторингу режимів, інтелектуальні підстанції, гнучкі лінії змінного струму, протиаварійна автоматика нового покоління – як основні напрямки розвитку СК ЕЕС. Енергетичний потенціал ВДЕ. Інерція ЕЕС. Літературні джерела: [], презентація
3	Тема лекції 3. Вплив ВДЕ та організаційно-технічних заходів на порушення стійкості ЕЕС при збуреннях. Динамічні процеси в ОЕС. Основні рівняння сумарної інерції ОЕС при впровадженні ВДЕ. Аналіз аварій в ЕЕС різних країн, пов'язаних з низькочастотними коливаннями (НЧК) Літературні джерела: [], презентація
4	Тема лекції 4. Низькочастотні коливання (НЧК) в ЕЕС при збуреннях. Стан моніторингу НЧК в ОЕС. Аналіз методів досліджень НЧК. Результати експериментальних досліджень НЧК при збуреннях в ОЕС України. Основні властивості НЧК. Рекомендації щодо зменшення впливу НЧК на регулювання перетоків потужності у міждержавних і внутрішніх перетинах. Літературні джерела: [], презентація
5	Тема лекції 5. Підходи та основні етапи демпфування НЧК. Аналіз підходів до демпфування. Вибір оптимального розташування та потужності пристроїв демпфування. Демпфування НЧК в ОЕС України. Спектральний аналіз збурень. Модель ЕЕС оптимальне демпфування. Прогнозуюча модель. Літературні джерела: [], презентація
6	Тема лекції 6. Віртуальна інерція ВДЕ. Поняття «Віртуальна інерція (ВІ) ВДЕ». Структурні схеми контролерів ВІ у складі систем керування вітрових і сонячних електростанцій. Підходи до обмеження потужності сонячних електростанцій для забезпечення резервів потужності для інерційного відгуку. Літературні джерела: [], презентація
7	Тема лекції 7. Інтелектуальні підстанції 220-750 кВ. Архітектура. Функції підсистем. SCADA: склад, віддалені термінами RTU. Інтелектуальні електронні пристрої (ІЕД): пристрої РЗА, програмуємі логічні пристрої, пристрої керування вимикачами/роз'єднувачами. Концентратори даних. Новітні цифрові підстанції.

	Літературні джерела: [], презентація
8	Тема лекції 8. Диспетчерські центри . Основні функції. Система управління енергією (EMS). Інтерфейс: людина-машина. Обробка даних та зберігання. Літературні джерела: [], презентація
9 10 11	Тема лекцій 9,10,11. Передача даних в SCADA-системах . Типи даних і сигналів в SCADA-системах. Вимоги. Топологія. Компоненти систем передачі даних (ПД). Передача цифрових сигналів. Завади. Модуляція/демодуляція. Режими: синхронний. Виявлення помилок. Класифікація кодів. Коди Хемінга і з перевіркою на парність. Методи обробки сигналів. Архітектура протоколів ПД в SCADA. Еволюція протоколів. IEC 60870-5/104, DNP3, IEC 61850. С37.118. Лінії зв'язку для SCADA: коаксіальні кабелі, оптоволокно, радіорелейні, лінії електропередачі і РЕМ. Літературні джерела: [], презентація
12	Тема лекції 12. Автоматизація РЕМ: призначення, перелік підсистем, їх функції та інтеграція . Автоматизація споживачів, приєднань, підстанцій. Пристрої захисту та автоматики – базовий елемент системи керування. Сучасні підходи до побудови захисту ліній електропередачі, силових трансформаторів та двигунів в РЕМ з розосередженою генерацією. Літературні джерела: [], презентація
13	Тема лекції 13. SMART-GRID концепції для управління РЕМ . Рішення для підвищення ефективності керування в ЕЕС. CIM-моделювання об'єктів ЕЕС; DMS, CIS, OMS-технології. Літературні джерела: [], презентація

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	Моделювання алгоритму двох вибірок залежно від числа вибірок миттєвих значень за період промислової частоти та при наявності у вхідному сигналі вищих гармонійних складових Література: [5]
2	Моделювання алгоритму двох вибірок при роботі обладнання в мережі із коливаннями частоти Література: [5].
3	Моделювання алгоритму двох вибірок при роботі мережі в перехідному режимі. Література: [5]
4	Код Хемінга [7,4]. Формування визначача похибки. Перевірка коду при однократних та двократних спотвореннях. Побудова декодуючого пристрою пристрою. Література: [].
5	Дослідження мікропроцесорного пристрою релейного захисту та автоматики REF615 Література: [16].
6	Дослідження мікропроцесорного пристрою релейного захисту та автоматики МРЗС-05-01 Література: [17].
7	Моделювання алгоритму фільтру Фур'є при роботі мережі в перехідному режимі Література: [5].

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	10
2	Виконання РГР	8
3	Підготовка до МКР	3

4	Підготовка до екзамену	30
---	------------------------	----

Політика та контроль

1. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- 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.;
- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та лабораторних заняттях, 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 РГР (за умови дотримання календарного плану виконання РГР);
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів: заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали. Заохочувальні бали нараховують за участь у наукових конференціях. Штрафні бали нараховують за несвоєчасне виконання РГР;
- політика дедлайнів та перескладань несвоєчасний захист РГР передбачають нарахування штрафних балів. Якщо студент не проходив або не з'явився на МКР, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР не передбачено.
- 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, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Моніторинг, керування та захист електроенергетичних систем та електротехнічних комплексів»;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка у середовищі Google Classroom) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

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

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

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

Семестровий контроль: екзамен.

1. Рейтинг здобувача з кредитного модуля розраховується зі 100 балів, з них 60 бали складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що здобувач третього рівня отримує за:

- роботу на практичних заняттях (6 занять);
- виконання розрахункової роботи;
- написання модульної контрольної роботи.

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Робота на практичних заняттях:

- бездоганна робота – 3 бали;
- є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – 1-2 бали;
- відсутність на занятті без поважних причин – штрафний –1 бал.

2.2. Виконання розрахункової роботи:

- творча робота – 12 балів;
- роботу виконано з незначними недоліками – 11-9 балів;
- роботу виконано з певними помилками – 8-7 балів;
- роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – 0 балів.

2.3. Виконання модульної контрольної роботи:

- бездоганна робота – 30 балів;
- є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – 29-24 балів;
- відсутність на занятті без поважних причин – штрафний –1 бал.

За кожний тиждень запізнення з поданням розрахункової роботи на перевірку нараховується штрафний –1 бал (усього не менше –5 балів).

3. Умовою першої атестації є отримання не менше 10 балів та виконання всіх практичних робіт (на час атестації). Умовою другої атестації – отримання не менше 27 балів, виконання всіх практичних робіт (на час атестації) та зарахування розрахункової роботи.

4. Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх практичних робіт, розрахункової роботи та стартовий рейтинг не менше 30 балів.

5. На екзамені студенти виконують тестові завдання. Тестові завдання оцінюються у 40 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 40-38 балів;
- «дуже добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 37-34 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 65% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 33-30 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 29-26 балів;
- «достатньо», неповна відповідь, менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 25-24 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

6. Сума стартових балів та балів за тестове завдання на заліку переводиться до кінцевої оцінки згідно з таблицею:

Метод оцінювання	Кількість	Мінімальна оцінка в балах	Максимальна оцінка в балах
Практичні роботи	6	11	18
РГР	1	7	12
МКР	1	24	30
Стартовий рейтинг		36	60
Іспит	1	24	40
Підсумковий рейтинг		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

3. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль

1. Узагальнена характеристика магістральних і розподільних мереж та об'єднаної електроенергетичної системи (ЕЕС).
2. Підвищення ефективності керування ЕЕС з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ).
3. Вплив ВДЕ та організаційно-технічних заходів на порушення стійкості ЕЕС при збуреннях.
4. Низькочастотні коливання (НЧК) в ЕЕС при збуреннях.
5. Підходи та основні етапи демпфування НЧК.
6. Віртуальна інерція ВДЕ.
7. Інтелектуальні підстанції 220-750 кВ.
8. Диспетчерські центри.
9. Передача даних в SCADA-системах.
10. Автоматизація РЕМ: призначення, перелік підсистем, їх функції та інтеграція.
11. SMART-GRID концепції для управління РЕМ.

Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 від 01.10.2020 ПРО ЗАТВЕРДЖЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИЗНАННЯ В КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ, НАБУТИХ У НЕФОРМАЛЬНІЙ/ІНФОРМАЛЬНІЙ ОСВІТІ

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус)

складено професором кафедри автоматизації енергосистем,
д.т.н. Яндульський О.С.

Ухвалено кафедрою автоматизації енергосистем ФЕА (протокол № 11 від 26.06.2023 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол №8 від 26.06.2023 р.)

¹Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.