



Цифрові пристрої релейного захисту та автоматики

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістр ОНП)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>УПРАВЛІННЯ, ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ, ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 годин / 5 кредитів ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / МКР / РГР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н. доц. Дмитренко Олександр Олексійович, 0672382408</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom https://</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Цифрові пристрої релейного захисту та автоматики» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки магістрів з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітні програми "Управління, захист та автоматизація енергосистем", "Електричні мережі та системи".

Метою навчальної дисципліни є формування у слухачів системи здатностей з опанування знань з теоретичних основ та принципів технічної реалізації мікропроцесорних пристроїв релейного захисту та автоматики електроенергетичних систем, методів та способів цифрового вимірювання аналогових сигналів.

Предмет навчальної дисципліни –принципи побудови та алгоритми функціонування мікропроцесорних пристроїв релейного захисту (МП РЗА) та найбільш важливої ланки таких пристроїв - цифрових фільтрів, моделювання, проведення досліджень ефективності цифрових фільтрів, аналіз отриманих результатів із використанням сучасних інтелектуальних, інформаційних комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Програмні результати навчання:

Компетенції:

ЗК02. Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК03. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ФК04. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

ФК09. Здатність використовувати програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування, автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки або конструювання елементів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.

ФК18. Здатність визначати типи протиаварійної автоматики та систем керування, необхідні для забезпечення функціонування електроенергетичного обладнання в нормальних та аварійних режимах, та виконувати розрахунки параметрів їх налаштування.

ФК21. Здатність розуміти принципи організації та особливості функціонування інформаційно-управляючих систем та засобів збереження інформації в електроенергетиці.

Знання:

РН23. Знати математичні засади принципів автоматичного регулювання в енергетичних системах та особливостей функціонування пристроїв регулювання, відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні.

РН24. Знати і розуміти актуальні технічні та наукові проблеми, новітні підходи та сучасні методики проведення наукових досліджень в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки; вміти планувати та виконувати наукові дослідження та інноваційні проекти в сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

Уміння:

РН14. Опанувати нові версії або нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

РН25. Опанувати нові версії або нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах; знати та розуміти основні підходи до побудови сучасних баз зберігання даних в електроенергетиці, знати принципи програмування мікропроцесорних систем.

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», «Загальна фізика», «Теоретичні основи електротехніки», "Обчислювальна техніка та програмування", «Електричні машини» «Електрична частина станцій і підстанцій», «Електричні мережі та системи», «Перехідні процеси в електроенергетиці», «Промислова електроніка», "Релейний захист", "Проектування та експлуатація систем релейного захисту та автоматики". Компетенції, знання та уміння, одержані в процесі вивчення дисципліни є необхідними для подальшого якісного виконання досліджень за темою атестаційної роботи.

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти іноземною мовою, оскільки значна частина новітніх технологій в області цифрового релейного захисту.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розподілено на 5 розділів, а саме:

- 1. Етапи розвитку мікропроцесорних пристроїв РЗА (МП РЗА). Функціональні особливості МП РЗА, переваги, недоліки, в якому розглядаються етапи створення цифрових РЗА, докладно наводяться їх функціональні можливості та виконується порівняльний аналіз з можливостями пристроїв захисту попередніх поколінь - електромеханічних та мікроелектронних захистів.**

2. **Структура апаратного забезпечення мікропроцесорних пристроїв РЗА**, в якому розглядаються принципи побудови та основи функціонування окремих модулів МП РЗА - лінійного перетворювача, мікропроцесорного блоку, блоків вводу/виводу дискретної інформації, блоку зв'язку, блоку індикації.
3. **Цифрові вимірювальні органи в МП РЗА**, де розглядаються базові принципи організації цифрової фільтрації.
4. **Математичне забезпечення МП РЗА**, де розглядаються алгоритми побудови математичного забезпечення МП РЗА.
5. **Використання цифрового реле в системах керування й моніторингу**, де розглядаються базові питання побудови апаратного забезпечення систем моніторингу та керування на основі МП РЗА.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. - Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013.-533 с.
2. Правила улаштування електроустановок : 2017. – Офіц. вид. – К. :Форт : Мінпаливенерго України. 2017.
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. 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>

Додаткові:

5. Методичні вказівки до виконання модульної контрольної роботи. Математичне моделювання систем та процесів для спеціальності:141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, спеціалізація Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії. Освітньо-науковий рівень підготовки «магістр» // Уклад.: О.О. Дмитренко -К.: НТУУ "КПІ", 2016.- 48 с.
6. Методичні вказівки до виконання практичних завдань. Математичне моделювання систем та процесів для спеціальності:141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, спеціалізація Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії. Освітньо-науковий рівень підготовки «магістр» // Уклад.: О.О. Дмитренко -К.: НТУУ "КПІ", 2016.- 48 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)
	Розділ 1. Етапи розвитку мікропроцесорних пристроїв РЗА (МП РЗА). Функціональні особливості МП РЗА, переваги, недоліки.
1	Покоління пристроїв РЗА. Основні виробники пристроїв РЗА. Співвідношення пристроїв

	<i>РЗА різних поколінь на електроенергетичних об'єктах України. Літературні джерела: [1, 3]</i>
2	<i>Етап 1. Централізована концепція побудови системи релейного захисту й автоматики. Передумови виникнення. Переваги, недоліки централізованої концепції побудови системи РЗА. Етап 2. «Острівний» принцип побудови системи релейного захисту й автоматики. Передумови виникнення. Переваги, недоліки «острівного» принципу побудови системи РЗА. Етап 3. Розподілена концепція побудови системи РЗА на базі однофункціональних мікропроцесорних пристроїв. Передумови виникнення. Переваги, недоліки розподіленої концепції побудови системи РЗА на базі однофункціональних мікропроцесорних пристроїв. Етап 4. Розподілена концепція побудови багаторівневої системи РЗА на базі багатофункціональних мікропроцесорних пристроїв. Передумови виникнення. Переваги, недоліки розподіленої концепції побудови багаторівневої системи РЗА на базі багатофункціональних мікропроцесорних пристроїв. Функціональні особливості МП РЗА. Багатофункціональність, інформативність, зв'язок з вищим ієрархічним рівнем, самодіагностика. Особливості МП РЗА. Шляхи виконання самодіагностики. Переваги та недоліки МП РЗА у порівнянні з електромеханічними та мікроелектронними пристроями. Особливості проведення ремонтних робіт МП РЗА, працезатрати. Літературні джерела: [1, 3]</i>
18	МКР

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
	Розділ 3. Цифрові вимірювальні органи в МП РЗА.
1	<i>Моделювання алгоритму, що використовує властивості похідних, залежно від числа вибірок миттєвих значень за період промислової частоти та при наявності у вхідному сигналі вищих гармонійних складових. Літературні джерела: [4, 6]</i>
2	<i>Моделювання алгоритму, що використовує властивості похідних, при роботі обладнання в мережі із коливаннями частоти. Літературні джерела: [4, 6]</i>
3	<i>Моделювання алгоритму, що використовує властивості похідних, при роботі мережі в перехідному режимі Літературні джерела: [4, 6]</i>

Лабораторні заняття (відсутні)

Індивідуальна робота зі студентами

№ з/п	Тема лекції	Кількість годин
	Розділ 2. Структура апаратного забезпечення мікропроцесорних пристроїв РЗА	
3	<i>Загальна структура однопроцесорного МП пристрою РЗА. Діапазони вхідних аналогових сигналів. Лінійний перетворювач. Призначення. Призначення і різновиди вимірювальних органів МП РЗА. Призначення і різновиди тракту аналого-цифрового перетворення МП РЗА. Похибки тракту аналого-цифрового перетворення МП РЗА. Різновиди лінійних перетворювачів.</i>	2

	<i>Літературні джерела: [1, 3]</i>	
	Розділ 4. Математичне забезпечення МП РЗА	
13	<i>Загальна структура та функції найпростішого однопроцесорного цифрового реле. Загальна структура математичного забезпечення однопроцесорних цифрових реле, загальні функції окремих програмних модулів. Призначення та блок-схеми алгоритмів підпрограм, які входять у програму переривання по таймеру. Літературні джерела: [4]</i>	2
14	<i>Призначення програми переривання по таймеру. Блок-схема алгоритму процедури аналого-цифрового перетворення. Літературні джерела: [1, 2, 4]</i>	2
15	<i>Задачі та блок-схеми алгоритму підпрограм цифрової фільтрації та перевірки умов пуску захистів. Задачі та блок-схема алгоритму захисту за струмом оберненої послідовності. Літературні джерела: [1, 2, 4]</i>	2
16	<i>Блок-схема алгоритму підпрограми однократного АПВ. Літературні джерела: [2, 4]</i>	1
	ЗАГАЛОМ	9

№ з/п	Тема практичного заняття	Кількість годин
4	<i>Моделювання алгоритму двох вибірок залежно від числа вибірок миттєвих значень за період промислової частоти та при наявності у вхідному сигналі вищих гармонійних складових Літературні джерела: [4, 6]</i>	2
5	<i>Моделювання алгоритму двох вибірок при роботі обладнання в мережі із коливаннями частоти Літературні джерела: [4, 6]</i>	2
6	<i>Моделювання алгоритму двох вибірок при роботі мережі в перехідному режимі Літературні джерела: [4, 6]</i>	2
7	<i>Моделювання алгоритму фільтру Фур'є залежно від числа вибірок миттєвих значень за період промислової частоти та при наявності у вхідному сигналі вищих гармонійних складових Літературні джерела: [4, 6]</i>	2
8	<i>Моделювання алгоритму фільтру Фур'є при роботі обладнання в мережі із коливаннями частоти Літературні джерела: [4, 6]</i>	2
9	<i>Моделювання алгоритму фільтру Фур'є при роботі мережі в перехідному режимі Літературні джерела: [4, 6]</i>	2
	ЗАГАЛОМ	12

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
	Теоретичний матеріал	
	Розділ 2. Структура апаратного забезпечення мікропроцесорних	

	пристроїв РЗА	
4	Блок дискретних входів і виходів. Вхідні перетворювачі дискретних сигналів МП РЗА, призначення і схемна реалізація. Вихідні релейні перетворювачі МП РЗА, призначення. Блок індикації. Принципи відображення інформації у МП РЗА. Одно- та багатопроцесорні МП РЗА. Блок живлення, призначення та спрощена схемна реалізація. Літературні джерела: [1, 3]	4
	Розділ 3. Цифрові вимірювальні органи в МП РЗА	
5	Задачі цифрових вимірювальних органів. Призначення і різновиди цифрових вимірювальних органів (ЦВО) в МП РЗА. Загальна теорія цифрових фільтрів. Літературні джерела: [3, 4]	4
6	Алгоритм ЦВО, який використовує властивості похідних. Загальні характеристики. Літературні джерела: [4]	4
7	Алгоритм двох вибірок. Загальні характеристики. Літературні джерела: [4]	4
8	Алгоритми ЦВО на базі фільтра Фур'є. Загальні характеристики. Літературні джерела: [4]	4
9	Алгоритм ЦВО, який використовує властивості похідних. Дослідження ЦВО при роботі в електричних мережах. Літературні джерела: [4]	4
10	Алгоритм двох вибірок. Дослідження ЦВО при роботі в електричних мережах. Літературні джерела: [4]	4
11	Алгоритми ЦВО на базі фільтра Фур'є. Дослідження ЦВО при роботі в електричних мережах. Літературні джерела: [4]	4
12	Порівняльний аналіз переваг та недоліків різних алгоритмів ЦВО. Літературні джерела: [4]	4
	Розділ 5. Використання цифрового реле в системах керування й моніторингу	
17	Підходи для використання цифрового реле в якості кінцевого пристрою збору інформації. Інтерфейси обміну цифрових реле. Паралельний інтерфейс, принципи організації. Послідовний інтерфейс, принципи організації. Послідовний інтерфейс RS-232C. Послідовний інтерфейс RS-485. Послідовний інтерфейс RS-422. Послідовний інтерфейс «струмова петля». Послідовний інтерфейс. Оптоволокло. Використання стандарту Ethernet. Організація структурованої кабельної мережі. Підключення ЦР із інтерфейсом RS-485. Підключення ЦР із інтерфейсом RS-232. Підключення ЦР із оптоволоконним послідовним інтерфейсом. Підключення ЦР, які використовують стандарт Ethernet. Літературні джерела: [4]	4
18	Підготовка до практичних занять	37

	<i>Літературні джерела: [4,6]</i>	
20	<i>Підготовка до МКР Літературні джерела: [5]</i>	5
21	<i>Підготовка до РГР «Дослідження двоступеневого струмового захисту з незалежною витримкою часу» Літературні джерела: [5]</i>	5
22	<i>Підготовка до екзамену</i>	30
	ЗАГАЛОМ	117

Політика та контроль

7. 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 та практичних заняттях;*
- *правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних 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 факультетських та інститутських олімпіадах та наукових конференціях. Штрафні бали нараховують за несвоєчасне виконання РГР.*
- *політика дедлайнів та перескладань: несвоєчасне виконання РГР передбачає 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 «Методи аналізу та дослідження складних динамічних систем»*
- *при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц.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: МКР, РГР, відповіді на практичних заняттях.

Календарний контроль: провадиться одного разу в семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за розрахунково-графічну роботу, виконані та захищені всі практичні роботи, семестровий рейтинг більше 30 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

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

- виконання практичних робіт;
- виконання розрахунково-графічної роботи (РГР);
- виконання модульної контрольної роботи (МКР).

Виконання практичних робіт	РГР	МКР	Rc	Рекз	R
45	6	9	60	40	100

Виконання практичних робіт

Ваговий бал – 5,0.

Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях – 5,0 бали * 9 = 45,0 балів.

Критерії оцінювання

- виконання практичної роботи, самостійне виконання обчислень, оформлення результату досліджень – 3;
- повна відповідь на питання за темою практичного заняття – 2;

Індивідуальне семестрове завдання (РГР)

Згідно з робочою навчальною програмою кожен студент виконує розрахунково-графічну роботу.

Максимальна кількість балів за виконання РГР – 6,0.

Критерії оцінювання

- повне, точне і вчасне виконання, повна відповідь на питання за темою розрахунково-графічної роботи – 6,0 балів;
- є окремі несуттєві помилки – 4...5 балів;
- робота неповна, є окремі суттєві помилки – 1-3 балів;
- робота виконана невірно – 0 балів;
- на виконання РГР відводять 8 тижнів з моменту видачі завдання; задача РГР після встановленого терміну передбачає нарахування штрафного балу -0,4 за кожен тиждень понад встановлений термін.

Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота складається з одного завдання.

Максимальний бал за МКР – 9.

Критерії оцінювання

- правильне розв'язання задачі – 100% від кількості балів за задачу;
- часткове розв'язання задачі, наявність незначних помилок – 60-95% від кількості балів за задачу;
- часткове розв'язання задачі, наявність значних помилок – 10-55% від кількості балів за задачу;
- відсутність відповіді – 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.

Форма семестрового контролю – екзамен

Екзаменаційна робота складається з чотирьох теоретичних запитань

Критерії оцінювання екзамену

Рейтинг $R_c \geq 0,6 * R$, тобто 60 балів – зараховується автоматично.

Рейтинг R_c в межах $(0,4 - 0,59) * R$, тобто 40 – 59 балів – студенти складають екзамен.

Максимальний рейтинг екзамену $R_z = 40$ балів.

Рейтинг екзамену $R_z = 33 - 40$ балів – студент дав вичерпні відповіді на всі питання (при необхідності – і на додаткові), дає чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні.

Рейтинг екзамену $R_z = 25 - 32$ балів – відповідаючи на питання, студент припускається окремих помилок, але може їх виправити за допомогою викладача; знає визначення основних понять і величин дисципліни, в цілому розуміє фізичну суть процесів в об'єктах, які вивчав.

Рейтинг екзамену $R_z = 16 - 24$ балів – студент частково відповідає на екзаменаційні питання, показує знання, але недостатньо розуміє суть процесів. Відповіді непослідовні і нечіткі.

Рейтинг екзамену $R_z \leq 15$ балів – у відповіді студент припускається суттєвих помилок, проявляє нерозуміння фізичної суті процесів, не може виправити помилки за допомогою викладача. Відповіді некоректні, а в деяких випадках не відповідають суті поставленого питання.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль

- Етапи розвитку мікропроцесорних пристроїв РЗА (МП РЗА). Функціональні особливості МП РЗА, переваги, недоліки.
- Структура апаратного забезпечення мікропроцесорних пристроїв РЗА.
- Математичне забезпечення МП РЗА.
- Використання цифрового реле в системах керування й моніторингу

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 доцентом кафедри автоматизації енергосистем,
к.т.н. Дмитренко О.О.

Ухвалено кафедрою автоматизації енергосистем ФЕА (протокол № 12 від 24.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 24.06.2021 р.)