



# Елементи цифрових підстанцій

## Силабус освітнього компоненту

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалавр)</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>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>III курс, осінній семестр (для очної форми навчання), II курс, осінній семестр (для очної прискореної форми навчання)</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин / 4 кредити ECTS   (36 годин лекцій, 36 годин практичних занять)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a> 1 лекція (2 години) 1 раз на тиждень; 1 практичне заняття (2 години) 1 раз на тиждень</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н. доц. Дмитренко Олександр Олексійович, 0672382408 Практика: Заколюдажний Володимир Васильович, 0505959933</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom <a href="https://meet.google.com/lookup/hgwm4lo4vp">https://meet.google.com/lookup/hgwm4lo4vp</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Елементи цифрових підстанцій» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми "Управління, захист та автоматизація енергосистем", "Електричні мережі та системи".

**Метою навчальної дисципліни** є поглиблене формування та закріплення у слухачів системи компетентностей: K14. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами метрології, електричних вимірювань, роботою пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики. K16. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії. K23. Здатність правильно формулювати та розв'язувати математичні задачі в галузі управління, захисту та автоматизації енергосистем. K25. Здатність розуміти принципи та особливості функціонування засобів передачі інформації в електроенергетиці та виконувати розрахунки параметрів їх налаштування. K27. Здатність розробляти проекти автоматизованих систем керування технологічними процесами на базі мікропроцесорної техніки, систем релейного захисту та автоматики електричних підстанцій та станцій, систем передачі інформації в електроенергетиці

**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:** ПР18. Вміти самостійно вчитися, опанувати нові знання і вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням, вимірювальною технікою та прикладним програмним забезпеченням. ПР23. Знати і розуміти принципи роботи, теоретичні, методологічні основи створення і реалізації автоматизованих систем керування технологічними процесами, знати і розуміти особливості застосування різних засобів передачі інформації в електроенергетиці та особливості виконання розрахунків параметрів їх налаштування. ПР24. Вміти розробляти алгоритми вирішення задач в галузі управління, захисту та автоматизації енергосистем з використанням математичного апарату та сучасного програмного забезпечення.

## **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", «Промислова електроніка». Компетенції, знання та уміння, одержані в процесі вивчення дисципліни є необхідними для подальшого якісного виконання досліджень за темою атестаційної роботи.

## **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>
5. Автоматика протиаварійного управління електроенергетичних систем: Підручник для студентів зі спеціальності електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Є.І. Сокол, Г.А. Сендерович, О.Г. Гриб та ін.-Харків: ФОП Бровін О.В., 2020.- 216 с.

Додаткові:

6. Елементи цифрових підстанцій. Розробка структурної схеми однопроцесорного цифрового реле. Збірник задач і вправ [Електронний ресурс] : Навчальний посібник призначено для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. О. Дмитренко, О. В. Хоменко. - Електронні текстові дані (1 файл: 445.5 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 19 с. - Назва з екрана. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 6 від 24.06.2022 р.) за поданням Вченої ради Факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол 9 від 17.05.2022 р.). <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48961>
7. Елементи цифрових підстанцій: практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. О. Дмитренко, О. В. Хоменко. – Електронні текстові дані (1 файл: 691,5 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 36 с. – Назва з екрана. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 6 від 24.06.2022 р.) за поданням Вченої ради Факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол 9 від 17.05.2022 р.). <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48935>

**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)
	<b>Розділ 1. Етапи розвитку мікропроцесорних пристроїв РЗА (МП РЗА). Функціональні особливості МП РЗА, переваги, недоліки.</b>
1	Покоління пристроїв РЗА. Основні виробники пристроїв РЗА. Співвідношення пристроїв РЗА різних поколінь на електроенергетичних об'єктах України. Літературні джерела: [1, 3]
2-4	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

	<p>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.</p> <p>Літературні джерела: [1, 3]</p>
	<p><b>Розділ 2. Структура апаратного забезпечення мікропроцесорних пристроїв РЗА</b></p>
5-6	<p>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.</p> <p>Літературні джерела: [1, 3]</p>
7-9	<p>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.</p> <p>Літературні джерела: [1, 3]</p>
	<p><b>Розділ 4. Математичне забезпечення МП РЗА</b></p>
10-11	<p>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.</p> <p>Літературні джерела: [4]</p>
12	<p>Призначення програми переривання по таймеру. Блок-схема алгоритму процедури аналого-цифрового перетворення.</p> <p>Літературні джерела: [1, 2, 4]</p>
13	<p>Задачі та блок-схеми алгоритму підпрограм цифрової фільтрації та перевірки умов пуску захистів. Задачі та блок-схема алгоритму захисту за струмом оберненої послідовності.</p> <p>Літературні джерела: [1, 2, 4,5]</p>
14	<p>Блок-схема алгоритму підпрограми однократного АПВ.</p> <p>Літературні джерела: [2, 4, 5]</p>
	<p><b>Розділ 5. Використання цифрового реле в системах керування й моніторингу</b></p>
15-16	<p>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. Оптичне волокно. Використання стандарту Ethernet. Організація структурованої кабельної мережі. Підключення ЦР із</p>

	<i>інтерфейсом RS-485. Підключення ЦР із інтерфейсом RS-232. Підключення ЦР із оптоволоконним послідовним інтерфейсом. Підключення ЦР, які використовують стандарт Ethernet. Літературні джерела: [ 4]</i>
17	<i>МКР</i>
18	<i>Залік</i>

*Практичні заняття*

<i>№ з/п</i>	<i>Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)</i>
	<b><i>Розділ 3. Цифрові вимірювальні органи в МП РЗА.</i></b>
1-2	<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, 7]</i>
3-4	<i>Моделювання алгоритму, що використовує властивості похідних, при роботі обладнання в мережі із коливаннями частоти. Літературні джерела: [4, 7]</i>
5-6	<i>Моделювання алгоритму, що використовує властивості похідних, при роботі мережі в перехідному режимі Літературні джерела: [4, 7]</i>
7-8	<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, 7]</i>
9-10	<i>Моделювання алгоритму двох вибірок при роботі обладнання в мережі із коливаннями частоти Літературні джерела: [4, 7]</i>
11-12	<i>Моделювання алгоритму двох вибірок при роботі мережі в перехідному режимі Літературні джерела: [4, 7]</i>
13-14	<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, 7]</i>
15-16	<i>Моделювання алгоритму фільтру Фур'є при роботі обладнання в мережі із коливаннями частоти Літературні джерела: [4, 7]</i>
17-18	<i>Моделювання алгоритму фільтру Фур'є при роботі мережі в перехідному режимі Літературні джерела: [4, 7]</i>

*Лабораторні заняття  
(відсутні)*

**6. Самостійна робота студента**

<i>№з/п</i>	<i>Вид самостійної роботи</i>	<i>Кількість годин СРС</i>
	<b><i>Теоретичний матеріал</i></b>	
1	<i>Підготовка до аудиторних занять Літературні джерела: [1-4]</i>	37
2	<i>Підготовка до МКР</i>	5

	<i>Літературні джерела: [1-3]</i>	
3	<i>Підготовка до заліку</i>	6
	<b>ЗАГАЛОМ</b>	<b>48</b>

### **Контрольна робота**

- Метою контрольної роботи є закріплення та перевірка теоретичних знань із освітнього компоненту, набуття студентами практичних навичок самостійного проектування схем МП РЗА.
- Модульна контрольна робота (МКР) виконується після вивчення Розділів 1,2 Кожний студент отримує індивідуальне завдання.

## **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 здачу лабораторних робіт;*
- *правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-дискі викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;*
- *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.*
- *політика дедлайнів та перескладань. 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 даної дисципліни.*
- *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, виконання практичних завдань.

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

**Семестровий контроль:** залік

**Умови допуску до семестрового контролю:** виконані та захищені всі практичні завдання, семестровий рейтинг більше 30 балів.

**Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:**

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
<i>100-95</i>	<i>Відмінно</i>

94-85	<i>Дуже добре</i>
84-75	<i>Добре</i>
74-65	<i>Задовільно</i>
64-60	<i>Достатньо</i>
<i>Менше 60</i>	<i>Незадовільно</i>

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

- виконання та захист практичного завдання;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР).

<i>виконання та захист практичних завдань</i>	<i>МКР</i>	<i>R</i>
<i>72</i>	<i>28</i>	<i>100</i>

Якщо наприкінці семестру після проходження всіх контрольних заходів з дисципліни студент отримав не менше ніж 60 рейтингових балів, а також виконав умови допуску до семестрового контролю, він отримує позитивну оцінку відповідно набраних протягом семестру рейтингових балів.

#### *Виконання та захист практичних завдань*

*Ваговий бал – 8,0.*

*Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях – 8.0 бали \* 9 = 72.0 балів.*

##### *Критерії оцінювання*

- *практичне завдання не виконано або протокол не представлений – повертається на відпрацювання або доопрацювання - 0 балів.*
- *виконання практичного завдання, самостійне виконання обчислень, оформлення протоколу досліджень, відповідь на питання до захисту надана повністю помилковою – 4,0 балів;*
- *виконання практичного завдання, самостійне виконання обчислень, оформлення протоколу досліджень, відповідь на питання до захисту надана з суттєвими помилками – 4,1 - 5,4 балів;*
- *виконання практичного завдання, самостійне виконання обчислень, оформлення протоколу досліджень, відповідь на питання до захисту надана з несуттєвими помилками – 5,5 - 6,4 балів;*
- *виконання практичного завдання, самостійне виконання обчислень, оформлення протоколу досліджень, відповідь на питання до захисту має ряд неточностей – 6,5 - 7,1 балів;*
- *виконання практичного завдання, самостійне виконання обчислень, оформлення протоколу досліджень, відповідь на питання до захисту має одну неточність – 7,2 - 8,9 балів;*
- *виконання практичного завдання, самостійне виконання обчислень, оформлення протоколу досліджень, повна відповідь на питання за темою лабораторної роботи – 8 балів.*

#### **Модульна контрольна робота**

*Модульна контрольна робота складається з однієї практичної задачі.*

*Ваговий бал задачі – 28.*

*Максимальний бал за МКР – 28.*

##### *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.

У разі, якщо сума рейтингових балів менше ніж 60, але виконані умови допуску до семестрової контролю з дисципліни, студент виконує на останньому за розкладом занятті залікову контрольну роботу. Також за бажанням, студент має право на участь у заліковій контрольній роботі з метою підвищення попередньої оцінки.

#### **Форма семестрового контролю – залік**

Залікова робота складається з двох теоретичних запитань та двох практичних завдань (задач).

#### *Критерії оцінювання залікової роботи*

Ваговий бал кожної задачі – 30.

Ваговий бал кожного теоретичного питання – 20.

Максимальний бал за залікову роботу – 100.

#### *Критерії оцінювання задачі*

- 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.

#### *Критерії оцінювання теоретичного питання*

- студент дав вичерпну відповідь на питання, дає чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні – 18-20 балів;
- майже вичерпна відповідь, наявність незначних неточностей – 15-17 балів;
- часткова відповідь, показує знання, але недостатньо розуміє суть процесів, наявність незначних неточностей – 12-14 балів;
- часткова відповідь, недостатнє розуміння суті процесів, наявність значних помилок – 1-11 балів;
- відсутність відповіді – 0 балів.

#### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус)**

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

Ухвалено кафедрою автоматизації енергосистем ФЕА (протокол № 7 від 22.02.2022 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол №8 від 27.04.2022 р.)