



## Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни

# Перехідні процеси в енергосистемах з відновлюваними джерелами енергії

### Шифр та назва спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка,  
176 – Мікро- та наносистемна техніка

### Інститут

ННІ енергетики, електроніки та електромеханіки

### Освітня програма

Стала та відновлювана енергетика: електрична та мікроелектронна інженерія

### Кафедра

Електричні станції (130)

### Рівень освіти

Магістр

### Тип дисципліни

Вибіркова, Вирівнювальна підготовка

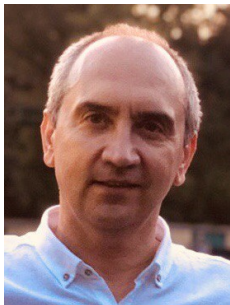
### Семестр

1

### Мова викладання

Українська, англійська

## Викладачі, розробники



### Мельников Георгій Ігорович

[Heorhii.Melnykov@khpі.edu.ua](mailto:Heorhii.Melnykov@khpі.edu.ua)

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Електричні станції»

Автор понад 50 наукових публікацій та навчально-методичних праць. Провідний лектор з дисциплін: «Моделювання електроенергетичних та електромеханічних пристроїв та систем», «Якість електроенергії та керування якістю», «Проектування електроенергетичних систем та пристроїв», «Сучасні енергоефективні технології».

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

## Загальна інформація

### Анотація

У навчальній дисципліні розглянуто основне коло питань, пов'язаних з описом та дослідженням перехідних процесів в електричних системах при зміні умов її роботи, оволодінням методами та засобами розрахунку перехідних процесів при симетричних і несиметричних порушеннях режимів роботи електричних систем. Значна увага приділяється формуванню умінь та придбання навичок студентами щодо розрахунку параметри перехідних режимів в електричних системах та дослідження і аналізу перехідних процесів при коротких замикання в електричних системах та стійкості системи при слабких і сильних збуреннях.

### Мета та цілі дисципліни

Мета.

Засвоєння знань щодо фізики та математичного опису перехідних процесів в електричних системах при зміні умов її роботи, оволодіння методами та засобами розрахунку перехідних

процесів при симетричних і несиметричних порушеннях режимів роботи електричних систем, формування умінь та придбання навичок студентами щодо розрахунку параметри перехідних режимів в електричних системах та дослідження і аналізу перехідних процесів при коротких замикання в електричних системах та стійкості системи при слабких і сильних збуреннях.

Цілі.

Знати:

- фізику та математичний опис перехідних процесів у простих трифазних електричних колах та колах, що мають магнітний зв'язок;
- фізику перехідних процесів у синхронній машині та їх математичний опис.
- практичні методи розрахунку перехідних процесів при симетричних і несиметричних порушеннях режимів роботи електричних систем;
- програмно-імітаційні комплекси, що дозволяють досліджувати перехідні процеси в електричних системах.

Вміти:

- розраховувати параметри перехідних режимів в електричних системах;
- досліджувати перехідні процеси в електричних системах за допомогою віртуальних комп'ютерних моделей;
- прогнозувати по зміні параметрів системи кількісні зміни її параметрів режиму, пропонувати необхідні заходи для підвищення стійкості електроенергетичних систем з відновлювальними джерелами енергії

### **Формат занять**

Лекції, практичні заняття, лабораторні роботи, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль - екзамен

### **Компетентності**

СК1. Здатність обґрунтовано обирати, застосовувати наявні та розробляти нові методи, методики, технології для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також мікро- та наносистемної техніки.

СК3. Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові й технічні методи для вирішення науково-технічних проблем електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також мікро- та наносистемної техніки, оцінювати отримані результати.

СК5. Здатність планувати, виконувати й керувати теоретичними та експериментальними науковими дослідженнями у сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також мікро- та наносистемної техніки.

СК7. Здатність проектувати та впроваджувати ефективні, надійні й безпечні, зв'язані з мережею та автономні електрогенеруючі установки й станції, що використовують відновлювані джерела енергії, зокрема фотоелектричні.

СК8. Здатність планувати впровадження і керувати роботою відновлюваних джерел енергії для забезпечення сталого розвитку енергетики на основі технологій розумних мереж, розподіленої генерації та акумуляування енергії.

### **Результати навчання**

РН1. Формулювати й розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів і систем та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах.

РН2. Визначати напрями, розробляти й реалізовувати проекти створення та модернізації електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів і систем з використанням відновлювальних джерел енергії з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів.

РН3. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері електроенергетики, електротехніки, електромеханіки для розв'язування складних задач професійної діяльності в галузі відновлювальної енергетики.

PH4. Вільно спілкуватися державною та іноземною мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері електроенергетики, електротехніки, електромеханіки, а також мікро- та наноелектроніки, презентації результатів досліджень та інноваційних проєктів.

PH5. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати й оцінювати її.

PH7. Будувати й досліджувати фізичні, математичні й комп'ютерні моделі об'єктів та процесів електроенергетики, електротехніки, електромеханіки, а також мікро- та наноелектроніки.

### **Обсяг дисципліни**

Загальний обсяг дисципліни 150 год. (5 кредити ECTS): лекції – 32 год., практичні заняття – 16 год., лабораторні роботи - 16 год., самостійна робота – 86 год.

### **Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)**

Дисципліни «Основи електроенергетики», «Теоретичні основи електротехніки»

### **Особливості дисципліни, методи та технології навчання**

Лекції відбуваються в інтерактивному режимі з застосуванням мультимедійних технологій, засобів комп'ютерного та математичного моделювання. Практичні завдання та лабораторні роботи виконуються з використанням відкритого програмного забезпечення та платформи Microsoft 365. Навчальні матеріали та спілкування доступні аспірантам за допомогою технологій OneDrive, OneNote, Teams фірми Майкрософт при застосуванні корпоративного пакету Microsoft 365.

## **Програма навчальної дисципліни**

### **Теми лекційних занять**

**Змістовий модуль 1. Електромагнітні перехідні процеси. Симетричні режими.**

**Тема 1. Загальні відомості про перехідні процеси**

Основні визначення. Причини, що обумовлюють виникнення перехідних процесів в електричних системах. Небезпечні прояви перехідних процесів у роботі електричної системи й окремих її елементів. Призначення практичних розрахунків електромагнітних перехідних процесів і запропоновані до них вимоги. Основні допущення, застосовувані в розрахунках електромагнітних перехідних процесів. Вибір розрахункових умов.

**Тема 2. Параметри елементів системи.**

Застосування системи відносних одиниць. Розрахунок за формулами точного та наведеного приведення. Параметри елементів розрахункової схеми. Упорядкування схеми заміщення і визначення її параметрів в іменованих та відносних одиницях. Перетворення схем заміщення.

**Тема 3. Перехідні процеси при трифазних коротких замиканнях.**

Трифазне коротке замикання в ланцюзі, що отримує живлення від джерела необмеженої потужності. Вплив і облік початкових умов. Характер зміни струму в часу. Визначення максимального миттєвого і діючих значень повного струму і його окремих складових.

**Тема 4. Розрахунки перехідних процесів при трифазних коротких замиканнях.**

Методи розрахунку струмів короткого замикання. Метод розрахункових кривих. Метод типових кривих. Розрахунок діючого значення періодичної складової струму короткого замикання для будь-якого моменту часу за загальною та індивідуальною зміною. Метод спрямлених характеристик. Основні передумови і принципи цього методу. Встановлення розрахункових параметрів для різних моментів часу.

**Змістовий модуль 2. Перехідні процеси при порушенні симетрії в трифазній мережі.**

**Тема 5. Несиметричні режими.**

Метод симетричних складових. Основні допущення при використанні метода симетричних складових. Застосування теорії симетричних складових до дослідження перехідних процесів.

**Тема 6. Параметри елементів системи для струмів зворотної і нульової послідовностей.**

Схеми заміщення прямий, зворотної і нульової послідовностей. Граничні умови для основних видів однократної несиметрії (короткі замикання між двома фазами, однієї фази і двох фаз на землю, обриви). Співвідношення між окремими симетричними складових струмів і напруг. Вирази для струмів і напруг у місці несиметрії. Векторні діаграми струмів і напруг у місці несиметрії при різних видах останньої.

#### **Тема 7. Комплексні схеми заміщення.**

Правило еквівалентності прямої послідовності в застосуванні до різних видів однократної несиметрії. Визначення додаткових опорів для різних видів несиметричних коротких замикань. Порівняння різних видів короткого замикання і визначення граничних співвідношень між розмірами струмів при них.

#### **Тема 8. Рівні струмів та потужності короткого замикання.**

Методи розрахунку несиметричного короткого замикання. Розрахунок струму короткого замикання методом спрямлених кривих. Розподіл струмів і напруг при несиметричних коротких замиканнях. Трансформація симетричних складових струмів і напруг.

### **Змістовий модуль 3. Електромеханічні перехідні процеси. Статична стійкість системи передачі електроенергії.**

#### **Тема 9. Проста електрична система і її стійкість.**

Основні поняття та визначення. Суть проблеми стійкості. Коротка історія виникнення і розвитку проблеми стійкості ЕЕС. Проста електрична система і її схема заміщення. Кутові характеристики потужності простої системи. Характеристики режимів простої системи при синхронній швидкості обертання генератора.

#### **Тема 10. Завдання аналізу та характеристика процесів.**

Регулювання енергетичного блоку на тепловій електричній станції. Енергетичний баланс блоку. Рівняння руху ротора генератора. Здійсненність, або умови існування сталого режиму. Застосування систем автоматичного регулювання збудження синхронних генераторів та їх вплив на статичну стійкість.

#### **Тема 11. Методи розрахунку статичної стійкості.**

Розрахунок характеристики потужності складних електричних систем з урахуванням навантаження. Методи визначення власних і взаємних опорів. Система відносних одиниць при дослідженні електромеханічних перехідних процесів. Дослідження статичної стійкості простої нерегульованої системи методом малих коливань.

#### **Тема 12. Стійкість режиму вузла навантаження при слабкому збуренні.**

Дослідження статичної стійкості простої нерегульованої електричної системи з урахуванням перехідних процесів в обмотці збудження. Характеристики режимів простої системи при несинхронній швидкості обертання генератора. Заходи по збільшенню статичної стійкості в електричних системах.

### **Змістовий модуль 4. Електромеханічні перехідні процеси. Динамічна стійкість системи передачі електроенергії.**

#### **Тема 13. Динамічна стійкість електроенергетичної системи.**

Великі збурення в електричних системах та їх динамічна стійкість. Види великих збурень та їх вплив на систему. Основні допущення при аналізі динамічної стійкості. Метод площ при роботі електричної станції на шини нескінченної потужності. Визначення кута вильоту ротору при включенні навантаження.

#### **Тема 14. Збереження динамічної стійкості та розрахунок граничного часу відключення.**

Застосування методу площ для розрахунку максимального кута вильоту ротора. Метод послідовних інтервалів для розрахунку граничного часу відключення при аваріях. Представлення перехідного процесу на фазовій площині.

#### **Тема 15. Заходи по підвищенню динамічної стійкості вузлів енергосистеми з відновлювальними джерелами енергії.**

Заходи по збереженню динамічної стійкості: основні, додаткові та заходи режимного характеру. Характеристики основних елементів вузлів навантаження. Фактори, що впливають на стійкість вузлів навантаження. Критерії та межі стійкості навантаження.

#### **Тема 16. Регулювання частоти та стійкість роботи в електроенергетичних системах.**

Причини зміни частоти. Заходи щодо підтримки частоти. Асинхронний режим. Причини виникнення і ознаки асинхронного режиму. Синхронізація асинхронно працюючих генераторів – ресинхронізація.

### **Теми практичних занять**

Тема 1. Система відносних одиниць. Складання та перетворення схем заміщення на підставі розрахункових схем.

Тема 2. Розрахунок надперехідного, ударного й аперіодичного струмів трифазного короткого замикання в нульовий момент часу.

Тема 3. Розрахунок струму трифазного короткого замикання за методом розрахункових та типових характеристик

Тема 4. Складання схем заміщення прямої, зворотної та нульової послідовності при розрахунку струму несиметричного короткого замикання.

Тема 5. Побудова кутових характеристик потужності неявнополюсного генератора з АРЗ різної дії.

Тема 6. Розрахунок найбільшої потужності, що може бути передана і коефіцієнту запасу статичної стійкості.

Тема 7. Розрахунок максимального кута відхилення ротору при відключенні ланцюгу лінії електропередач та граничного кута відключення при короткому замиканні.

Тема 8. Розрахунок граничного часу відключення короткого замикання з використанням методу послідовних інтервалів.

### **Теми лабораторних робіт**

Тема 1. Дослідження перехідних процесів в простому трифазному ланцюзі з джерелом нескінченної потужності

Тема 2. Дослідження перехідних процесів в простій трифазній системі, що живиться від генератора обмеженої потужності (при відсутності регулятора збудження) при симетричних КЗ.

Тема 3. Дослідження перехідних процесів в простій трифазній системі, що живиться від джерела обмеженої потужності, при несиметричних КЗ.

Тема 4. Дослідження симетричних складових напруг та струмів при поперечній несиметрії.

Тема 5. Дослідження видів порушення статичної стійкості простої нерегульованої електричної системи..

Тема 6. Дослідження динамічної стійкості простої нерегульованої електричної системи.

Тема 7. Дослідження основних заходів щодо збереження динамічної стійкості простої нерегульованої електричної системи.

Тема 8. Дослідження додаткових заходів щодо збереження динамічної стійкості простої нерегульованої електричної системи.

### **Самостійна робота**

1. Опрацювання лекційного матеріалу.

2. Підготовка до практичних та лабораторних занять.

3. Обробка результатів та складання звіту з проведення лабораторних робіт

4. Індивідуальне розрахункове завдання з аналізу статичної та динамічної стійкості

Обсяг роботи: 10-15 с.

Термін подачі: 16-й тиждень.

Розрахункове завдання оформлюється відповідно вимогам [СТЗВО-ХПІ-2.01-2021](#), [СТЗВО-ХПІ-3.01-2021](#) та проводиться захист.

## **Література та навчальні матеріали**

Основна література



1. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, Л.І. Несен, за ред. Г.Г. Півняка ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 5-те вид., доопрац. та допов. – Дніпро : НГУ, 2016. – 600 с.
2. Винославский В.Н. и др. Переходные электромеханические процессы в системах электроснабжения. – К.: Вища школа, 2003.-550с.
3. Методические указания к выполнению курсовой работы «Анализ статической и динамической устойчивости электрической системы» по курсу “Электромеханические переходные процессы” для студентов специальностей: 7.090601 – “Электрические станции” и 7.090615 – “Системы управления производством и распределением электроэнергии”/ состав. Рудевич Н.В, Пискурев М.Ф. – Х. : НТУ “ХПИ”, 2011. – 83с.
4. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу “Электромеханические переходные процессы” для студентов специальностей: 7.090601 – “Электрические станции” и 7.090615 – “Системы управления производством и распределением электроэнергии”/ состав. Рудевич Н.В, Пискурев М.Ф. – Х. : НТУ “ХПИ”, 2011. – 83с.
5. Гай, Олександр Валентинович. Електромеханічні перехідні процеси в електричних системах: навчальний посібник для підготовки фахівців «Галузь знань 14 – Електрична інженерія Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / О.В. Гай, В.М. Бодунов. - К. : ЦП "КОМПРИНТ", 2020. - 327 с.
6. Методические указания к выполнению курсовой работы «Расчет токов короткого замыкания и устойчивости электрической системы» по курсу «Переходные процессы в электрических системах» для студентов специальностей 7.000008 – «Энергетический менеджмент» / состав. Пискурев М.Ф., Данилова О.А. – Харьков: НТУ «ХПИ».–2005. – 56 с.
7. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Электромагнитные переходные процессы» для студентов специальностей 6.05070101 – «Электрические станции», 6.05070106 – «Системы управления производством и распределением электроэнергии»/ состав. Рудевич Н.В., Пискурев М.Ф. – Харьков: НТУ «ХПИ». –2011. – 80с.
8. Тептя, В. В. Електромеханічні перехідні процеси в електроенергетичних системах : електронний конспект лекцій комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / В. В. Тептя, В. В. Кулик. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 183 с.

#### Додаткова література

1. Стійкість енергосистем. Керівні вказівки. СОУ-Н МЕН 40.1 – 00100227-68:2012. – Київ: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2012.
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Вища школа, 1985. – 536 с.
3. ДСТУ ІЕС 60909-0:2007 Струми короткого замикання у трифазних системах змінного струму. Частина 0. Обчислення сили струму. – Київ: Держспоживстандарт України. – 2009.
4. <https://ua.energy>
5. <https://regulation.gov.ua/>

## Система оцінювання

### Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

Бали нараховуються за наступним співвідношенням:

- практичні заняття: 20% семестрової оцінки;
- модульні контрольні: 20% семестрової оцінки;
- лабораторні роботи: 20% семестрової оцінки за виконання розрахункового завдання;
- самостійна робота: 10% семестрової оцінки за виконання розрахункового завдання;
- іспит: 30% семестрової оцінки

Іспит - письмове завдання (два теоретичних питання та одне практичне) та усна доповідь.

### Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

## Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

## Погодження

Силабус погоджено

28.08.23



Завідувач кафедри  
Олександр ЛАЗУРЕНКО

28.08.23



Гарант ОП  
Костянтин МАХОТІЛО