



## Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни



# Перехідні процеси в енергосистемах

### Шифр та назва спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка

### Інститут

ННІ Енергетики, електроніки та електромеханіки

### Освітня програма

Електроенергетика

### Кафедра

Електричних станцій (130)

### Рівень освіти

бакалавр

### Тип дисципліни

Вибірковий компонент

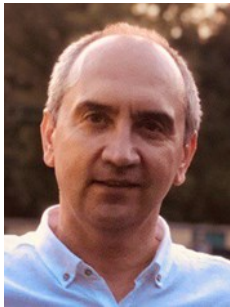
### Семестр

6

### Мова викладання

Українська

## Викладачі, розробники



### Мельников Георгій Ігорович

[Heorhii.Melnykov@khp.edu.ua](mailto:Heorhii.Melnykov@khp.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

### **Формат занять**

Лекції, практичні заняття, лабораторні роботи, самостійна робота, розрахунок та захист курсової роботи, консультації. Підсумковий контроль - екзамен

### **Компетентності**

ЗК 1. Здатність застосовувати знання і розуміння на практиці у спосіб, який вказує на професійний підхід розв'язання проблем у галузі електричної інженерії.

ЗК 4. Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК14. Здатність демонструвати базові знання в галузі природничих дисциплін і готовність використовувати методи фундаментальних наук для розв'язання загально інженерних та професійних задач.

ФК 1. Здатність використовувати комп'ютеризовані системи автоматизованого проектування (CAD), виготовлення (CAM) та інженерних розрахунків (CAE) та відповідні пакети прикладних програм.

ФК2. Здатність до теоретичного обґрунтування прийнятих рішень в процесі виконання проектно-конструкторських та дослідницьких робіт в межах свого роду занять на рівні фахівця з кваліфікацією першого циклу вищої освіти в галузі електричної інженерії.

ФК3. Здатність використовувати базові знання з загальної фізики, вищої математики, теоретичних основ електротехніки та електротехнічних матеріалів для вирішення практичних задач в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК13. Здатність виконувати експериментальні (модельні) дослідження режимів роботи електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання.

### **Результати навчання**

ПРН 12. Знати та використовувати методи фундаментальних наук для розв'язання загально-інженерних та професійних завдань.

ПРН16. Визначати принципи побудови та нормального функціонування елементів електроенергетичних, електротехнічних електромеханічних комплексів та систем.

ПРН18. Оцінювати параметри роботи електротехнічного, електроенергетичного та електромеханічного обладнання й відповідних комплексів і систем та розробляти заходи щодо підвищення їх енергоефективності та надійності.

ПРН20. Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексів і систем.

ПРН21. Збирати та аналізувати інформацію про ненормальні режими та аварійні ситуації в електричній галузі для унеможливлення їх повторення в майбутньому.

ПРН 30. Вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням та програмним забезпеченням при виконанні розрахунків режимів роботи електротехнічного, електроенергетичного та

електромеханічного обладнання, відповідних комплексів та систем.

## **Обсяг дисципліни**

Обсяг дисципліни: 6 кредити ECTS 180 годин.

Лекції: 48 години.

Лабораторні заняття: 16 години.

Практичні заняття: 32 години.

Підсумковий контроль: Екзамен.

Індивідуальне завдання: курсова робота.

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

Попередні дисципліни:

Теоретичні основи електротехніки

Вступ до спеціальності

Основи електроенергетики

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

Лекції проводяться в інтерактивному режимі з використанням мультимедійних технологій.

Практичні завдання виконуються з використанням відкритого програмного забезпечення та платформи Microsoft 365. Навчальні матеріали доступні для студентів у блокноті OneNote Class Notebook.

## **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**

- ПЗ 1. Система відносних одиниць. Точний і наближений облік коефіцієнтів трансформації при упорядкуванні схем заміщення у відносних і іменованих одиницях.
- ПЗ 2. Складання та перетворення схем заміщення на підставі розрахункових схем.
- ПЗ 3. Розрахунок надперехідного, ударного й аперіодичного струмів трифазного короткого замикання в нульовий момент часу.
- ПЗ 4. Розрахунок струму трифазного короткого замикання за методом розрахункових та типових характеристик.
- ПЗ 5. Розрахунок сталого режиму короткого замикання в складних схемах.
- ПЗ 6. Складання схем заміщення прямої, зворотної та нульової послідовності при розрахунку струму несиметричного короткого замикання.
- ПЗ 7. Розрахунок несиметричного короткого замикання методом спрямлених кривих.
- ПЗ 8. Розрахунок струму короткого замикання в заданому перерізі та напруги в заданій точці
- ПЗ 9. Побудова кутових характеристик потужності неявнополюсного генератора з АРЗ різної дії.
- ПЗ 10. Побудова кутових характеристик активної потужності з урахуванням навантаження.
- ПЗ 11. Розрахунок найбільшої потужності, що може бути передана і коефіцієнту запасу статичної стійкості.
- ПЗ 12. Розрахунок максимального кута відхилення ротору при відключенні ланцюгу лінії електропередачі та граничного кута відключення при короткому замиканні.
- ПЗ 13. Розрахунок граничного часу відключення короткого замикання з використанням методу послідовних інтервалів.
- ПЗ 14. Дослідження додаткових заходів щодо збереження динамічної стійкості простої нерегульованої електричної системи.
- ПЗ 15. Розрахунок параметрів режиму при асинхронному ході генератора. Розрахунок параметри режиму при порушенні балансу активних потужностей в системі.

### **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. Проведення розрахунків для виконання курсової роботи згідно з індивідуальним завданням.
- 5. Оформлення курсової роботи.

Обсяг роботи: 25-30 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. Методичні вказівки до практичних занять та виконання індивідуального завдання по курсу "Електромеханічні перехідні процеси" для студентів денної, заочної та дистанційної форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / склад. Рудевіч Н.В. – Х. : НТУ "ХПІ", 2021. – 29 с.
3. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за курсом "Електромеханічні перехідні процеси" для студентів денної, заочної та дистанційної форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / склад. Рудевіч Н.В. – Х. : НТУ "ХПІ", 2021. – 59с.
4. 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.
5. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за курсом "Електромагнітні перехідні процеси" для студентів денної, заочної та дистанційної форм навчання за спеціальністю «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / склад. Рудевіч Н.В. – Х. : НТУ "ХПІ", 2021. – 59с.
6. 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 та інтернет джерела

1. Стійкість енергосистем. Керівні вказівки. СОУ-Н МЕНВ 40.1 – 00100227-68:2012. – Київ: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2012.
2. ДСТУ ІЕС 60909-0:2007 Струми короткого замикання у трифазних системах змінного струму. Частина 0. Обчислення сили струму. – Київ: Держспоживстандарт України. – 2009.
3. <https://ua.energy>
4. <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;
- самостійна робота: 20% семестрової оцінки за виконання курсової роботи згідно з індивідуальним завданням;
- іспит: 20% 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

Дата погодження, підпис

Завідувач кафедри  
Олександр ЛАЗУРЕНКО

Дата погодження, підпис

Гарант ОП  
Галина ОМЕЛЯНЕНКО