



# ПЕРЕХІДНІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова, ПВ4</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ECTS / 150 годин (лекцій - 54, лабораторних робіт - 36, самостійна робота - 60)</i>
Семестровий контроль / контрольні заходи	<i>Залік / МКР, РГР</i>
Розклад занять	<i><a href="https://schedule.kpi.ua/">https://schedule.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н. Бардик Євген Іванович, 0501881731 Лабораторні: Вожаков Роман Вікторович, <a href="mailto:vozhakovr@fea.kpi.ua">vozhakovr@fea.kpi.ua</a></i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk">https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки магістрів: «Електроенергетика та електромеханіка», галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**Метою навчальної дисципліни** є підсилення та покращення у студентів наступних компетентностей:

*ЗК05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.*

*ЗК07. Здатність виявляти та оцінювати ризики.*

*ЗК09. Здатність виявляти зворотні зв'язки та корегувати свої дії з їх врахуванням.*

*ФК04. Здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення надійності, ефективності та безпеки при проектуванні та експлуатації обладнання та об'єктів електроенергетики, електротехніки та електромеханіки*

*ФК05. Здатність здійснювати аналіз техніко-економічних показників та експертизу проектно-конструкторських рішень в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки*

ФК11. Здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних об'єктів та систем  
ФК15. Здатність публікувати результати своїх досліджень у наукових фахових виданнях.

ФК16. Здатність до моделювання, розрахунку та аналізу параметрів перехідних процесів в електроенергетичних та електромеханічних системах.

**Програмні результати навчання:**

ПРН01. Знаходити варіанти підвищення енергоефективності та надійності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання й відповідних комплексів і систем.

ПРН02. Відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні.

ПРН05. Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах.

ПРН07. Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

ПРН22. Виконувати моделювання електроенергетичних та електромеханічних систем в рамках проведення досліджень і вирішення практичних завдань.

**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 «Теоретична механіка» та «Теоретичні основи електротехніки». Дисципліна «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» подає теорію електромеханічних перехідних процесів. При вивченні питань, пов'язаних з аналізом статичної, динамічної та результуючої стійкості ЕЕС потрібні також знання теорії електричних машин і апаратів, трансформаторів, основ теорії надійності, релейного захисту та автоматики енергосистем; значну увагу приділено питанням застосування комплексів програм розрахунку перехідних процесів в задачах формування керуючих впливів протиаварійної автоматики.

**3. Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліну структурно розділено на **7 розділів**, а саме:

1. **Вступ до дисципліни «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах».** Загальні відомості про перехідні процеси. Основні поняття і визначення, до якого ввійшли питання ,пов'язані з класифікацією та характеристиками режимів роботи ,видів перехідних процесів електричних систем ,принципів формування заступних схем електричних систем ,визначенням стійкості і методів її дослідження ,якості перехідних електромеханічних процесів.
2. **Кутові характеристики потужності найпростішої системи при незначних зміннях швидкості генератора відносно синхронної,** до якого ввійшли питання побудови векторних діаграм та визначення основних співвідношень у найпростіших системах з неявнополюсними та явно полюсними синхронними машинами ,принципів побудови ,математичного опису і алгоритмів функціонування сучасних систем збудження, якісного аналізу і кількісного визначення внутрішньої межі потужності найпростішої системи ,визначення активної і реактивної потужностей у найпростішій системі .
3. **Дійсна межа потужності системи. Статична стійкість системи з двома електричними станціями** , до якого ввійшли питання визначення активних і реактивних потужностей в

складних системах з довільним числом елементів ,визначення дійсної межі потужності двох машинної системи ,отримання математичного критерію статичної стійкості електричної системи з двома електростанціями .

4. **Стійкість електричної системи при великих збуреннях і малих змінах швидкості генераторів (динамічна стійкість)** , до якого ввійшли питання, пов'язані з вибором системи відносних одиниць основних параметрів електромеханічних перехідних процесів ,застосування способу площин при аналізі динамічної стійкості ,розрахунковим дослідженням динамічної стійкості електричної системи в аварійному , після аварійному і в режимі після АПВ ,формування диференційних рівнянь руху ротора і методів їх розв'язання .
5. **Асинхронні режими, ресинхронізація і результуюча стійкість в електричних системах** , до якого ввійшли питання ,пов'язані з причинами переходу та характеристиками асинхронних режимів роботи електричних систем, визначення параметрів системи в асинхронному режимі роботи , ресинхронізації і несинхронних включень в електричних системах .
6. **Статична стійкість складних електричних систем. Процеси при невеликих збуреннях**, до якого ввійшли питання аналізу статичної стійкості складних електричних систем методами теорії малих коливань Ляпунова, статичної стійкості найпростіших нерегульованих систем і систем облаштованих АРЗ, самозбудження в електричних системах, застосування різних критеріїв для аналізу стійкості електричних систем з постійними коефіцієнтами .
7. **Заходи щодо покращення стійкості і якості перехідних процесів електричних систем**, до якого увійшли питання, пов'язані із структурою функціями протиаварійної автоматики, застосуванням найбільш ефективних керуючих впливів протиаварійної автоматики, заходами щодо підвищення стійкості і якості перехідних процесів в електричних системах.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Основні інформаційні ресурси:

1. 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
2. Експлуатація та режими роботи електростанцій: нормальні, допустимі і аномальні режими синхронних генераторів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Є. І. Бардик. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,69 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 107 с. – Назва з екрана. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48390>

##### Додаткові:

3. Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Є. І. Бардик, Р. В. Вожаков, М. П. Болотний. – Електронні текстові дані (1 файл: 1.3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 100 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57392>
4. СОУ-Н МЕВ 40.1–00100227 -68:2012. Стійкість енергосистем. Керівні вказівки. Настанова. – К.:Міністерство палива та енергетики України, 2012.–29 с
5. Друга редакція додатку до кодексу системи передачі «Стійкість енергосистем. Керівні вказівки» НЕК «Укренерго».

6. 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.
7. Перехідні процеси в енергетиці : [Навчальний посібник] / В.В. Козирський, О.В. Гай. – К. : ЦП «Компринт», 2016. – 489 с.
8. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
9. Єгоров О. Б. Перехідні процеси в електроенергетичних установках з відновлюваними джерелами: конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії») / О. Б. Єгоров, М. Л. Глєбова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 89 с.
10. Є. І. Бардик, О. Л. Бондаренко, «Оцінка режимної надійності електроенергетичної системи на основі визначення індексу ризику при відмовах вузлів навантаження з відповідальними споживачами», *Технічні науки та технології: науковий журнал*, вип. 2, с. 105-118, 2019. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-2\(16\)-105-117](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-2(16)-105-117).
11. Є. І. Бардик, М. П. Болотний, і О. Л. Бондаренко, «Визначення ризику порушення нормального режиму енергосистеми при плановому і аварійному виведенні з експлуатації електрообладнання», *Вісник ВПІ*, вип. 2, с. 54-62, *Квіт 2021*.<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2-54-62>.
12. Є. І. Бардик, О. Л. Бондаренко, І. В. Заклюка «Аналіз методів і алгоритмів дослідження режимної надійності енергосистем в умовах каскадного розвитку відмов», *Відновлювана енергетика*, вип. 3, 2023.12с.[https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3\(74\).6-17](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74).6-17)
13. Є. І. Бардик, Я. С. Коваль. Моделі вузлового навантаження в задачах оцінки і прогнозування ризику виникнення аварійних ситуацій в електроенергетичних системах. *Відновлювана енергетика*. 2022. №4. С.26—36. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.4\(71\).26-36](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.4(71).26-36).

## 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	Вступ до дисципліни «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах». Режим роботи електричних систем. Види перехідних процесів Режим роботи електричних систем і їх класифікація. Нормальні та аварійні усталені і перехідні режимів електричних систем. Умови існування режиму. Вимоги, що пред'являються до режимів електричних систем і розрахунків перехідних електромеханічних процесів. Причини виникнення електромеханічних перехідних процесів. Призначення розрахунків перехідних електромеханічних процесів і вимоги, що пред'являються до них. Види перехідних процесів. Література: [1-3,6-8]. дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 1
2	Формування розрахункової заступної схеми електричної системи для дослідження електромеханічних перехідних процесів. Основні положення, що приймаються при аналізі. Параметри елементів розрахункових схем, необхідні для розрахунку

	<p>електромеханічних перехідних процесів. Заступні схеми основних силових елементів системи (ЛЕП, трансформатори, синхронні генератори, асинхронні двигуни). Статичні і динамічні характеристики силових елементів системи. Поняття про найпростішу, просту і складну системи. Характеристика потужності синхронних генераторів електростанцій. Література: [1-3, 7,9].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 2</p>
3	<p>Стійкість електричних систем. Методи дослідження стійкості . Поняття стійкості електричної системи. Статична, динамічна і результуюча стійкість електричних систем. Методологія дослідження статичної стійкості електричних систем. Критерій статичної стійкості найпростішої системи. Розрахункова схема системи для дослідження стійкості. Фізична картина процесів в найпростішій системі при великих збуреннях. Література: [1-3, 5-9].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 3</p>
4	<p>Векторна діаграма синхронних машин в режимі неробочого ходу за наявності навантаження . Визначення миттєвих значень струму, напруги електрорушійної сили в трифазній системі. Узагальнений вектор трифазної системи. Магнітні потоки в синхронній машині. Синхронна ЕРС. Синхронний індуктивний опір по повздовжній та поперечній осі. Перехідна ЕРС, перехідний і надперехідний опір по повздовжній і поперечній осі. Векторна діаграма СГ за наявності навантаження. Література: [1,4,6,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 4</p>
5	<p>Векторна діаграма і основні співвідношення між параметрами в найпростішій системі, що містить неявнополюсному СМ. Векторна діаграма системи з неявнополюсними генераторами і алгоритм її побудови. Основні залежності між параметрами СМ і системи. Визначення активної та реактивної потужності. Література: [1,4,6,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 5</p>
6.	<p>Векторна діаграма і основні співвідношення між параметрами в найпростішій системі, що містить явнополюсні синхронні машини. Векторна діаграма для найпростішої системи з явно полюсними генераторами. Алгоритм побудови векторної діаграми. Формули для визначення активної і реактивної потужності системи з явнополюсними синхронними генераторами. Основні залежності між параметрами СМ і системи. Кутові характеристики потужності. Визначення розрахункових значень напруг ЕРС, струмів і кутів. Література: [1,4,6,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 6</p>
7.	<p>Внутрішня межа потужності найпростішої системи. Фізична картина впливу системи регулювання збудження і частоти обертання турбіни на пропускну здатність системи. Векторна діаграма системи при змінненні навантаження і дії регулювання збудження СГ. Характеристики активної і реактивної потужності СМ при різних законах регулювання напруги. Розрахунок внутрішньої межі потужності.</p> <p>Література: [1,4,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 7</p>

8.	<p>Характеристики потужності системи з довільним числом елементів. Заступна схема складної системи. Метод накладання для визначення струмів у гілках системи. Власні і взаємні опори і провідності вузлів. Визначення власних і взаємних провідностей способом перетворення і одиничних струмів. Формули для визначення активних і реактивних потужностей окремих вузлів системи. Література: [1,6,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 8</p>
9.	<p>Дійсна межа потужності електричної системи. Вихідна і заступні схеми системи з генераторами співрозмірної потужності. Побудова дійсної характеристики потужності системи. Залежності напруги у вузлі навантаження від навантаження. Характеристики потужності при різному рівні зниження напруги. Література: [1,6,7,9].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 9</p>
10.	<p>Дійсна межа потужності двохмашинної електричної системи. Вихідна розрахункова схема двохмашинної системи. Визначення параметрів вихідного режиму і заступної T-подібної схеми системи. Визначення дійсної межі потужності і коефіцієнтів запасу за статичною стійкістю, за умови <math>Z_H = const</math>. Критерії статичної стійкості у випадку двох електростанцій. Література: [1,6,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 10</p>
11.	<p>Система відносних одиниць основних параметрів електромеханічних процесів. Система відносних одиниць. Вирази для часу, кута, швидкості, прискорення, потужності кінетичної енергії руху ротора в іменованих і відносних механічних і електричних величинах. Фізична суть деяких параметрів, що характеризують рух ротора. Література: [1,6,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 11</p>
12.	<p>Динамічна стійкість електричної системи в аварійному режимі. Заступна схема системи у вихідному і аварійному режимі. Визначення параметрів системи у вихідному режимі і аварійному режимі. Побудова характеристики потужності найпростішої системи в аварійному режимі. Коливання генераторів. Енергетичні співвідношення при коливаннях. Подання процесів на фазовій площині. Метод площин і спрощений критерій, що витікає з нього. Якість перехідного процесу в аварійному режимі. Література: [1-4,6,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 12</p>
13	<p>Динамічна стійкість електричної системи в післяаварійному режимі і в режимі після АПВ. Заступні схеми системи і визначення параметрів електричної системи в післяаварійному режимі і в режимі після АПВ. Побудова характеристик потужності генератора в післяаварійному режимі і в режимі після АПВ. Визначення граничного кута відключення та АПВ. Формування заключення щодо стійкості системи в післяаварійному режимі і режимі після АПВ. Література: [1-4,6,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 13</p>
14	<p>Диференціальні рівняння руху ротора, форми їх запису і методи розв'язання. Особливості диференціального рівняння руху ротора при великих збуреннях і малих зміненнях швидкості. Фізична суть механічної сталої інерції. Форми запису диференціального</p>

	<p>рівняння руху ротора. Метод послідовних інтервалів чисельного інтегрування рівняння руху ротора. Визначення граничного часу відключення і АПВ для різних видів коротких замикань. Література: [1-4,6,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 14</p>
15	<p>Асинхронна робота синхронних машин в системі. Причини виникнення асинхронного режиму (втрата збудження, порушення динамічної і статичної стійкості). Процес випадання з синхронізму і перехід в усталений асинхронний режим. Характеристики генератора в асинхронному режимі роботи. Змінення активної, реактивної і асинхронної потужностей генератора та напруги в асинхронному режимі. Література: [1,4,6,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 15</p>
16	<p>Визначення параметрів системи в асинхронному режимі, ресинхронізація і результуюча стійкість. Параметри і характеристики елементів електричних системи при асинхронних режимах. Визначення напруги у вузлах схеми. Електричний центр коливань. Умови ресинхронізації асинхронно працюючого генератора. Вплив змінення збудження синхронних генераторів на процес ресинхронізації. Результуюча стійкість і загальні підходи до її розрахунку. Література: [1,4,6,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 16</p>
17	<p>Несинхронні включення (НВ) в електричних системах. Основні причини несинхронних включень в енергосистемі. Вихідні припущення та умови допустимості несинхронних включень синхронних машин. Заступна схема системи, основні параметри елементів для аналізу процесів НВ. Моменти на валу генератора при несинхронному включенні збуджених синхронних генераторів. Критерії допустимості несинхронного включення для турбогенераторів і гідрогенераторів. Література: [1,4,7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 17</p>
18.	<p>Статичні і динамічні характеристики основних елементів навантаження електричних систем. Загальна характеристика і склад споживачів вузлів навантаження електричних систем. Статичні характеристики окремих елементів навантаження. Синхронні компенсатори, конденсатори і комплексне навантаження. Характеристики двигунового навантаження. Формули для визначення активної і реактивної потужності асинхронних двигунів. Вплив змінення напруги і частоти мережі на стійкість роботи електродвигунів. Статичні характеристики синхронних компенсаторів і комплексного навантаження електричних систем. Динамічні характеристики двигунового навантаження. Література: [1,6,7,10,13].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 18</p>
19.	<p>Статична стійкість електричних систем і малі коливання відносно стану рівноваги . Основні задачі дослідження статичної стійкості. Фізичні закономірності перехідних процесів, що визначають статичну стійкість. Математичне формування задачі. Підходи щодо аналізу статичної стійкості систем за першим наближенням. Теорема Ляпунова щодо статичної стійкості систем за першим наближенням. Необхідні і достатні умови статичної стійкості. Алгебраїчний критерій Гурвіца. Література: [1-3,5-7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 19</p>

20.	<p>Статична стійкість найпростішої нерегульованої системи . Рівняння невеликих коливань для найпростішої нерегульованої системи без урахування збудження. Характер коренів і виду перехідного процесу при незначному відхиленні кута <math>\delta</math>. Характер процесів в найпростішій системі. Саморозгойдування. Умови виникнення і фізика саморозгойдування. Література: [1-3,5-7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 20</p>
21	<p>Статична стійкість найпростішої системи з генераторами, облаштованими АРЗ. Рівняння невеликих коливань для найпростішої регульованої електричної системи. Характеристичне рівняння, що відповідає розглядаємому перехідному процесу. Методи визначення характеру коренів характеристичного рівняння. Вплив коефіцієнтів підсилення системи АРЗ генератора на область статичної стійкості. Література: [1-3,5-7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 21</p>
22.	<p>Самозбудження в електричних системах . Причини і умови виникнення самозбудження. Параметри синхронного генератора і систем, що забезпечують можливість самозбудження. Граничні значення і зони змінення параметрів за яких самозбудження можливе. Синхронне і асинхронне самозбудження. Література: [1-3,5-7].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 22</p>
23.	<p>Структура і функції протиаварійної автоматики. Загальна характеристика структури протиаварійної автоматики. Автоматика запобігання порушення стійкості паралельної роботи, ліквідації асинхронного режиму, обмеження зниження напруги та розвантаження обладнання. Основні операції, що реалізують завдання протиаварійного регулювання. Функціональна і апаратна структура підсистеми автоматики попередження порушення стійкості. Література: [1,6,7,12,15-17].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 23</p>
24.	<p>Керуючі впливи протиаварійної автоматики. Загальна характеристика керуючих впливів ПА. Види керуючих впливів для забезпечення статичної і динамічної стійкості. Відключення генераторів електростанцій. Забезпечення необхідного рівня дозування відключення генераторів. Наслідки відключення генераторів та засоби їх обмеження. Імпульсне розвантаження турбін (IPT). Спроцена модель турбіни для аналізу IPT. Залежність швидкості і глибини розвантаження турбіни від амплітуди і тривалості імпульсу. Форми імпульсу. Література: [1,6,7,14-16].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 24</p>
25.	<p>Керуючі впливи протиаварійної автоматики. Тривале розвантаження турбін, відключення навантаження. Тривале розвантаження турбін. Засоби реалізації. Комбіноване управління потужністю турбіни при IPT. Відключення навантаження для забезпечення статичної стійкості після аварійних режимах. Література: [1,6,7,16-18].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 25</p>



26.	<p>Керуючі впливи протиаварійної автоматики. Форсування збудження, зміна уставки за напругою, електричне гальмування генератора. Форсування збудження та зміна уставки АРЗ по напрузі генераторів. Електричне гальмування генераторів (ЕГ) для підвищення динамічної стійкості. Інтерпретація фізичної суті ЕГ на кутовій діаграмі і на фазовій площині. Література: [1-4,6,7,14].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 26</p>
27.	<p>Основні заходи, для покращення стійкості. Заходи для покращення динамічної і статичної стійкості. Експлуатаційні і режимні заходи. Покращення характеристик основних елементів електричних систем: реактивний опір генераторів, гранична напруга збудника, механічна стала інерції, параметри демпферних обмоток, регулювання збудження, параметри синхронних компенсаторів і силових трансформаторів, швидкодія високовольтних вимикачів, напруга ЛЕП. Вплив активного опору, що заземлює нейтраль трансформатора на динамічну стійкість. Установки для електричного гальмування генераторів під час аварій. Література: [1-4,6,7,14-17].</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах» лекція 27</p>

Практичні заняття-не передбачено  
Лабораторні роботи

Кільк. ауд. годин	Короткий зміст лабораторної роботи
4	<p><b>Ознайомлення з устаткуванням і схемою електричних з'єднань електродинамічної моделі (ЕДМ) кафедри електричних станцій . Проведення оперативних перемикань .</b></p> <p><b>Мета роботи</b> – Ознайомлення з принципами фізичного моделювання електричних систем, складом і характеристиками устаткування ЕДМ, схемою електропостачання і головною схемою електричних з'єднань ЕДМ електростанції .</p> <p>Література: [2], дистанційний курс «<b>Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах</b>» , <a href="https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk">https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk</a> , лабораторна робота №1 .</p>
4	<p><b>Моделювання перехідних електромеханічних процесів в електроенергетичній системі на ЕДМ. Керування ЕДМ .</b></p> <p><b>Мета роботи</b> – Ознайомлення з роботою окремих елементів ЕДМ ,режимами керування ЕДМ електростанції (подача напруги, включення ,відключення ,набирання навантаження,розвантаження силових агрегатів) /</p> <p>Література: [2], дистанційний курс «<b>Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах</b>», <a href="https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk">https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk</a> , лабораторна робота №2.</p>
4	<p><b>Експериментальне визначення параметрів елементів ЕДМ .</b></p> <p><b>Мета роботи</b> – Ознайомлення з методами експериментального визначення параметрів електричних систем ,необхідних для аналізу статичної і динамічної стійкості ЕДМ .</p>

	<p><i>Література: [2],</i>  дистанційний курс «<b>Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах</b>» , <a href="https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk">https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk</a> ,  <i>лабораторна робота №3.</i></p>
4	<p><b>Дослідження статичної стійкості найпростішої нерегульованої системи .</b>  <b>Мета роботи</b> – Ознайомлення з методикою експериментального і аналітичного дослідження статичної стійкості найпростішої нерегульованої системи .  <i>Література: [2],</i>  дистанційний курс «<b>Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах</b>» , <a href="https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk">https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk</a> ,  <i>лабораторна робота №4.</i></p>
4	<p><b>Дослідження статичної стійкості найпростішої регульованої системи .</b>  <i>Література: [2], с.41-47.</i>  <b>Мета роботи</b> – Ознайомлення з методикою експериментального і аналітичного дослідження статичної стійкості найпростішої регульованої системи .  <i>Література: [2],</i>  дистанційний курс «<b>Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах</b>» , <a href="https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk">https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk</a> ,  <i>лабораторна робота №5.</i></p>
4	<p><b>Дослідження впливу на динамічну стійкість різної тривалості трифазного короткого замикання від шин станції .</b>  <b>Мета роботи</b> – аналітично дослідити вплив на динамічну стійкість найпростішої системи різної тривалості симетричного КЗ .  <i>Література: [2],</i>  дистанційний курс «<b>Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах</b>» , <a href="https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk">https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk</a> ,  <i>лабораторна робота №6.</i></p>
4	<p><b>Дослідження впливу на динамічну стійкість віддаленості короткого замикання від шин станції .</b>  <b>Мета роботи</b> – аналітично дослідити вплив на динамічну стійкість найпростішої системи різної віддаленості несиметричному КЗ .  <i>Література: [2],</i>  дистанційний курс «<b>Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах</b>» , <a href="https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk">https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk</a> ,  <i>лабораторна робота №7.</i></p>
4	<p><b>Дослідження несинхронного включення та несинхронного АПВ .</b>  <b>Мета роботи</b> – дослідити процеси і перевірити можливість і допустимість несинхронного включення та несинхронного АПВ в різних режимах роботи електричної системи .  <i>Література: [2],</i>  дистанційний курс «<b>Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах</b>», <a href="https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk">https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk</a> ,  <i>лабораторна робота №8 .</i></p>

4	<p><b>Дослідження асинхронного режиму синхронних генераторів електростанцій.</b>  <b>Мета роботи</b> – дослідження роботи синхронних генераторів електростанцій в асинхронних режимах: аналіз змінення режимних параметрів, визначення допустимості роботи генераторів та умов їх ресинхронізації.  Література: [2],  дистанційний курс «<b>Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах</b>», <a href="https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk">https://classroom.google.com/c/MTUyODc5NzEyNjc1?cjc=yhmjlxk</a>,  лабораторна робота №9 .</p>
---	---

## 6. Самостійна робота студента

№	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Розділ 1. Тема . Схеми і опори які заміщують синхронну машину при синхронній роботі та за наявності ковзання. Література: [1,4,6,7] .	2
2	Розділ 2. Тема . Врахування активного опору силових елементів найпростішої системи з неявнополісними генераторами при визначенні внутрішньої активної і реактивної потужностей. Література: [1,4,6,7] .	2
3	Розділ 2. Тема . Сучасні системи збудження синхронних компенсаторів і синхронних двигунів і автоматичного регулювання збудження Література: [1,4] .	2
4	Розділ 2. Векторна діаграма синхронних машин в режимі неробочого ходу за наявності навантаження . Література: [1,2,4,6,7] .	2
5	Розділ 3. Тема . Методи визначення струмів активних і реактивних потужностей елементів складних електричних систем Література: [1,6,7] .	2
6	Розділ 3. Тема . Математичний критерій статичної стійкості системи з двома електростанціями. Література: [1,6,7] .	2
7	Розділ 4. Тема . Спосіб площин при дослідженні стійкості двох електростанцій. Література: [1,4,6,7] .	2
8	Розділ 4. Тема . Коливання ротора синхронної машини, що виникають під дією гармонічної сили. Великі вимушені коливання Література: [1,4,6,9] .	2
9	Розділ 4. Тема . Чисельне розв'язання рівняння відносного руху ротора при врахуванні електромагнітних перехідних процесів Література: [1,6,9,14] .	2
10	Розділ 4. Тема . Методи чисельного інтегрування диференціальних рівнянь руху ротора синхронних машин при великих збуреннях Література: [1,6,14] .	2
11	Розділ 5. Тема . Формули для визначення асинхронного моменту активної і реактивної потужності синхронної машини при втраті збудження	2

	Література: [1,4,7] .	
12	Розділ 5. Тема. Визначення втрат в роторних контурах при асинхронному режимі роботи синхронного генератора. Література: [1,4,7] .	2
13	Розділ 5. Тема . Електромеханічні перехідні процеси при самосинхронізації синхронних генераторів. Література: [1,4] .	2
14	Розділ 5. Несинхронні включення в електричних системах Література: [1,4,6,16] .	2
15	Розділ 6. Умови і процеси пуску асинхронних і синхронних двигунів. Література: [1,6,7] .	2
16	Розділ 6. Тема . Перехідні процеси пуску асинхронних двигунів співрозмірної потужності з потужністю джерела. Література: [1,6,7] .	2
17	Розділ 6. Самозапуск електродвигунів. Розрахунок самозапуску асинхронних і синхронних двигунів. Література: [1,6,7] .	2
18	Розділ 7. Тема . Критерії стійкості лінійної системи з постійними коефіцієнтами Література: [1,6,7] .	2
19	Розділ 7. Тема . Рівняння малих коливань складної системи з генераторами облаштованими АРЗ Література: [1,6,7,14] .	2
20	Розділ 7. Тема . Математичні моделі синхронних машин для аналізу синхронного і асинхронного самозбудження. Література: [1,6,7,14] .	2
21	Розділ 8. Тема. Статичні характеристики енергосистеми(повільне змінення частоти в усталеному режимі). Література: [1,6,7].	2
22	Розділ 8. Тема . Динамічні характеристики енергосистеми при змінній частоті. Література: [1,6,7].	2
23	Розділ 8. Тема . Математичні моделі турбін і сучасних систем збудження синхронних генераторів Література: [1,4,6,7] .	4
24	Розділ 9. Тема . Заходи режимного характеру для покращення стійкості електричних систем Література: [1,3,10-13] .	2
26	Підготовка до МКР	4
27	Підготовка до заліку	6

## 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. Відпрацювання лабораторних робіт з дисципліни є обов'язковою умовою допуску до екзамену;

- 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 лабораторних робіт: допускається як індивідуальний захист лабораторних робіт, так і колективний (у складі бригади, склад якої визначають на першому лабораторному занятті). В обох випадках оцінюють індивідуальні відповіді кожного студента.
- 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 з дисципліни «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах», участь у факультетських та інститутських наукових конференціях. Штрафні бали нараховують за захист лабораторних робіт.
- політика дедлайнів та перескладань: несвоєчасний захист лабораторних робіт передбачає нарахування штрафних балів. Якщо студент не проходив або не з'явився на МКР, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання захисту лабораторних робіт та 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 «Перехідні електромеханічні процеси в електроенергетичних системах»;
- 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:** виконання та захист лабораторних робіт, МКР

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

**Семестровий контроль:** залік

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

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

- виконання та захист дев'яти лабораторних робіт;
- виконання модульної контрольної роботи;
- виконання РГР.

Лаб. роботи	РГР	МКР	Рс	Рекз	Р
45	15	40	60		100

### **Система рейтингових (вагових) балів та критеріїв оцінювання**

#### **1. Виконання та захист лабораторних робіт**

Ваговий бал – 5 балів .

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює  $9 \times 5 = 45$  балів.

##### **Критерії оцінювання**

- 5 балів заслуговують студенти, які без похибок виконали лабораторну роботу, відповіли на всі запитання і дали аналіз результатів;
- 4 бали заслуговують студенти, які з несуттєвими похибками виконали лабораторну роботу і відповіли на запитання
- 2 бали заслуговують студенти, які приймали участь у виконанні лабораторної роботи і відповіли на частину запитань;
  - неповна або неточна відповідь при захисті роботи і погане оформлення протоколу
  - 0 балів;

#### **2. Індивідуальне семестрове завдання (РГР)**

Згідно з робочою навчальною програмою кожен студент виконує розрахунково-графічну роботу. Максимальна кількість балів за виконання РГР – 15.

##### **Критерії оцінювання**

- повне, точне і вчасне виконання – 11- 15 балів;
- розрахунок неточний є окремі несуттєві помилки – 7 -11 балів;
- розрахунок неповний, є окремі суттєві помилки – 1...7 балів;
- розрахунок неправильний – 0 балів;
- на виконання РГР відводять 8 тижнів з моменту видачі завдання; здача РГР після встановленого терміну передбачає нарахування штрафного балу -2 за кожен тиждень понад встановлений термін.

#### **3. Модульна контрольна робота**

Модульна контрольна робота складається з чотирьох частин: «Кутові характеристики потужності найпростішої системи», «Дійсна межа потужності системи. Статична стійкість системи з двома електричними станціями», «Стійкість електричної системи при великих збуреннях і малих змінах швидкості генераторів (динамічна стійкість)», «Асинхронні режими, ресинхронізація і результуюча стійкість в електричних системах» відповідно. Завдання кожної контрольної роботи складається з двох теоретичних питань і задачі.

Ваговий бал МКР – 40 балів.

Максимальний бал за МКР – 45.

## Критерії оцінювання

- 27-40 балів заслуговують студенти, які без похибок виконали роботу, показали вміння використовувати математичні моделі ЕЕС при розрахунках перехідних процесів, дали пояснення при розрахунках та отриманих результатах;
- 17-26 балів заслуговують студенти, які без похибок виконали завдання, дали пояснення отриманих результатів;
- 8-16 балів заслуговують студенти, які з несуттєвими похибками виконали завдання;
- 0 - 7 балів заслуговують студенти, які з принциповими похибками виконали завдання, або зовсім не виконали.

### 4. Додаткові завдання (заохочувальні бали)

Для покращення рейтингу студент за бажанням студента і згодою викладача може отримати додаткові бали, підготувавши стислий реферат або презентацію на задану викладачем тему або письмову відповідь на дане викладачем запитання (не більше 1 додаткового завдання на 1 студента протягом семестра)

Ваговий бал – 5

Оцінюється викладачем від 0 до 5 балів в залежності від якості підготовленого матеріалу.

Розмір шкали рейтингу R=100 балів.

#### Умови позитивної проміжної атестації

Для отримання «зараховано» з **першої проміжної атестації** (8 тиждень) студент матиме не менш ніж **17 балів** (на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів можна отримати 28 балів).

Для отримання «зараховано» з **другої проміжної атестації** (14 тиждень) студент матиме не менш ніж **40 балів** (на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів можна отримати 65 балів).

#### Семестровий контроль: залік

**Умови допуску до заліку:** написання модульної контрольної роботи. Студенти, які протягом семестру не набрали 60 балів або бажать підвищити свою оцінку виконують залікову контрольну роботу, при цьому бали, набрані в семестрі, анулюються.

Ваговий бал залікової контрольної роботи – **100**

Критерії оцінювання залікової контрольної роботи:

- вичерпні відповіді на всі основні, а також на додаткові питання, чітке визначення всіх понять; величин – **95..100 балів**;
- в деяких відповідях мають місце певні неточності – **85...94 бали**;
- допускаються окремі помилки, має місце знання основних понять і величин, розуміння суті перехідних електромеханічних процесів в електроенергетичних системах – **75...84 бали**;
- припускаються суттєві помилки, неповне розуміння основних понять і суті процесів в електроенергетичних системах – **60...74 бали**.
- Незнання матеріалу, нерозуміння основних понять і процесів в електроенергетичних системах – **менше 60 балів**

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

**Складено** доцентом кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА, к.т.н. Бардином Є.І.

**Ухвалено** кафедрою відновлюваних джерел енергії ФЕА (протокол № 10 від 17.05.2023 р.)

*Погоджено Методичною комісією факультету<sup>1</sup> (протокол № 10 від 16.06.2023*

---

<sup>1</sup>Методичною радою університету– для загальноуніверситетських дисциплін.