



# ПЕРЕХІДНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>Електричні системи і мережі (Electrical Power Systems and Networks) Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії (Alternative and Renewable Sources of Energy) Управління, захист та автоматизація енергосистем (Control, Protection and Automation of Electric Power System)</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>III курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити/ECTS 180 годин (лекцій – 36, практичних занять – 18, лабораторних занять – 18, самостійна робота - 48)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР/РГР/здача лабораторних робіт</i>
Розклад занять	<i>Лекційні заняття – 1 раз на тиждень; практичні, лабораторні заняття – 1 раз на два тижні</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: Вожаков Роман Вікторович, <a href="mailto:vozhakov-fea@iit.kpi.ua">vozhakov-fea@iit.kpi.ua</a> Практичні: Вожаков Роман Вікторович, <a href="mailto:vozhakov-fea@iit.kpi.ua">vozhakov-fea@iit.kpi.ua</a> Лабораторні: Бондаренко В'ячеслав Іванович, <a href="mailto:bondarenko.vyacheslav@iit.kpi.ua">bondarenko.vyacheslav@iit.kpi.ua</a> Бондаренко Олександр Леонідович, <a href="mailto:bondarenko.oleksandr@iit.kpi.ua">bondarenko.oleksandr@iit.kpi.ua</a></i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://classroom.google.com/c/NTgwODE1OTI2Njk5?cjc=pjyfoam">https://classroom.google.com/c/NTgwODE1OTI2Njk5?cjc=pjyfoam</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах», складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів: «Електричні системи і мережі», «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії», «Управління, захист та автоматизація енергосистем», галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**Метою навчальної дисципліни** є поглиблення у студентів наступних компетентностей:

*K07. Здатність працювати в команді.*

*K08. Здатність працювати автономно.*

*K13. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних систем та мереж, електричної частини станцій і підстанцій та техніки високих напруг.*

*K16. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії.*

*K21. Здатність оперативно вживати ефективні заходи в умовах надзвичайних (аварійних) ситуацій в електроенергетичних та електромеханічних системах.*

**Програмні результати навчання:**

*ПР07. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах.*

*ПР20. Знати і розуміти особливості режимів роботи електрообладнання електричних станцій в нормальних та аварійних умовах.*

**2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

*Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти знаннями, що ґрунтуються на матеріалі попередніх дисциплін, а саме: Електричні машини, Електричні мережі та системи. Знання, отримані при вивченні даної дисципліни, в подальшому допоможуть при вивченні дисциплін: Електрична частина станцій, Релейний захист.*

**3. Зміст навчальної дисципліни**

*Дисципліну структурно розподілено на 5 розділів, а саме:*

1. **Вступ**, до якого ввійшли поняття про електроенергетичну систему; загальні відомості про електромагнітні перехідні процеси.

2. **Формування розрахункової схеми енергосистем**, до якого ввійшли питання про параметри елементів енергосистем; еквівалентні перетворення при розрахунках струмів КЗ.

3. **Методи розрахунків струмів КЗ при симетричних КЗ**, до якого ввійшли питання про перехідні електромагнітні процеси в найпростіших трифазних колах; усталені режими КЗ; початковий момент КЗ; практичні методи розрахунку струмів КЗ.

4. **Електромагнітні перехідні процеси при порушенні симетрії в системі**, до якого ввійшли питання про формування схем несиметричних систем; однократну поперечну несиметрію; однократну продольну несиметрію.

**4. Навчальні матеріали та ресурси**

Основні інформаційні ресурси:

1. *Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах [Електронний ресурс]: навчальний посібник курсу лекцій для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Є.І. Бардик, М.П. Болотний – Електронні текстові дані (1 файл: 0,75 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 95 с*

2. *Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах: Лабораторний практикум. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів всіх форм навчання спеціальності 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Є.І. Бардик, М.П. Болотний. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 55 с.*

3. *Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах: практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Є.І. Бардик, М.П. Болотний – Електронні текстові дані (1 файл: 1,28 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 53 с*

4. *Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах: розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ.*

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ /КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Є.І. Бардик, М.П. Болотний – Електронні текстові дані (1 файл: 1,28 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 53 с Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48307>

5. *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.*

6. *Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. – Харків: ТОВ «В справі», 2016. – 260 с. – Бібліогр.: с. 254.*

7. *Мельник В.П. Математичні моделі і методи аналізу режимів електроенергетичних систем. – К., 2005. – 608 с., іл.*

8. *Сивокобиленко В. Ф., Василець С. В. Математичне моделювання перехідних процесів в електротехнічних комплексах шахтних електричних мереж : монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2017. 272 с.*

9. *Черемісін М.М. Перехідні процеси в системах електропостачання. – Х.: Факт, 2005. – 176с.*

10. *Методичні рекомендації до вивчення дисципліни «Перехідні процеси в електроенергетиці» спеціальності «Електричні станції». Частина 1/ Уклад.: М.В. Костерев, М.П. Болотний – К.: НТУУ «КПІ» ФЕА, 2013*

11. *Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів. / Г.Г. Півняк, М.В. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен, Дніпропетровськ: НГУ, 2002. – 597 с.*

12. *Дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» <https://classroom.google.com/c/MjYxNDY2ODQxNzgz?cjc=5ilus47>*

#### Додаткові:

1. *Dr. Juan A. Martinez-Velasco, “Transient Analysis of Power Systems: A Practical Approach“. - Wiley-IEEE Press; 1st edition, 2020. - 624 pages.*

2. *Suresh Penagaluru, Sudheer Kasa, C.H. Lenin Babu, "Transient Stability Analysis and Improvement using FACTS Controllers: Optimal Placement of FACTS devices for Transient Stability Improvement in Multi Machine Power System “, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. - 84 pages.*

3. *Bairu Vijay Kumar, “Transient Stability Enhancement of Multi Machine Power System: using Unified Power Flow Controller“. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019 – 84 pages.*

4. *Dr. Juan A. Martinez-Velasco, “Transient Analysis of Power Systems: Solution Techniques, Tools and Applications“, Wiley-IEEE Press; 1st edition, 2015 - 648 pages.*

5. *C.S.D.P. Kotharik. Ramalingam Indulkar, “Power System Transients: A Statistical Approach“, PHI; 2nd edition, 2010. - 276 pages*

6. *Sarma (NDR) Nuthalapati, “Use of Voltage Stability Assessment and Transient Stability Assessment Tools in Grid Operations (Power Electronics and Power Systems)“, Springer; 1st ed. 2021 edition, 2021. - 422 pages.*

7. *Zhengming Zhao, Liqiang Yuan, Hua Bai, Ting Lu, “Electromagnetic Transients of Power Electronics Systems“, Springer; 1st ed. 2019 edition, 2019. - 483 pages.*

8. *Neville Watson, Jos Arrillaga, “Power Systems Electromagnetic Transients Simulation (Energy Engineering)“, The Institution of Engineering and Technology; 2nd edition, 2019. - 528 pages.*

9. Akihiro Ametani, Naoto Nagaoka, Yoshihiro Baba, Teruo Ohno, Koichi Yamabuki, "Power System Transients: Theory and Applications", CRC Press; 2nd edition, 2016. - 600 pages.
10. Fabian M. Uriarte, "Multicore Simulation of Power System Transients (Energy Engineering)", The Institution of Engineering and Technology, 2013. - 312 pages.
11. Eiichi Haginomori, Tadashi Koshiduka, Junichi Arai, Hisatochi Ikeda, "Power System Transient Analysis: Theory and Practice using Simulation Programs (ATP-EMTP)", Wiley; 1st edition, 2016. - 280 pages.
12. Venkata Dinavahi, Ning Lin, "Real-Time Electromagnetic Transient Simulation of AC-DC Networks ", Wiley-IEEE Press; 1st edition, 2021. - 608 pages.
13. Manual PowerFactory 14.1.
14. СОУ-Н МЕВ 40.1 – 00100227 -68: 2012. Стійкість енергосистем. Керівні вказівки. Настанова. – К.: Міністерство палива та енергетики України, 2012. – 29 с.
15. Вимоги до вітрових та сонячних фотоелектричних електростанцій потужністю більше 150кВт щодо приєднання для зовнішніх електричних мереж. Режим доступу: <http://ua.energy>.
16. СОУ НЕК 20.571:2018. Визначення необхідних умов і алгоритмів врахування ВЕС та СЕС при налаштуванні протиаварійних автоматичних пристроїв, призначених для запобігання порушенню стійкості (АЗПС) у перетинах ОЕС України, на режим роботи яких вони мають вплив. Методичні рекомендації. – К.: ДП «НЕК «Укренерго», 2018.–53с.
17. Забезпечення стійкості енергосистем та їх об'єднань: За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2018. – 320 с.

#### Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	<b>Загальні відомості.</b> Визначення електроенергетичної системи. Режими роботи енергосистеми. Класифікація електромагнітних перехідних процесів. Причини виникнення КЗ та їх наслідки. Завдання на СРС. Підготовка до лекції – Вимоги до розрахунків струмів короткого замикання. Література [ 1], с.4-16, [2], с.5-11. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 1 <a href="https://classroom.google.com/c/MjYxNDY2ODQxNzkz?cjc=5ilus47">https://classroom.google.com/c/MjYxNDY2ODQxNzkz?cjc=5ilus47</a>
2	<b>Параметри елементів енергосистеми.</b> Схема заміщення електричної системи. Параметри генератора, трансформатора, ЛЕП, реактора, навантаження, Струмообмежувачі апарати. Література [ 1], с.48-54, [2], с.20-24, [3], с. 11-12. Завдання на СРС: Відпрацювати перелічені питання за вказаною літературою. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 2
3	<b>Система одиниць.</b> Система відносних одиниць. Приведення параметрів елементів системи до одного ступеня напруги. Література [ 1], с.48-54, [2], с.42-44, [3], с. 71-76. Завдання на СРС: Відпрацювати перелічені питання за вказаною літературою. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 3

4	<p><b>Система одиниць.</b> Приведення параметрів схеми до базисних умов. Точне приведення з урахуванням коефіцієнтів трансформації, приблизне по середнім напругам. Приведення при умові однакових напруг по кінцям ліній зв'язку. Література [1], с.56-64, [2], с.45-48, [3], с. 77-80. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 4</p>
5	<p><b>Методи спрощення схем електричної системи. Загальний метод еквівалентування пасивного кола.</b> Перетворення схем з послідовними та паралельними гілками, трипроменевої зірки в еквівалентний трикутник, трикутника в зірку, багато променевої зірки в багатокутник з діагоналями. Визначення власних та взаємних провідностей вузлів електричної системи. Матричний метод еквівалентування пасивного кола. Струмозподіл в електричній мережі при КЗ.</p> <p>Завдання на СРС. Підготовка до лекції – Визначення вузлів рівного потенціалу. Метод накладання при розрахунках струму КЗ.. Література [1], с.46-49, [2], с.20-34, [5], с.58 – 65, [2]., с.49-53. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 5</p>
6	<p><b>Трифазне КЗ в нерозгалуженому колі.</b> Основні відомості. Формування рівнянь стану кола при КЗ. Визначення формули струму КЗ. Векторна діаграма. Характеристики струму КЗ. Осцилограма струму КЗ. Ударний струм КЗ.</p> <p>Завдання на СРС : Діюче значення струму КЗ. Література [1], с.284-288, [2], с.47-50. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 6</p>
7	<p><b>Метод визначення усталеного режиму КЗ.</b> Загальні зауваження. Основні характеристики генератора, який працює в режимі КЗ. Режими роботи генератора з АРЗ. Метод розрахунку усталеного струму КЗ у складній електричній системі.</p> <p>Завдання на СРС: Метод розрахунку струму КЗ в радіальній схемі системи.</p> <p>Література : [1]., с. 102-104. [2], с. 335-347, с. 83-88. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 7</p>
8	<p><b>Перехідні ЕРС і реактивності генератора без демпферних обмоток.</b> Загальні зауваження. Баланс магнітних потоків в обмотках генератора. Визначення перехідних ЕРС та реактивностей генератора. Схема заміщення генератора без демпферних обмоток. Література [1], с. 335-347, с. 83-88. Завдання на СРС: Відпрацювати перелічені питання за вказаною літературою. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 8</p>
9	<p><b>Надперехідні ЕРС і реактивності генератора з демпферними обмотками.</b> Загальні зауваження. Потокозчеплення обмоток генератора. Визначення надперехідних ЕРС і реактивностей генератора з демпферними обмотками. Векторна діаграма генератора. Література [1]., с. 121-129. [2], с. 350-357. Завдання на СРС: Відпрацювати перелічені питання за вказаною літературою. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 9</p>
10	<p><b>Врахування навантаження при розрахунках струму КЗ.</b> Порівняння реактивностей синхронних генераторів. Врахування навантаження в усталеному режимі КЗ. Вплив та врахування навантаження в початковий момент КЗ. Література[2] с.1-88, [11] с.1-52, [4] с.1-59, [7] с.59-67, [18] Завдання на СРС: Відпрацювати перелічені питання за вказаною літературою. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 10</p>

11	<b>Практичні методи розрахунку струму КЗ.</b> Метод розрахункових кривих. Обґрунтування методу розрахункових кривих. Метод індивідуальної зміни. Алгоритм розрахунку струму КЗ за методом індивідуальної зміни. Література: [2] с. 11-88 дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 11
12	<b>Спрошені методи врахування зовнішніх систем при розрахунках струму КЗ.</b> Література [3] с.76-88, [4] с.42-52 Завдання на СРС: Відпрацювати перелічені питання за вказаною літературою. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 12
13	<b>Метод симетричних складових при аналізі несиметричних режимів.</b> Основні положення методу симетричних складових. Розподіл несиметричного режиму на три симетричних. Схема заміщення прямої послідовності. Параметри елементів системи для зворотної послідовності. Література [1],с. 275-279. Завдання на СРС: Відпрацювати перелічені питання за вказаною літературою. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 13
14	<b>Формування схеми заміщення системи нульової послідовності.</b> Загальні зауваження. Параметри елементів системи для формування схеми нульової послідовності: генератор, ЛЕП, реактор, трансформатор, кабель. Правила побудови схеми заміщення нульової послідовності. Література [1],с. 279-285, [5]. с.42-52. Завдання на СРС: Параметри нульової послідовності автотрансформатора. Література [1], с.305-309. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 14
15	<b>Аналіз несиметричних струмів КЗ.</b> Загальні положення. Трифазне КЗ. Двофазне КЗ. Однофазне КЗ. Векторні діаграми. Комплексні схеми заміщення. Література [1], с.315-320, 339-346. Завдання на СРС: Відпрацювати перелічені питання за вказаною літературою. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 15
16	<b>Аналіз несиметричних струмів КЗ.</b> Двофазне КЗ на землю. Векторні діаграми. Комплексні схеми заміщення. Правило еквівалентування прямої послідовності. Алгоритм розрахунку струму несиметричного КЗ методом розрахункових кривих. Література [1], с.321-333, 339-346. Завдання на СРС: Відпрацювати перелічені питання за вказаною літературою. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 16
17	<b>Окремі питання методу симетричних складових при визначенні струму КЗ.</b> Порівняння видів короткого замикання. Розподіл та трансформація струмів і напруг при переході через трансформатор. Література [1]. с.325-329, 435-441. 5. Завдання на СРС - Комплексні схеми заміщення при однократній поперечній несиметрії. Література [1], с. 311-315. Завдання на СРС: Відпрацювати перелічені питання за вказаною літературою. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 17
18	<b>Окремі питання методу симетричних складових при визначенні струму КЗ.</b> Розподіл та трансформація струмів і напруг при переході через автотрансформатор. Просте замикання на землю. Література [1] с.325-329, 435-441. Завдання на СРС - Комплексні схеми заміщення при однократній поперечній несиметрії. Література [5] с. 311-315 дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лекція 18

*Практичні заняття*

<i>№</i>	<i>Назва теми заняття та перелік основних питань</i>
1	<i>Параметри елементів електричної системи. Побудова схеми заміщення електричної системи Розв'язання задач. літературні джерела [2], с. 244-253; [6], с.5-11; [10], с.8-10; дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах»</i>
2	<i>Розрахунок параметрів електричної системи у різній системі одиниць Розв'язання задач. літературні джерела [6], с.11-22; [10], с.11-15. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах»</i>
3	<i>Модульна контрольна робота</i>
4	<i>Аналіз трифазного КЗ у нерозгалуженому колі літературні джерела [6], с. 42-45; дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах»</i>
5	<i>Усталені режими КЗ літературні джерела[6], с.46-49; с.71-77. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах»</i>
6	<i>Використання практичних методів розрахунку струмів КЗ Розв'язання задач. літературні джерела [6], с.82-88; [10], с.74-78.; дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах»</i>
7	<i>Розрахунок струмів при несиметричних КЗ літературні джерела [6], с.91-99; [10], с.78-82. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах»</i>
8	<i>Розрахунок струмів при несиметричних КЗ з використанням метода розрахункових кривих Розв'язання задач. Літературні джерела: [6], с.91-99; [10], с.78-82. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах»</i>
9	<i>Розрахунок граничної потужності найпростішої системи з неявнополюсними генераторами Розв'язання задач. літературні джерела: [8], с.4-25. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах»</i>

*Лабораторні роботи (комп'ютерний практикум)*

<i>№</i>	<i>Короткий зміст лабораторної роботи</i>
1	<p align="center"><i>Дослідження залежності струму трифазного короткого замикання від часу</i> <i>(Лабораторна робота №1)</i></p> <p><b>Мета роботи</b> – одержати залежність величини струму трифазного короткого замикання від часу при різній відстані до місця ушкодження.</p> <p><b>Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</b></p> <p>1. Вивести графік величини струму короткого замикання при заданих вхідних параметрах схеми та режиму роботи системи. 2. Провести серію розрахунків для різних типів регуляторів збудження.</p> <p>У звіті привести параметри досліджуваного генератора і схеми; дати аналіз отриманих результатів.</p> <p>Література: [1], с.9-16</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лабораторні роботи</p>

2	<p><i>Дослідження залежності величини струму короткого замикання від відстані місця пошкодження для різних моментів часу (Лабораторна робота №2)</i></p> <p><b>Мета роботи</b> – одержати залежність <math>I_{кз} = f(X\Sigma)</math> для різних моментів часу</p> <p><b>Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вивести графік величини струму короткого замикання при заданих вхідних параметрах схеми та режиму роботи системи.</li> <li>2. Змінюючи віддаленість точки КЗ від шин електростанції вивести графік величини струму короткого замикання.</li> </ol> <p>У звіті привести: параметри досліджуваного генератора; таблиці з результатами розрахунку, графіки і їхній аналіз</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лабораторні роботи</p>
3	<p><i>Визначення реактивних опорів однофазних і трифазних двохобмоткових трансформаторів (Лабораторна робота №3)</i></p> <p><b>Мета роботи</b> – отримати навички експериментального визначення опорів прямої, зворотної і нульової послідовностей для двохобмоточних силових трансформаторів.</p> <p><b>Програма проведення досліджень:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Визначення опору прямої послідовності, що відповідає схемі з'єднання обмоток трансформатора.</li> <li>2. Визначення опору зворотної послідовності, що відповідає схемі з'єднання обмоток трансформатора.</li> <li>3. Визначення опору нульової послідовності, що відповідає схемі з'єднання обмоток трансформатора.</li> </ol> <p>Зробити висновки по наступних питаннях: а) фактори, що впливають на опір прямої і зворотної послідовності; б) залежність опору нульової послідовності від схеми з'єднання обмоток трансформатора.</p> <p>Література: [1], с.29-40</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лабораторні роботи</p>
4	<p><i>Дослідження трифазного короткого замикання в нерозгалуженому колі (Лабораторна робота №4)</i></p> <p><b>Мета роботи</b> – дослідити перехідний процес у радіальному колі</p> <p><b>Програма проведення досліджень:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Змінюючи значення кута включення <math>\alpha</math>, визначити вплив його на перехідний процес.</li> <li>2. Змінюючи значення <math>k_{з}</math> від 0 до 100% визначити вплив ступіня завантаження генератора до аварії на перехідний процес. Заповнити таблицю при <math>k = I_{лЭП}/2</math>, <math>\alpha=30^\circ</math>.</li> <li>3. Змінюючи значення <math>k</math> від 0 до <math>I_{лЭП}</math> визначити вплив на перехідний процес віддаленості короткого замикання від генератора. Заповнити таблицю при <math>\alpha=0^\circ</math>, <math>k_{з}=50\%</math>.</li> </ol> <p>Література: [1], с.41-47</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лабораторні роботи</p>



5	<p><i>Ознайомлення з устаткуванням і схемою електричних з'єднань електродинамічної моделі (ЕДМ) кафедри (Лабораторна робота №5)</i></p> <p><b>Мета роботи</b> – ознайомитися з принципами фізичного моделювання електричних систем, самостійно підібрати устаткування для постановки експерименту на ЕДМ по перехідним процесам.</p> <p><b>Програма проведення досліджень:</b> У результаті виконання роботи студенти повинні закріпити знання в області основ фізичного моделювання електричних систем, уміти самостійно вибрати устаткування для постановки експерименту.</p> <p>Література: [1], с.51-57</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лабораторні роботи</p>
6	<p><i>Моделювання перехідних процесів в електричній системі на ЕДМ. Керування ЕДМ (Лабораторна робота №6)</i></p> <p><b>Мета роботи</b> – ознайомитися з роботою елементів ЕДМ при дослідженні перехідних процесів і інших режимів системи.</p> <p><b>Програма проведення досліджень:</b> навчитися керуванню ЕДМ кафедри для того, щоб самостійно виконувати експерименти по перехідних процесах на ЕДМ відповідно до поставленого завдання.</p> <p>Література: [1], с.61-67</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лабораторні роботи</p>
7	<p><i>Експериментальне визначення параметрів елементів ЕДМ (Лабораторна робота №7)</i></p> <p><b>Мета роботи</b> – набути навички по експериментальному визначенню параметрів елементів електричних систем, необхідних для аналізу статичної і динамічної стійкості ЕДМ у наступних лабораторних роботах.</p> <p><b>Програма проведення досліджень:</b> Освоїти методику постановки експериментів по визначенню і перевірці параметрів елементів електричної системи на прикладі ЕДМ кафедри.</p> <p>Література: [1], с.71-77</p> <p>дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лабораторні роботи</p>
8	<p><i>Стійкість найпростішої нерегульованої системи (Лабораторна робота №8)</i></p> <p><b>Мета роботи</b> – навчити студентів методиці експериментального й аналітичного дослідження стійкості найпростішої нерегульованої системи.</p> <p><b>Програма проведення досліджень:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Побудувати і проаналізувати експериментальні характеристики залежності напруги на генераторі і кута зсуву напруги (ЕДС) генератора.</li> <li>2. Визначити експериментально і порівняти з розрахунком граничну потужність.</li> </ol> <p>Література: [1], с.81-87. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лабораторні роботи</p>

9	<p style="text-align: center;"><i>Стійкість найпростішої регульованої системи (Лабораторна робота №9)</i></p> <p><b>Мета роботи</b> – навчити студентів методиці експериментального й аналітичного дослідження стійкості найпростішої регульованої системи; здобути навички вибору розрахункових параметрів елементів системи для розрахунку регульованої електричної системи; усвідомити переваги регульованих електричних систем; усвідомити сутність перехідних процесів при аперіодичній і періодичній нестійкості систем.</p> <p><b>Програма проведення досліджень:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Побудувати і проаналізувати експериментальні характеристики залежності струму збудження генератора і кута зсуву напруги (ЕРС) генератора і напруги у вузлі навантаження при незмінній напрузі на генераторі і зміні потужності вузла навантаження.</li> <li>2. Вибрати (відсутні визначити) розрахункові параметри елементів системи при регулюванні збудження, що забезпечують незмінність напруги на зажимах генератора; розрахувати й побудувати кутову характеристику потужності найпростішої регульованої системи і порівняти її з експериментальною.</li> <li>3. Визначити експериментально і порівняти з розрахунковим значенням внутрішню межу потужності найпростішої регульованої й нерегульованої систем.</li> <li>4. Порівняти межі потужності регульованої й нерегульованої найпростіших систем.</li> <li>5. Побудувати й проаналізувати векторні діаграми найпростішої регульованої системи у вихідному режимі й у режимі внутрішньої межі стійкості при неврахуванні явнополюсності генераторів і активного опору елементів системи.</li> <li>6. Порівняти результати аналізу стійкості найпростішої регульованої і нерегульованої системи, вказати їхні переваги й недоліки.</li> </ol> <p><i>Література: [1], с.91-97. дистанційний курс «Перехідні електромагнітні процеси в електроенергетичних системах» лабораторні роботи</i></p>
---	--

#### 6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Опрацювання лекційного матеріалу	8
2	Проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях	9
3	Розв'язок задач (Закріплення матеріалу практичних занять)	8
4	Виконання розрахунково-графічної роботи	15
5	Підготовка до МКР	2
6	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 електромагнітні процеси в електроенергетичних системах», участь у факультетських та інститутських наукових конференціях. Штрафні бали нараховують за несвоєчасне виконання РГР та несвоєчасний захист лабораторних робіт.*
- *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;*
- *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:** *здача лабораторних робіт, МКР, РГР, розв'язання задач*

**Календарний контроль:** *провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.*

**Семестровий контроль:** *залік*

**Умови допуску до семестрового контролю:** *мінімальна позитивна оцінка за модульну контрольну роботу, зарахування усіх лабораторних робіт, мінімальна позитивна оцінка за розрахунково-графічну роботу.*

*Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:*

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
<i>100-95</i>	<i>Відмінно</i>
<i>94-85</i>	<i>Дуже добре</i>
<i>84-75</i>	<i>Добре</i>
<i>74-65</i>	<i>Задовільно</i>
<i>64-60</i>	<i>Достатньо</i>
<i>Менше 60</i>	<i>Незадовільно</i>
<i>Не виконані умови допуску</i>	<i>Не допущено</i>

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

- *виконання та захист дев'яти лабораторних робіт;*
- *розв'язання задач на практичних заняттях;*
- *виконання модульної контрольної роботи (МКР);*
- *виконання розрахунково-графічної роботи (РГР).*

<i>Лаб. роботи</i>	<i>Розв'язання задач</i>	<i>МКР</i>	<i>РГР</i>	<i>R</i>
<i>36</i>	<i>9</i>	<i>20</i>	<i>35</i>	<i>100</i>

### **Розв'язання задач на практичних заняттях**

Ваговий бал – 1.

Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях –

1 бал \* 9 = 9 балів.

#### **Критерії оцінювання**

- вірне розв'язання задачі – 1 бал;
- невірне розв'язання задачі – 0 балів.

### **Виконання та захист лабораторних робіт**

Ваговий бал – 4.

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює  $4 \times 9 = 36$  балів.

#### **Критерії оцінювання**

- повне виконання експериментальної частини роботи, точна обробка експериментальних даних, якісне оформлення протоколу і повна відповідь при захисті роботи – 4 бали;
- незначні помилки при захисті лабораторної роботи, обробка експериментальних даних з незначними помилками або неякісне оформлення протоколу – 3 бала;
- суттєві помилки при захисті лабораторної роботи але є розуміння теми і матеріалу лабораторної роботи – 2 бали;
- неповна або неточна відповідь при захисті роботи і незадовільне оформлення результатів роботи – 0 балів;

### **Модульна контрольна робота**

Модульна контрольна робота складається з двох частин: теоретичне питання і задача відповідно. Ваговий бал кожної частини МКР – 10 балів.

Максимальний бал за МКР –  $2 * 10 = 20$ .

#### **Критерії оцінювання**

- повне виконання відповідної частини МКР – 10 балів;
- недосконале виконання відповідної частини МКР – 6...9 балів;
- відсутність роботи, невірне виконання або є суттєві недоліки – 0 балів.

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

Кожен студент виконує розрахунково-графічну роботу.

Максимальна кількість балів за виконання РГР – 35.

Критерії оцінювання

- повне, точне і вчасне виконання всіх задач – 35 балів;
- виконано всі задачі, але розрахунок неточний є окремі несуттєві помилки – 17...34 бали;
- виконано всі задачі, але розрахунок неповний, є окремі суттєві помилки – 11...16 балів;
- розрахунок неправильний, або виконано не всі задачі – 0 балів;

на виконання РГР відводиться 3 тижні з моменту видачі завдання.

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації.

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

Рейтинг  $R_c \geq 60$  балів – за бажанням студента зараховується автоматично як остаточний рейтинг засвоєння матеріалу освітнього компоненту. Якщо студент не погоджується, то

остаточна оцінка з дисципліни виставляється за результатами виконання залікової роботи, яка анулює попередній семестровий рейтинг студента.

Рейтинг  $R_c$  в межах  $(0,4 - 0,59) \cdot R$ , тобто 40 – 59 балів – студенти виконують залікову роботу.

Залікова робота складається з двох теоретичних запитань та задачі

*Критерії оцінювання заліку*

Максимальний рейтинг залікової роботи  $R_z = 100$  балів.

- повна відповідь на всі питання (допускаються незначні недоліки) дано чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні при вірно розв'язаній задачі – 100-95 балів;
- не повна відповідь на теоретичні питання при вірно розв'язаній задачі продемонстровано знання основних понять дисципліни, в цілому розуміє фізичну суть електромагнітних процесів в об'єктах електроенергетичних систем – 94-75 балів
- повна відповідь на теоретичні питання при невірно розв'язаній задачі – 74-60 балів
- не повна відповідь на теоретичні питання: не продемонстровано достатнє розуміння фізичної суті електромагнітних процесів перетворення енергії. Відповіді непослідовні і нечіткі, а в деяких випадках не відповідають суті поставленого питання. Невірно розв'язано задачу – 0 балів

## **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

### ***Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль***

1. Аварійні режими в ЕЕС, їх наслідки та шляхи запобігання
2. Види перехідних процесів у ЕЕС, характерні ознаки можливих режимів
3. Визначення параметрів синхронних машин у початковий момент часу перехідного процесу
4. Види, причини, наслідки електромагнітних перехідних процесів у ЕЕС
5. Похибки в розрахунках струму КЗ за точним та наближеним зведеннями показників елементів схеми заміщення короткозамкненого кола
6. Вплив двигунів та узагальненого навантаження на перехідний процес при КЗ у початковий момент часу
7. Основні причини пошкодження електротехнічного обладнання
8. Призначення розрахунків струмів КЗ на різних ступенях розподілу електроенергії
9. Вплив АРЗ на характер перехідного процесу перебігу струму КЗ
10. Вплив електричної віддаленості точки КЗ на джерела живлення
11. Лінійне перетворення диференціальних рівнянь синхронних машин з трифазними обмотками та симетричним ротором
12. Визначення зміни повного струму та його складових при КЗ у різних точках ЕЕС
13. Усталені аварійні режими синхронних машин
14. Принципи складання схем заміщення електричних мереж для аналізу перехідних процесів
15. Джерела живлення місця КЗ та визначення створюваних ними струмів КЗ
16. Порівняння результатів розрахунку струму КЗ за його загальною та індивідуальною змінами для конкретної схеми ЕЕС
17. Особливості розрахунку струму КЗ для системи електропостачання підприємства
18. Розробка алгоритму та програми розрахунку струму КЗ у мережі напругою до 1 кВ для типової схеми електропостачання

19. Математичний апарат для розрахунку струмів КЗ у складних замкнених схемах з кількома джерелами
20. Особливості розрахунку струмів КЗ у складно замкнених схемах
21. Вплив електричної віддаленості точки КЗ на значення складових струму КЗ
22. Застосування методу симетричних складових при аналізі та розрахунку несиметричних КЗ
23. Опір прямої, зворотної та нульової послідовностей різних елементів
24. Складання схем заміщення для нульової послідовності та їх особливості
25. Види перехідних процесів у ЕЕС, характерні ознаки можливих режимів
26. Аналіз причин і наслідків виникнення несиметричних замикань в електричних мережах
27. Види, причини, наслідки електромагнітних перехідних процесів у ЕЕС
28. Побудова векторних діаграм при несиметричних замиканнях в електричних мережах
29. Похибки в розрахунках струму КЗ за точним та наближеним зведеннями показників елементів схеми заміщення короткозамкненого кола
30. Основні розрахункові співвідношення при несиметричних КЗ в одній точці та їх векторні діаграми струмів і напруг
31. Основні причини пошкодження електротехнічного обладнання
32. Особливості аналізу перехідних процесів при замиканнях в електричних мережах постійного струму
33. Призначення розрахунків струмів КЗ на різних ступенях розподілу електроенергії

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

***Складено асистентом кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА Вожаковим Р.В.***

***Ухвалено кафедрою відновлюваної енергетики ФЕА (протокол №9 від 18 травня 2023 р.).***

***Погоджено Методичною комісією факультету (протокол №10 від 22 червня 2023 р.).***