



українська інженерно-педагогічна академія

**факультет енергетики, енергозберігаючих технологій і автоматизації
енергетичних процесів**

кафедра фізики, електротехніки та електроенергетики

Перехідні процеси в енергосистемах

(силабус курсу)

Харків 2020

Кафедра	Кафедра фізики електротехніки та електроенергетики Department of Physics, electrical engineering and power engineering http://peeuepa.mozello.com/
Назва навчальної дисципліни	Перехідні процеси в енергосистемах Transients in power systems/Calculation of transient parameters of power systems Навчальна дисципліна ведеться українською мовою
Рівень вищої освіти	Бакалавр
Викладач (-і)	1. к.т.н., доц Ірина Пантелєєва (лекційні та практичні заняття) http://peeuepa.mozello.com/sklad-kafedri/pantlva-v/ контактний телефон: 0663439909; електронна пошта: panteeleva_iv@uipa.edu.ua
Сторінка дисципліни в системі дистанційної освіти УІПА	http://do.uipa.edu.ua/ в стані розробки та наповнення
Консультації	Зазначається формат, розклад і місце проведення консультацій Очні консультації: Ірина Пантелєєва щосереди 11 ⁰⁰ -12 ⁰⁰ в ауд. 109/1 Он лайн- консультації: Усі запитання можна надсилати на електронну пошту Ірини Пантелєєвій вказану в цьому силабусі.

1. Коротка анотація до курсу

Курс «Перехідні процеси в енергосистемах» складається з двох розділів, один з яких - це питання, що стосуються електромагнітних перехідних процесів, другий – електромеханічних перехідних процесів. Практичні задачі, при розв'язку яких інженер стикається з необхідністю кількісної оцінки тих чи інших величин під час електромагнітного перехідного процесу, численні і різного роду. Проте всі вони врешті-решт мають на меті - забезпечити надійність роботи окремих елементів і електричної системи в цілому. Другу частину курсу присвячено питанням стійкості електроенергетичних систем, оскільки аварії, пов'язані з порушеннями стійкості паралельної роботи в крупних системах, спричиняють розлад електропостачання великих районів і міст. Ліквідація таких аварій і відновлення нормальних умов роботи представляє великі труднощі і вимагає багато часу і уваги чергового персоналу. При порівняно невеликій кількості аварій, що викликають порушення стійкості, найбільш аварійне недовідпущення енергії, припадає саме на короткі замикання.

Оволодіння матеріалом курсу дозволить:

- знати основні формули для розрахунку величин опорів елементів схеми заміщення, основні методи приведення опорів елементів, складання схем заміщення прямої, зворотної та нульової послідовностей;
- знати методи розрахунків струмів всіх видів несиметричних коротких замикань, принципи побудови векторних діаграм струмів та напруг;
- знати основні положення аналізу електромеханічних перехідних процесів з метою прийняття вірних рішень при порушенні стійкості електричних систем;
- мати здатність розраховувати опори елементів схеми заміщення, перетворювати електричні схеми заміщень відносно точки к.з.;
- мати здатність розраховувати струм симетричного к.з., струм несиметричного к.з. в залежності від його виду;
- мати здатність будувати векторні діаграми струму і напруги;
- мати здатність аналізувати перехідні процеси в системах електропостачання й приймати рішення по ліквідації їх наслідків;
- мати здатність аналізувати електромеханічні перехідні процеси;
- мати здатність аналізу статичної та динамічної стійкості систем;
- вміти використовувати методи підвищення стійкості систем при проектуванні електроустановок.

2. Мета та завдання курсу

Метою викладення дисципліни «Перехідні процеси в енергосистемах» є формування системи основних положень розрахунку струмів симетричних та всіх видів несиметричних коротких замикань, основних положень аналізу електромеханічних перехідних процесів.

Завдання курсу:

- сформувати у здобувача вищої освіти комплексну підготовку студентів електроенергетичних спеціальностей шляхом засвоєння ними основних принципів складання схем заміщення при розрахунку струмів симетричного та несиметричного коротких замикань,
- сформувати у здобувача вищої освіти засвоєння основних методів перетворення схем заміщення,
- сформувати у здобувача вищої освіти знання основних методів розрахунку струму в місці симетричного та несиметричного короткого замикання
- сформувати у здобувача вищої освіти знання основних принципів побудови векторної діаграми струму та напруги,
- сформувати у здобувача вищої освіти засвоєння аналізу статичної та динамічної стійкості енергосистем,
- сформувати у здобувача вищої освіти засвоєння використання методів підвищення стійкості систем при проектуванні електроустановок.

3. Формат навчальної дисципліни

Змішаний (blended) (очний з підтримкою навчального процесу ресурсами дистанційної освіти).

4. Результати навчання –

Очікувані результати навчання (ПР)	Складові результатів навчання
Відшуковувати, обробляти, аналізувати та оцінювати інформацію, що стосується діяльності в електроенергетичній галузі,	- Здатність збирати, аналізувати та інтерпретувати дані відповідно до енергетичної галузі. - Здатність до аналізу результатів розрахунків, вимірювань та спостережень при розрахунку перехідних процесів.

Очікувані результати навчання (ПР)	Складові результатів навчання
користуватися спеціалізованими програмним забезпеченням та сучасними засобами зберігання та обробки інформації.	- Здатність до застосування базових умінь щодо математичного, фізичного й графічного моделювання в електроенергетичній галузі. - Здатність використовувати розрахунки перехідних процесів в галузі електроенергетики. - Здатність використовувати відповідне програмне забезпечення для вирішення професійних задач в галузі електроенергетики. - Здатність до застосування сучасних методів автоматизації процесів проектування, виробництва та інженерії (CAD/ CAM/ CAE).
Знати основи і розуміти принципи функціонування технологічного обладнання та устаткування електроенергетичної галузі	- Здатність до використання знань щодо властивостей матеріалів, специфічних для конкретної предметної галузі, що відповідають технологічним, конструктивним, екологічним та іншим вимогам. - Уміти обирати і застосовувати необхідне устаткування, інструменти, методи для вирішення типових складних завдань при розрахунку електромагнітних і електромеханічних перехідних процесах. - Здатність до аналізу техніко-економічних показників технологічних процесів в електроенергетичній галузі (при розрахунку перехідних процесів).
Застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для аналізу електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів.	- Здатність розв'язувати типові спеціалізовані задачі, пов'язані із вибором матеріалів, виконанням необхідних розрахунків, конструюванням технічних об'єктів в електроенергетичній галузі. - Здатність здійснювати системний аналіз технічних систем, процесів та ситуацій, вивчати передовий виробничий досвід, впровадження досягнень вітчизняної й зарубіжної науки і техніки.

Очікувані результати навчання (ПР)	Складові результатів навчання
	- - Здатність аналізувати ефективність проектних рішень, пов'язаних з підбором, експлуатацією, удосконаленням, модернізацією технологічного обладнання та устаткування в галузі електроенергетики.

5. Обсяг курсу

Види навчальних занять	Кількість годин (кредитів)	Форми поточного та підсумкового контролю
Лекції	34	<i>Опитування, тематичні тестові контрольні роботи</i>
Практичні заняття	18	<i>Результати виконання практичних розрахункових завдань</i>
Лабораторні роботи	8	<i>Захист результатів лабораторних досліджень</i>
Самостійна робота	120	<i>Самостійне опрацювання тем лекційного матеріалу</i>
Всього	180 (6 кредитів)	Підсумковий контроль: Залік

6. Ознаки навчальної дисципліни:

Навчальний рік	Курс (рік навчання)	Семестр	Спеціальність (спеціалізація), освітня програма (за необхідністю)	Нормативна / вибіркова
2020/2021	3	6 (весна)	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка	(В)

7. Пререквізити – засвоєння навчального матеріалу таких дисциплін:

- Вища математика
- Фізика

- Електротехніка
- Електрична частина станцій і підстанцій

8. Постреквізити – результати навчання в подальшому використовуються у засвоєнні таких дисциплін як:

- Електропостачання
- Автоматизація енергосистем та автоматизований електропривод
- Експлуатація та подовження ресурсу електрообладнання
- Релейний захист та автоматизація енергосистем

9. Технічне й програмне забезпечення та/або обладнання – прикладне програмне забезпечення «Розрахунок струмів трифазного короткого замикання», «Аналіз стійкості синхронного генератора» 112/1.

10. Політики курсу

Політика курсу будується на засадах академічної доброчесності

<https://mon.gov.ua/storage/app/media/npa/5a1fe9d9b7112.pdf>

<https://drive.google.com/file/d/1fyh2uMJczxJ8shq9LYB9Rhs2TFsbT9bF/view>

та у відповідності зі основними напрямками стратегії розвитку академії

<http://www.uipa.edu.ua/ua/general-information/stratehiia-rozvytku-uipa>

Курс «Перехідні процеси в енергосистемах» викладається на засадах методу наукового пізнання, що обумовлює отримання даних за допомогою теоретичних досліджень, спостережень і експериментів. Для пояснення спостережуваних фактів висуваються гіпотези і будуються теорії, на підставі яких в свою чергу будується модель досліджуваного об'єкта. Важливою стороною наукового методу, є вимога об'єктивності, який виключає суб'єктивне тлумачення результатів.

Тому в процесі вивчення курсу обов'язково засвоєння всього обсягу навчального матеріалу, розуміння причинно-наслідкових зав'язків та відпрацювання лабораторного практикуму.

11. Календарно-тематичний план (схема) навчальної дисципліни

№ тижня	Вид і номер занять	Тема заняття або завдання на самостійну роботу	К-ть годин
	Лекція 1	Вступ	2
Змістовий модуль 1. Електромагнітні перехідні процеси			
Тема 1. Розрахунок трифазних коротких замикань.			
1	Лекція 1, 2	Види, причини та наслідки коротких замикань. Основні припущення в розрахунках.	4
	Лекція 3	Етапи розрахунку трифазного короткого замикання.	2
	Практичне заняття 1	Складання схем заміщення, вибір базисних умов, перетворення схем відносно точки к.з.	2
	Самостійна робота 1	Доповнити конспект лекцій. Самостійно опрацювати тему «Методи перетворення схем заміщення».	15
2	Лекція 4	Перехідний процес в простішому трифазному ланцюзі.	2
	Лекція 5	Перехідний процес в трифазному ланцюзі при наявності джерел кінцевої потужності.	2
	Практичне заняття 2, 3	Визначення струму трифазного к.з. Облік навантаження.	4
	Самостійна робота 2	Доповнити конспект лекцій. Самостійно опрацювати тему «Облік навантаження у розрахунках» та «Визначення струму к.з. у вільний момент часу».	15
Тема 2. Розрахунок несиметричних коротких замикань			
3	Лекція 6	Метод симетричних складових.	2
	Лекція 7	Основні співвідношення для розрахунку струму однофазного к.з.	2
	Лекція 8	Основні співвідношення для розрахунку струму двофазного к.з. на землю	2
	Самостійна робота 3	Самостійно опрацювати побудови векторних діаграм струмів і напруг при розрахунку $K^{(1)}$ та $K^{(2)}$.	15
4	Лекція 9	Основні співвідношення для розрахунку струму двофазного к.з.	2

	Лекція 10	Особливості складання схем заміщення прямої, зворотної та нульової послідовності	2
	Лекція 11	Правило еквівалентності прямої послідовності	2
	Лабораторна робота 1	Розрахунок струмів трифазного короткого замикання	4
	Самостійна робота 4	Самостійно скласти алгоритми розрахунку струмів всіх видів к.з.	15
5	Лекція 12	Засоби обмеження струмів к.з. Визначення ударного струму.	2
	Практичне заняття 4	Розрахунок двофазного к.з. на землю, побудова векторних діаграм.	2
	Самостійна робота 5	Самостійно опрацювати тему «Особливості розрахунку опорів елементів у схемах заміщення нульової послідовності».	15
Всього за змістовий модуль 1 – 111 год. (лекцій – 24 год., ЛБ-4 год., ПЗ – 8 год., СР – 75 год.)			
Змістовий модуль 1. Електромеханічні перехідні процеси			
Тема 1. Стійкість простішої електричної системи			
6	Лекція 13	Простіша електрична система. Її фізична та математична модель.	2
	Практичне заняття 5, 6	Розрахунок однофазного к.з.	4
	Практичне заняття 7	Вплив різних факторів на стійкість.	2
	Самостійна робота 6	Самостійне опрацювання теми «Критерії стійкості елементів системи»	15
7	Лекція 14	Аналіз роботи системи на характеристиці потужності	2
	Лекція 15	Розрахунок коефіцієнту запасу потужності. Види динамічної стійкості.	2
	Практичне заняття 11	Розрахунок коефіцієнту запасу	2
	Самостійна робота 7	Самостійно опрацювати тему «Критерій стійкості асинхронного двигуна з урахуванням зовнішнього опору».	15
Тема 2. Методи аналізу стійкості.			

8	Лекція 16	Аналіз динамічної стійкості методом послідовних інтервалів.	2
	Лекція 17	Ресинхронізація. Методи підвищення стійкості системи.	2
	Лабораторна робота 2	Аналіз стійкості синхронного генератора	4
	Практичне заняття 8	Розрахунок динамічної стійкості методом послідовних інтервалів.	2
	Самостійна робота 8	Самостійно опрацювати тему «Аналіз динамічної стійкості методом площин»	15
Всього за змістовий модуль 2 – 69 год. (лекцій – 10 год., ЛБ-4 год., ПЗ – 10 год., СР – 45 год.)			
Всього з навчальної дисципліни – 180 год. (лекцій – 34 год., ЛБ – 8 год., ПЗ – 18 год., СР – 120 год.)			

12. Система оцінювання та вимоги

Загальна система оцінювання: Навчальна дисципліна оцінюється за 100-бальною шкалою. Робота здобувача впродовж семестру/екзамен (іспит) - 73/27

Шкала оцінювання з навчальної дисципліни

№	Види робіт здобувача	Оцінка
1.	Робота на лекціях (конспект лекцій)	40
2	Відпрацювання практичних занять	33
3	Екзамен	0-27
	Всього за навчальну дисципліну	0-100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Підсумкова оцінка	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою (екзамен)	Оцінка за національною шкалою (залік)
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82 – 89	B	добре	
74 – 81	C		
64 – 73	D	задовільно	
60 – 63	E		
35 – 59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	незараховано
0 – 34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	

Умови допуску до підсумкового контролю:

- 1) Оцінка за практичні заняття не менше, ніж 20 балів з 33 можливих.
- 2) Робота здобувача впродовж семестру оцінено не менше, ніж на 30 балів.

Критерії оцінювання кожного (деяких найбільш важливих) з видів робіт (бажано, но не обов'язково) в довільній зрозумілій формі

13. Завдання до екзамену/заліку

1. Визначте, які явища належать до перехідних процесів.
2. Визначте, які види короткого замикання належать до несиметричних, а які – до симетричних к.з.
3. Назвіть причини виникнення короткого замикання.

4. Назвіть основні наслідки короткого замикання.
5. Назвіть основні припущення, що прийняті у розрахунках струмів к.з.
6. У загальному виді побудувати векторні діаграми струму та напруги в місці однофазного к.з.
7. Сформулюйте призначення розрахунків струмів несиметричних к.з.
8. У загальному виді побудувати векторні діаграми струму та напруги в місці двофазного к.з.
9. У загальному виді побудувати векторні діаграми струму та напруги в місці двофазного к.з. на землю.
10. Вивести основні співвідношення для струмів та напруг для однофазного к.з.
11. Визначте засоби зменшення струмів несиметричних к.з.
12. Вивести основні співвідношення для струмів та напруг для двофазного к.з.
13. Сформулювати алгоритм розрахунку несиметричних к.з.
14. Вивести основні співвідношення для струмів та напруг для двофазного к.з. на землю.
15. Пояснити смисл правила еквівалентності прямої послідовності.
16. Визначте методи перетворення схем заміщення при розрахунку несиметричних к.з.
17. Визначте співвідношення для струмів та напруг для всіх видів несиметричних к.з. (у загальному виді).
18. Визначте особливості складання та розрахунку опорів елементів для схеми заміщення прямої послідовності.
19. Визначте струми та напруги зворотної та нульової послідовностей для несиметричних к.з. (у загальному виді).
20. Сформулюйте особливості складання та розрахунку опорів елементів для схеми заміщення зворотної послідовності.
21. Сформулюйте визначення струму к.з. та напруги на низькій стороні трансформаторів ГПП.
22. Сформулюйте особливості складання та розрахунку опорів елементів для схеми заміщення нульової послідовності.
23. Визначте облік навантаження при складанні схем заміщення всіх послідовностей.
24. Визначте використання правила Щедріна при розрахунку струмів несиметричних к.з.
25. Визначте, як змінюються опори ліній електропередачі та інших елементів при розрахунку схем заміщень всіх послідовностей.
26. У загальному виді побудувати векторні діаграми струму та напруги в місці двофазного к.з.
27. Визначте види, причини та наслідки несиметричних к.з.
28. Визначте облік навантаження при складанні схем заміщення всіх послідовностей.

29. У загальному виді побудувати векторні діаграми струму та напруги в місці двофазного к.з. на землю.
 30. Визначте призначення розрахунків струмів несиметричних к.з.
 31. Вивести основні співвідношення для струмів та напруг для однофазного к.з.
 32. Сформулювати методи перетворення схем заміщення при розрахунку несиметричних к.з.
- Визначте засоби зменшення струмів несиметричних к.з.
33. У загальному виді побудувати векторні діаграми струму та напруги в місці двофазного к.з.
 34. Пояснити смисл правила еквівалентності прямої послідовності.
 35. Визначте, що називається електроенергетичною системою.
 36. Визначте, які елементи складають простішу електричну систему.
 37. Дайте визначення режиму електричної системи.
 38. Дайте визначення параметрами системи.
 39. Визначте режимів електричної системи. Дайте характеристику кожному з них.
 40. Дайте визначення «збуренням» режиму.
 41. Охарактеризуйте поняття «статична стійкість».
 42. Охарактеризуйте поняття «динамічна стійкість».
 43. Дайте визначення ідеальній межі потужності?
 44. Наведіть характеристику потужності синхронного генератора.
 45. Визначте, що таке коефіцієнт запасу статичної стійкості системи. Наведіть формулу для розрахунку.
 46. Сформулюйте, до яких значень коефіцієнта статичної стійкості система вважається статично стійкою.
 47. Сформулюйте критерій стійкості для СД.
 48. Сформулюйте критерій стійкості для АД.
 49. Визначте, який основний і найбільш поширений метод аналізу статичної стійкості.
 50. Дайте визначення теореми Ляпунова.
 51. Визначте, який вид к.з. є найбільш сприятливим та чому з точки зору динамічної стійкості системи.
 52. Сформулюйте методи аналізу динамічної стійкості.
 53. Визначте види динамічної стійкості.
 54. Дайте характеристику процесу ресинхронізації.
 55. Визначте, які пристрої встановлюють для того, щоб уникнути процесу випадіння генератора із синхронізму.
 56. Сформулюйте способи підвищення стійкості системи.

57. Назвіть заходи, які спрямовані на зміну параметрів елементів системи.
58. Назвіть спеціальні додаткові заходи підвищення стійкості системи.
59. Назвіть режимні заходи підвищення стійкості системи.

Основна (базова) література

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк.. 1985. – 536 с. ил.
2. Веников В.А., Журавлев В.Г. и др. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. Учебник для ВУЗов. – М: 1993. – 464 с.
3. Винославский В.Н. Переходные процессы в системах электроснабжения: Учебник. – К.; Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 422 с.: ил.
4. Крючков И.П. Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2008 - 416 с.: ил.
5. Ульянов С.А. Сборник задач по электромагнитным переходным процессам. Учебное пособие для электротехнических и энергетических вузов и факультетов. М., «Энергия», 1968. - 496 с. с ил.

Додаткова (допоміжна) література

1. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М: 1992. – 446 с.
2. Кублановский Я.С. Переходные процессы. М., «Энергия», 1974. 88 с. с ил.
3. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: уч. пособие/ Ю.А.Куликов – Изд. 2-е, испр. и доп. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 284 с. – («Учебники НГТУ»).
4. Лосев С.Б., Чернин А.Б. Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 528 с.
5. Неклепаев Б.Н. Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических системах. – М.: Энергия, 1978. – 152 с.
6. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М: 1990. – 530 с.
7. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. Учебник для электротехнических и энергетических вузов и факультетов. М., «Энергия», 1970. 520 с. с ил.

Інформаційні ресурси

<http://do.uipa.edu.ua/course/view.php?id=353>

<http://uaenergy.com.ua/>

<http://mpe.kmu.gov.ua/>

<https://ukrenergy.dp.ua/>

Зміст силабусу відповідає робочій програмі навчальної дисципліни.

Завідувач кафедри _____ Артем Чернюк