



## Силабус освітнього компонента Програма навчальної дисципліни



# Контактно-дугогасні системи та теплові процеси в електричних апаратах

Шифр та назва спеціальності  
Для всіх спеціальностей

Інститут  
ННІ енергетики, електроніки та  
електромеханіки

Освітня програма  
Електромеханіка

Кафедра  
Електричні апарати (127)

Рівень освіти  
Бакалавр

Тип дисципліни  
Вільного вибору, профільна підготовка

Семестр  
6

Мова викладання  
Українська

## Викладачі, розробники



### Середа Олена Геннадіївна

[Olena.Korol@khi.edu.ua](mailto:Olena.Korol@khi.edu.ua)

Кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних апаратів  
НТУ «ХПІ».

Досвід роботи – 16 років. Авторка та співавторка понад 30 наукових та навчально-методичних праць. Провідний лектор з дисциплін: «Вступ до спеціальності. Ознайомча практика», «Моделювання електромеханічних систем», «Контактно-дугогасні системи та теплові процеси в електричних апаратах», «Електромагнітні апарати та індукційно-динамічні системи», «Забезпечення електромагнітної сумісності електрообладнання».

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

## Загальна інформація

### Анотація

Теплові процеси в електромеханіці – складна проблема, гострота якої підвищується в умовах, коли необхідна економія енергоресурсів. Дослідження і практичні рішення частково вирішують цю проблему, але повністю проблема не розв'язана до цього часу. Дисципліна спрямована на оволодіння студентами теоретичних знань щодо аналізу, побудови та розуміння закономірностей, що протікають у термодинамічних системах при перетворенні теплоти в механічну роботу і навпаки та на ознайомлення з основами теплових розрахунків електричних апаратів, електричною дугою та дугогасними пристроями комутаційних апаратів низької напруги.

### Мета та цілі дисципліни

- ознайомлення студентів з фізикою теплових процесів в електричних апаратах;
- ознайомлення студентів з особливостями теплових процесів в стаціонарних і перехідних режимах роботи в електричних апаратах;

- формування у студентів вміння складати алгоритми розрахунку основних видів процесів нагрівання і охолодження елементів електричних апаратів;
- формування у студентів вміння записувати граничні і початкові умови теплових процесів;
- ознайомлення студентів з методами точного і приблизного розрахунку диференціальних і алгебраїчних рівнянь, що використовуються при дослідженні теплових процесів в електричних апаратах;
- ознайомлення з методами вимірювання температур;
- ознайомлення студентів з фізичними процесами та конструкціями контактної-дугогасних систем сучасних електричних апаратів..

## **Формат занять**

Лекції, практичні роботи, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – екзамен.

## **Компетентності**

- K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.
- K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- K03. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
- K04. Здатність спілкуватися іноземною мовою.
- K05. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- K06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- K07. Здатність працювати в команді.
- K08. Здатність працювати автономно.
- K11. Здатність вирішувати практичні задачі із застосуванням систем автоматизованого проектування і розрахунків (САПР).
- K12. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.
- K15. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних машин, апаратів та автоматизованого електроприводу.
- K16. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії.
- K19. Усвідомлення необхідності підвищення ефективності електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного устаткування.
- K20. Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.
- K24. Здатність використовувати сучасні методи розрахунків, моделювання, проектування та аналізу режимів роботи електричних машин, електричних апаратів, електричного обладнання залізниць та їхніх складових.

## **Результати навчання**

- ПР03. Знати принципи роботи електричних машин, апаратів та автоматизованих електроприводів та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.
- ПР05. Знати основи теорії електромагнітного поля, методи розрахунку електричних кіл та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.
- ПР07. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах.
- ПР10. Знаходити необхідну інформацію в науково-технічній літературі, базах даних та інших джерелах інформації, оцінювати її релевантність та достовірність.
- ПР11. Вільно спілкуватися з професійних проблем державною та іноземною мовами усно і письмово, обговорювати результати професійної діяльності з фахівцями та нефхівцями, аргументувати свою позицію з дискусійних питань.
- ПР15. Розуміти та демонструвати добру професійну, соціальну та емоційну поведінку, дотримуватись здорового способу життя.
- ПР16. Знати вимоги нормативних актів, що стосуються інженерної діяльності, захисту інтелектуальної власності, охорони праці, техніки безпеки та виробничої санітарії, враховувати їх при прийнятті рішень.

ПР17. Розв'язувати складні спеціалізовані задачі з проєктування і технічного обслуговування електромеханічних систем, електроустаткування електричних станцій, підстанцій, систем та мереж.

ПР18. Уміти самостійно вчитися, опановувати нові знання і вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням, вимірною технікою та прикладним програмним забезпеченням.

ПР22. Знати та вміти розробляти прості конструкції електроенергетичних і електротехнічних об'єктів та оцінювати механічну міцність розроблених конструкцій.

ПР23. Знати властивості, способи отримання, основи вибору матеріалів, які використовуються в конструкціях електричних машин, електричних апаратів, електропобутової техніки, електричного обладнання залізниць.

ПР24. Знати та використовувати пакети прикладних програм для проведення практичних розрахунків електричних машин, електричних апаратів, електропобутової техніки, електричного обладнання залізниць та їхніх складових.

ПР25. Знати особливості фізичних процесів та характеристик, що супроводжують роботу електричних машин, електричних апаратів, електропобутової техніки, електричного обладнання залізниць.

ПР28. Уміти користуватись технічною документацією, яка супроводжує процеси проєктування, виробництва, експлуатації, обслуговування, випробування, контролю, ремонту електричних машин, електричних апаратів, електропобутової техніки, електричного обладнання залізниць.

## **Обсяг дисципліни**

Загальний обсяг дисципліни 90 год. (3 кредитів ECTS): лекції – 36 год., практичні роботи – 12 год., самостійна робота – 42 год.

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

«Електричні апарати», «Основи електропобутової техніки» «Теоретичні основи електротехніки», «Теорія електромагнітного поля».

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

Лекції проводяться інтерактивно з використанням мультимедійних технологій. Застосовуються активні форми проведення занять: лекція, лекція-діалог, лекційне опитування, практичні заняття, співбесіда, консультація. На практичних заняттях використовується варіативний підхід до навчання, ігрові методи, акцентується увага на застосуванні інформаційних технологій при розрахунках зовнішнього магнітного поля електрообладнання.

## **Програма навчальної дисципліни**

### **Теми лекційних занять**

#### **ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ № 1 Види теплообміну.**

##### **Тема 1. Загальні питання теплових розрахунків електричних апаратів.**

Фізичні основи теорії нагріву та охолодження. Термодинаміка. Закони та види термодинаміки. Теплопередача. Теплообмін. Способи переносу тепла. Джерела тепла. Нагрівання провідників постійним і змінним струмом. Закон Джоуля-Ленца. Визначення опору однорідного провідника постійного і змінного струму. Поверхневий ефект і ефект близькості. Визначення питомого опору провідника. Матеріали провідників. Інші джерела тепла.

##### **Тема 2. Поняття та визначення в теплових розрахунках.**

Види теплообміну. Температурне поле. Градієнт температури. Тепловий потік. Тепловий опір. Теплопровідність як один з видів теплообміну. Закон Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності. Загальна характеристика явища конвекції. Види конвекції. Закон Ньютона. Теплове випромінювання. Закон Стефана-Больцмана. Узагальнений коефіцієнт теплопередачі.

##### **Тема 3. Рівняння теплопровідності.**

Диференційне рівняння теплопровідності трьохмірного нестационарного температурного поля при відсутності внутрішніх джерел тепла. Диференційне рівняння теплопровідності трьохмірного нестационарного температурного поля при врахуванні внутрішніх джерел тепла. Крайові умови для рішення диференційного рівняння теплопровідності. Початкові умови. Граничні умови.

Контрольна робота №1. Тема: Види теплообміну.

### **ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ № 2 Режими нагрівання.**

#### **Тема 4. Режими нагрівання електричних апаратів.**

Сталий процес нагрівання. Перехідний процес нагрівання. Нагрівання апарата при короткочасному режимі роботи. Нагрівання апарата в повторно-короткочасному режимі роботи. Процес нагріву апарата при короткому замиканні.

#### **Тема 5. Сталий процес нагрівання.**

Визначення сталого процесу нагрівання. Формула Ньютона. Температура елементів апаратів при тривалому режимі роботи електричного апарата. Температура зовнішнього середовища. Перевищення температури.

#### **Тема 6. Перехідний процес нагрівання.**

Енергетичний баланс при нагріванні апарата. Крива нагрівання. Енергетичний баланс при охолодженні апарата. Крива охолодження. Визначення постійної часу нагрівання. Визначення сталого значення температури.

#### **Тема 7. Нагрівання апарата при короткочасному та повторно-короткочасному режимах роботи.**

Характеристика короткочасного режиму роботи. Визначення коефіцієнта перевантаження при короткочасному режимі роботи. Характеристика повторно-короткочасного режиму роботи. Визначення коефіцієнта перевантаження по струму при повторно-короткочасному режимі роботи. Тривалість включення. Квазістаціонарний режим.

#### **Тема 8. Процес нагріву апарата при короткому замиканні.**

Рівняння балансу енергії при короткому замиканні. Фіктивний процес і фіктивний час короткого замикання. Термічна стійкість.

#### **Тема 9. Допустимі температури різних частин електричних апаратів при тривалій роботі та при короткому замиканні.**

Вимоги до нагріву електричних апаратів. Граничні допустимі температури елементів електричних апаратів. Допустимі температури при короткому замиканні. Допустимі перевищення температури елементів електричних апаратів. Класи нагрівостійкості та відповідні ним температури. Визначення сталої температури нагріву елементів апарата.

#### **Тема 10. Розрахунок нагрівання ізольованих провідників.**

Визначення температури на поверхні провідника та на поверхні ізоляції. Визначення сумарного теплового опору ізольованого циліндричного провідника. Визначення теплового опору між зовнішньою поверхнею ізоляції і навколишнім середовищем. Визначення теплового опору шару ізоляції циліндричної стінки. Тепловий опір багат шарової циліндричної стінки. Схема-заміщення ізольованого циліндричного провідника.

Контрольна робота №2. Тема: Режими нагрівання.

### **ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ №3 Контактно-дугогасні системи електричних апаратів.**

#### **Тема 11. Контактні системи електричних апаратів.**

Поняття контакту комутаційного апарата. Класифікація контактів електричних апаратів. Головний контакт. Контакти керування. Допоміжний контакт. Дугогасні контакти. Особливості застосування контактів в електричних апаратах низької, середньої та високої напруги. Рухомий контакт, нерухомий контакт. Стикові контакти, ковзні контакти, роликові контакти. Контактні з'єднання та їх класифікація.

#### **Тема 12. Контактне натиснення, контактний опір.**

Поняття контактного натиснення та контактного опору. Причини виникнення контактного опору. Залежність контактного опору від контактного натиснення. Розрахунок температури точки контакту. Вибір контактного натиснення.

#### **Тема 13. Відкидання та зварювання контактів.**

Електродинамічні сили в електричних апаратах. Електродинамічне відкидання контактів при коротких замиканнях. Зменшення сил електромагнітного відкидання контактів. Виникнення електричної дуги та зварювання контактів. Розрахунок тривалості вібрації контактів та амплітуди першого відскоку. Розрахунок граничного струму зварювання.

#### **Тема 14. Матеріали контактів електричних апаратів та знос контактів.**

Вимоги до матеріалів контактів та їх різновиди. Основні контактні матеріали, їх властивості, переваги та недоліки. Умови експлуатації контактів, вироблених з різних матеріалів. Геометричні розміри контактів комутаційних апаратів. Міри та види зносу контактів. Методи боротьби зі зносом контактів.

### Тема 15. Електрична дуга між контактами електричних апаратів.

Основні фізичні процеси в електричній дузі. Вольт-амперні характеристики дуги. Характерні проміжки часу, пов'язані з горінням дуги в електричних апаратах. Умови виникнення електричної дуги. Умови гасіння електричної дуги постійного струму. Умови гасіння електричної дуги змінного струму. Особливості гасіння дуги у вакуумних дугогасних пристроях. Гасіння дуги в середовищі елегазу. Основні принципи побудови дугогасних пристроїв для забезпечення ефективного гасіння електричної дуги.

### Тема 16. Конструкції дугогасних систем електричних апаратів.

Дугогасні роги. Щілинні дугогасні камери та їх різновиди. Дугогасні решітки. Комбіновані камери на базі щілинних камер із додатковими дугогасними решітками. Електродинамічні петлі. Системи магнітного дуття, їх електричні схеми, переваги та недоліки.

Контрольна робота №3. Тема: Контактно-дугогасні системи електричних апаратів.

## Теми практичних занять

Тема 1. Дослідження впливу температури на питомий опір.

Тема 2. Дослідження впливу коефіцієнта поверхневого ефекту на активний опір при різних формах перерізу струмопровідного елемента..

Тема 3. Дослідження температури нагрівання неізольованого провідника.

Тема 4. Дослідження впливу температури на постійну часу нагрівання.

Тема 5. Вибір перетину струмопроводу в номінальному режимі роботи.

Тема 6. Дослідження впливу перевищення температури на контактне натиснення.

Тема 7. Відкритий розрив дуги.

## Теми лабораторних робіт

Навчальним планом не передбачаються.

## Самостійна робота

Дисципліна передбачає виконання розрахунково-графічного завдання «Розрахунки нагрівання і охолодження електричних апаратів та їх частин». Розрахунково-графічне завдання містить звіт з виконання розрахунку згідно обраного варіанту. Успішний захист розрахунково-графічного завдання оцінюється в 20 балів і входить до екзаменаційної оцінки. Здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти рекомендуються додаткові матеріали (відео, статті) для самостійного вивчення.

## Література та навчальні матеріали

1. Клименко Б.В. Комутаційна апаратура, апаратура керування, запобіжники. Терміни, тлумачення, коментарі : навч. посіб. Харків: Талант, 2008. 214 с.
2. Enrico Fermi Thermodynamics. Copyright 1936 by Enrico Fermi. NewYork : Dover Publications, 2012. 176 p.
3. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навч. посіб. Харків: Вид-во «Точка», 2013. 400 с.
4. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні аксесуари, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі : навч. посіб. Харків: Точка, 2009. 272 с.
5. Жорняк Л. Б., Антонова М. В., Василевський В. В. Електричні апарати автоматики та керування. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. 414 с. URL: <http://eig.zntu.edu.ua/handle/123456789/9133> (дата звернення: 30.01. 2022).
6. Дубровська В.В., Шкляр В.І. Термодинаміка та теплообмін: навч. посіб. К.: НТУУ«КПІ», Вид-во «Політехніка», 2016. 152 с. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28252/1/termodynanikaterploobmin.pdf> (дата звернення: 30.01. 2022).
7. Клименко Б.В. Електричні апарати. Розділ. Електрична дуга і дугогасні системи електричних апаратів : навчальний посібник. Харків, 2011. С. 3–43.
8. Теплотехніка: підручник. Вид. 2-ге, переробл. і допов. / Драганов Б.Х. та ін. ; за ред. Б.Х. Драганова. Київ: Фірма «ІНКОС», 2005. 400 с.



9. Байда Є.І. Використання ПЕОМ в електротехнічних розрахунках : навчальний посібник для студентів електротехнічних спеціальностей. Харків: НТУ «ХПІ»,2010. 127 с.

10. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Контактно-дугогасні системи та теплові процеси в електричних апаратах» : для студ. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» спеціалізацій 141.07 «Електричні апарати» та 141.08 «Електропобутова техніка» усіх форм навчання / уклад. Ю. С. Грищук ; Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». Харків : Золоті сторінки, 2018. 24 с. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/42214> (дата звернення: 30.01. 2022).

## Система оцінювання

### Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

100% підсумкової оцінки складаються з результатів оцінювання на екзамені (20%) та поточного оцінювання (80%). Екзамен проводиться за екзаменаційними білетами в усній формі. Поточне оцінювання складається з оцінок за контрольні роботи (3 по 15 балів), за роботу на практичних заняттях (15 балів) та захисту розрахункового завдання (20 балів).

### Шкала оцінювання

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

## Норми академічної етики і політика курсу

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

## Погодження

Силабус погоджено

Дата погодження, підпис

Завідувач кафедри  
Євген БАЙДА

Дата погодження, підпис

Гарант ОП  
Олена ЮР'ЄВА