

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

(назва факультету)

КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І ФІЗИКИ

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи  
першого (бакалаврського) рівня освіти

(рівень вищої освіти)

на тему Моделювання та аналіз перехідних процесів в індуктивно зв'язаних електричних колах з лінійними та нелінійними елементами

Виконав: студент 4 курсу, групи 4ЕЛ  
спеціальності 141. Електроенергетика,  
електротехніка та  
електромеханіка

(код і назва спеціальності)

освітньо-професійної Електротехніка,  
програми та електротехнології

(назва ОПП)

Клішня С.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Степанчиков Д.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Мешков Ю.Є.

(прізвище та ініціали)

Хмельницький - 2024 р.

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота на тему: “Моделювання та аналіз перехідних процесів в індуктивно зв'язаних електричних колах з лінійними та нелінійними елементами” включає в собі пояснювальну записку. Пояснювальна записка містить 94 сторінки формату А4, 35 рисунків, 13 таблиць, 18 використаних джерел, 11 слайдів електронної презентації.

Ключові слова: перехідні процеси, індуктивно зв'язані кола, лінійні та нелінійні елементи.

Об'єктом дослідження є процеси зміни у часі струму та напруги під час перехідних процесах в індуктивно зв'язаних електричних колах з лінійними та нелінійними елементами.

Мета роботи: розробка методики та комп'ютерних моделей для дослідження перехідних процесів в індуктивно зв'язаних електричних колах з лінійними та нелінійними елементами.

Результатом роботи є: розроблені комп'ютерні моделі дослідження та аналізу перехідних процесів в індуктивно зв'язаних електричних колах з лінійними та нелінійними елементами і можливістю представлення результатів у зручній аналітичній, числовій та графічній формі.

У розділі «Методична частина» розглянуто методи аналізу перехідних процесів, а також методика розрахунку перехідних явищ в індуктивно зв'язаних колах.

У розділі «Дослідницька частина» проведено дослідження перехідних процесів в індуктивно зв'язаних колах при підключенні та відключенні живлення при різному ступені магнітного зв'язку.

У розділі «Охорона праці» наведена загальна характеристика робочого місця лаборанта, який працює з комп'ютером. Розглянуто організацію робочого місця оператора ПЕОМ з урахуванням ергономічних критеріїв.

## ЗМІСТ

	стор.
Перелік скорочення та умовних познач	4
Вступ	5
<b>1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА</b>	<b>7</b>
1.1 Основні принципи аналізу перехідних процесів	7
1.1.1 Режими роботи електротехнічних систем	7
1.1.2 Причини виникнення перехідних процесів	8
1.1.3 Призначення розрахунків перехідних процесів	9
1.2 Взаємна індуктивність в електричних колах	11
1.2.1 Фізичні основи явища взаємоіндукції	11
1.2.2 Узгоджене та зустрічне з'єднання індуктивностей	13
1.2.3 Послідовне з'єднання двох індуктивно-зв'язаних котушок	15
1.2.4 Паралельне з'єднання двох індуктивно-зв'язаних котушок	17
1.3 Основні властивості нелінійних елементів і кіл	18
1.3.1 Класифікація нелінійних елементів	18
1.3.2 Нелінійні активні опори	20
1.3.3 Нелінійні активні індуктивності	21
1.3.4 Нелінійні активні ємності	22
1.4 Програмні засоби моделювання для електротехніки	23
1.5 Висновки до оглядової частини	27
<b>2. МЕТОДИЧНА ЧАСТИНА</b>	<b>28</b>
2.1 Методи аналізу перехідних процесів	28
2.1.1 Основні положення та співвідношення	28
2.1.2 Класичний метод аналізу перехідних процесів	30
2.1.3 Часовий метод аналізу перехідних процесів	31
2.1.4 Операторний метод аналізу перехідних процесів	36

	3
2.1.5 Порівняння різних методів розрахунку перехідних процесів	39
2.2 Методика розрахунку перехідних явищ в індуктивно зв'язаних колах	40
2.2.1 Приклад розрахунку для кола з лінійними елементами	40
2.2.2 Приклад розрахунку для кола з нелінійними елементами	44
2.2.3 Завдання для віртуальної лабораторної роботи	46
2.3 Методика розрахунку перехідних процесів методом інтеграла Дюамеля	48
2.3.1 Приклад застосування інтеграла Дюамеля для RL-кола	48
2.3.2 Завдання для віртуальної лабораторної роботи	52
2.4 Висновки до методичної частини	54
3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	43
3.1 Дослідження перехідних процесів в індуктивно зв'язаних колах при підключенні живлення	56
3.1.1 Паралельне з'єднання індуктивних елементів	56
3.1.2 Послідовне з'єднання індуктивних елементів	62
3.2 Дослідження перехідних процесів в індуктивно зв'язаних колах при відключенні живлення	69
3.2.1 Паралельне з'єднання індуктивних елементів	69
3.2.2 Послідовне з'єднання індуктивних елементів	73
3.3 Дослідження впливу нелінійних елементів на перехідні процеси	75
3.4 Висновки до дослідницької частини	77
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	80
4.1 Загальна характеристика робочого місця	80
4.2 Організація робочого місця оператора ПЕОМ з урахуванням ергономічних критеріїв	82
4.2.1 Параметри робочого місця	82
4.2.2 Вимоги до освітленості і повітряного середовища в робочій зоні	85

	4
4.2.3 Допустимі рівні звуку на робочих місцях	88
4.3 Висновки до охорони праці	88
ВИСНОВКИ	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	91

## ВСТУП

З курсу фізики відомо, що електричні кола – це сукупність джерел і споживачів електричної енергії, комутаційної апаратури, вимірювальних приладів та з'єднувальних провідників.

Процеси включення кола на джерело енергії або його вимкнення супроводжуються перехідними процесами, опис яких призводить до звичайних диференціальних рівнянь. У залежності від елементів, що містять ці кола, результуюче диференціальне рівняння (або система рівнянь) може бути як лінійним, так і нелінійним.

Особливістю індуктивно зв'язаних кіл є те, що вони окрім електричного мають і магнітний зв'язок. Треба враховувати взаємну індуктивність (узгоджене або зустрічне вмикання котушок). Під час аналізу робочих режимів електричних кіл оперують їх математичними, фізичними та комп'ютерними моделями.

Тому **метою роботи** є розробка методики та комп'ютерних моделей для дослідження перехідних процесів в індуктивно зв'язаних електричних колах з лінійними та нелінійними елементами.

**Об'єкт дослідження:** процеси зміни у часі струму та напруги під час перехідних процесів в індуктивно зв'язаних електричних колах з лінійними та нелінійними елементами.

**Предмет дослідження:** математичне та комп'ютерне моделювання перехідних процесів в індуктивно зв'язаних електричних колах з лінійними та нелінійними елементами.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні **задачі:**

1. Проаналізувати фізичні основи та практичні прояви перехідних процесів в електричних колах.
2. Розглянути різні методи аналізу перехідних процесів в електричних колах.

3. Розробити комп'ютерні моделі розгалужених індуктивно зв'язаних електричних кіл з лінійними та нелінійними елементами.
4. Знайти аналітичні розв'язки для струмів у колі за умови лінійних та нелінійних елементів.
5. Провести дослідження у межах розроблених комп'ютерних моделей вплив параметрів кола на перехідні процеси.
6. Розробити комплексну лабораторну роботу з дослідження індуктивно зв'язаних електричних кіл з лінійними та нелінійними елементами.
7. Розглянути нормативно-методичні та організаційні заходи з охорони праці.

**Методи дослідження:** при проведенні дослідження використовувались методи математичного та імітаційного моделювання з використанням програмного забезпечення Maple, MATLAB/Simulink, Workbench, теоретичні основи електротехніки, математичний аналіз.

Результати досліджень створюють наукову базу для застосування комп'ютерного моделювання в області електротехніки, що дозволяє детально і глибоко вивчати різні технічні об'єкти в достатній повноті. Результати досліджень можна використовувати при створенні віртуального лабораторного практикуму з електротехнічних дисциплін. Одержані результати комп'ютерних розрахунків на підставі розроблених імітаційних моделей необхідні для реалізації практичних рекомендацій щодо впровадження конкретних проектів в області електротехніки.