

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 дослідження електростатичних полів, створених системою заряджених циліндричних провідників

Виконав: студент 2 курсу, групи 2ЕЛс  
спеціальності 141. Електроенергетика,  
електротехніка та  
електромеханіка

(код і назва спеціальності)

освітньо-професійної Електротехніка,  
програми та електротехнології

(назва ОПП)

Боднар Р.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Степанчиков Д.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Мешков Ю.Є.

(прізвище та ініціали)

Хмельницький - 2024 р.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: “Моделювання та дослідження електростатичних полів, створених системою заряджених циліндричних провідників” включає в собі пояснювальну записку. Пояснювальна записка містить 82 сторінки формату А4, 25 рисунків, 17 таблиці, 24 використаних джерел, 10 слайдів електронної презентації, 1 додаток.

Ключові слова: електричне поле, циліндричні провідники, лінії електропостачання, математичне моделювання.

Об'єктом дослідження є процеси утворення електричних полів повітряними лініями електропостачання високої напруги, їх параметри та характеристики.

Мета роботи: створення комп'ютерної реалізації розв'язку основної задачі електростатики з можливістю візуалізації електричного поля системи провідників, модельне дослідження поля системи провідників.

Результатом роботи є розроблені комп'ютерна імітаційна модель та методика дослідження електричних полів, створених однофазними та трифазними повітряними лініями електропостачання.

В роботі розроблено методику розрахунку та моделювання електричного поля повітряних ліній електропередачі. Проведено розрахунки, візуалізація та дослідження електричного поля однофазної та трифазної повітряних ліній електропередачі високої напруги. На підставі отриманих моделей та програмних кодів у системі комп'ютерної математики Maple створено можливість для проведення відповідних досліджень реальних ліній електропередачі. Розроблена комп'ютерна реалізація може бути використана у навчальному процесі у вигляді віртуальної комплексної лабораторної роботи з дослідження електричних полів високовольтних ліній електропередачі. Розглянуто питання виробничої санітарії, гігієни праці та техніки безпеки при роботі на сучасних обчислювальних машинах.

## ЗМІСТ

	стор.
Скорочення та умовні позначки	5
Вступ	6
<b>1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА</b>	<b>8</b>
1.1 Повітряні лінії електропередачі	8
1.1.1 Призначення та види повітряних ліній електропередачі	8
1.1.2 Будова та основні елементи повітряних ліній електропередачі	10
1.1.3 Санітарна зона лінії електропередачі	12
1.2 Електричні поля у високовольтних установках	14
1.2.1 Основні закони електричного поля	14
1.2.2 Зображення електричних полів	15
1.2.3 Принцип дзеркального відображення для електричних полів	18
1.3 Середовище математичних розрахунків Maple	20
1.3.1 Загальна характеристика системи комп'ютерної математики Maple	20
1.3.2 Оператори системи комп'ютерної математики Maple для роботи з полями	22
1.4 Висновки до оглядової частини	26
<b>2. МЕТОДИЧНА ЧАСТИНА</b>	<b>27</b>
2.1 Методика розрахунку електричного поля повітряних ліній електропередачі	27
2.1.1 Електричне поле однофазної повітряної лінії	27
2.1.2 Електричне поле трифазної повітряної лінії	31
2.2 Методика моделювання електричних полів циліндричних провідників	33

2.2.1	Формулювання основної задачі електростатики циліндричних провідників	33
2.2.2	Дискретизація системи сингулярних інтегральних рівнянь	38
2.3	Реалізація розв'язку основної задачі електростатики циліндричних провідників у системі комп'ютерної математики Maple	41
2.4	Висновки до методичної частини	44
3	ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	46
3.1	Розрахунок та візуалізація електричного поля однофазної повітряної лінії електропередачі	46
3.1.1	Визначення електричних параметрів однофазної лінії	46
3.1.2	Розрахунок та дослідження електричного поля однофазної лінії	46
3.2	Розрахунок та візуалізація електричного поля трифазної повітряної лінії електропередачі	50
3.2.1	Розрахунок та дослідження електричного поля трифазної горизонтальної лінії електропередачі	50
3.2.2	Моделювання електричного поля трифазної симетричної повітряної лінії електропередачі	52
3.3	Розрахунок та дослідження електричного поля несиметричної одноколової повітряної лінії електропередачі з неізольованими проводами та нерозщепленою фазою	54
3.4	Висновки до дослідницької частини	60
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	61
4.1	Загальна характеристика робочого місця інженера- програміста	61
4.2	Засоби захисту від дії електричного струму на підприємстві, в організації чи установі	70

4.2.1 Дія електричного струму на організм людини	70
4.2.2 Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом	72
4.2.3 Безпечна експлуатація електроустановок	73
4.3 Висновки до охорони праці	76
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
ДОДАТОК А. Апробація результатів дослідження	83

## ВСТУП

Провідники циліндричної форми знайшли широке застосування у сучасному світі – це дроти, коаксіальні кабелі, лінії електропостачання, радіохвилеводи тощо. Електричне поле, що створюється провідником, або системою провідників, визначає фактичну ємність системи, яка значно впливає на режими роботи обладнання та приладів, суттєво погіршуючи характеристики високочастотних приладів (таких як клістри), електроакустичного обладнання.

При розгляді циліндричних провідників, нескінченні утворюючі циліндру паралельні одному напрямку. Тому при розгляді паралельних циліндричних провідників (або одного провідника) мірність задачі може бути редукована до двох, тобто розглядається плоска задача. У цьому випадку достатньо розглянути площину, що перпендикулярна до утворюючих циліндрів. Відповідно кожен провідник можна буде представити замкненим контуром.

Комп'ютерне моделювання в даний час є потужним інструментом для моделювання та дослідження складних електротехнічних систем. У зв'язку з цим вивчення методів та проведення математичного моделювання електричних полів ліній електропостачання високої напруги є важливим у підготовці інженерів електроенергетичної галузі.

Тому *метою роботи* є створення комп'ютерної реалізації розв'язку основної задачі електростатики з можливістю візуалізації електричного поля системи провідників, модельне дослідження поля системи провідників.

*Об'єкт дослідження:* процеси утворення електричних полів повітряними лініями електропостачання високої напруги, їх параметри та характеристики.

*Предмет дослідження:* математичне моделювання та дослідження електричних полів повітряних ліній електропостачання високої напруги за допомогою сучасних систем комп'ютерної математики.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні *задачі*:

1. Розглянути основні прийоми роботи в системі комп'ютерної математики Maple;
2. Розглянути особливості розрахунку поля, що створене системою циліндричних провідників;
3. Розв'язати основну задачу електростатики через напруженість електричного поля;
4. Створити комп'ютерну реалізацію розв'язку основної задачі електростатики з можливістю візуалізації електричного поля системи провідників;
5. Провести модельне дослідження поля системи провідників від їх кількості, зарядів, взаємного розташування, розмірів.
6. Розглянути нормативно-методичні та організаційні заходи з охорони праці.

**Методи дослідження:** при проведенні дослідження використовувались методи математичного та комп'ютерного моделювання, теоретичні основи електротехніки та електростатики, математичний аналіз.

Результати досліджень створюють наукову базу для застосування моделювання на сучасних комп'ютерах 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. Знання студентами основ імітаційного та комп'ютерного моделювання дозволить з більшою ефективністю виконувати реальні проектні завдання.