

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Електромеханічний індукційний генератор високої напруги»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Олег ЛИСАК

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. кафедри КЕМСК

Дмитро ПРОЦЕНКО

(прізвище та ініціали)

« 21 » 11 2023 р.

Опонент:

О.В. Бабенко
к.т.н., доц. каф. ЕСЕМ

(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2023 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри Микола МОШНОРИЗ

« 28 » 11 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

“24” 10 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лисаку Олегу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Електромеханічний ємнісний генератор високої напруги

керівник роботи Проценко Дмитро Петрович, к.т.н., доц. каф. КЕМСК

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу

від “19” 09 2023 року № 247

2. Термін подання студентом роботи 28.11.2023р.

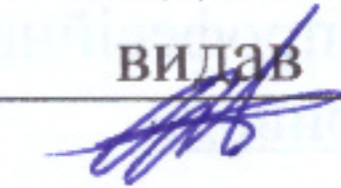
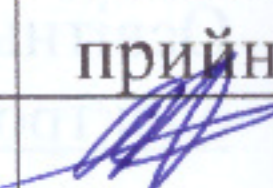

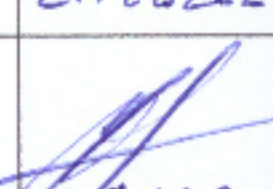


3. Вихідні дані до роботи: радіус кривизни граней обкладок (мм) – 0,0001; радіус кривизни кутів обкладок (мм) – 0,0001; ємність (пф) – 800; напруга пробою (кв) – 30.

4. Зміст текстової частини: 1 Огляд та аналіз електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги; 2 Теоретичні дослідження та аналітичні розрахунки; 3 Обґрунтування теорії та авторської ідеї; 4 Синтез конструкції ємнісної системи генератора; 5 Економічна частина; 6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових елементів): 1 Актуальність. 2 Референс; 3 Попередник; 4 Принцип дії; 5 Мета роботи; 6 Об'єкт дослідження; 7 Предмет дослідження; 8 Завдання; 9 Аналіз проблеми; 10 Причина проблеми; 11 Математична модель; 12 Моделивання; 13 Синтез конструкції; 14 Експеримент; 15 Наукова новизна;

16 Зв'язок МКР з науково-дослідними розробками; 17 Висновки; 18 Список публікацій та апробація.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доц. каф. КЕМСК Проценко Д.П.	 24.10.2023р.	 21.11.2023р.
Економічна частина	Шулле Ю.А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	 24.10.2023р.	 28.11.2023р.
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	 24.10.2023р.	 28.11.2023р.

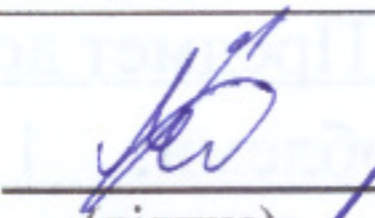
7. Дата видачі завдання 24.10.2023р.


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	03.10.2023р.	Проток. Зас. КЕМСК №
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	21.11.2023р.	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	28.11.2023р.	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	21.11.2023р.	
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	28.11.2023р.	
6	Попередній захист МКР	28.11.2023р.	
7	Нормоконтроль МКР	28.11.2023р.	
8	Рецензування МКР	11.12.2023р.	
9	Захист МКР		

Студент

Керівник роботи


(підпис)


(підпис)

Олег ЛИСАК

(прізвище та ініціали)

Дмитро ПРОЦЕНКО

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК: 62-83:622.673.1

Лисак О.О. Електромеханічний індукційний генератор високої напруги. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Вінниця: ВНТУ, 2023.87с.

На укр. мові. Бібліогр.: 16 назв; рис.: 8; табл. 7.

В магістерській кваліфікаційній роботі були запропоновані рішення щодо підвищення ефективності функціонування ємнісної системи електромеханічного індукційного генератора високої напруги, за рахунок внесення змін у конструкцію генератора. В основній частині роботи запропоновано та досліджено варіант рішення проблеми стікання заряду із обкладок ємнісної системи електромеханічного індукційного генератора, за рахунок конструктивних змін обкладок, що дозволяє накопичувати більше енергії при тих ж габаритах установки.

Графічна частина складається з 18 плакатів із результатами роботи.

В розділі охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

Ключові слова: електропривод, індукційний генератор, ємнісний генератор, електрична індукція, електростатична індукція, електростатика, моделювання, математична модель.

ABSTRACT

Electromechanical induction generator of high voltage. Master's qualification work in specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, educational program - electrical engineering.

Vinnytsia: VNTU, 2023. 87 c.

In Ukrainian. Bibliography: 16 titles; Figures: 8; Table 7.

In the master's qualification work, solutions were proposed to improve the efficiency of the capacitive system of an electromechanical induction generator of high voltage by making changes to the design of the generator. In the main part of the work, a solution to the problem of charge drainage from the covers of the capacitive system of an electromechanical induction generator was proposed and investigated by means of structural changes in the covers, which allows accumulating more energy with the same dimensions of the installation.

The graphic part consists of 18 posters with the results of the work.

The section on labor protection defines the main provisions for the safe operation of the studied electrical complex under the influence of harmful environmental factors.

Keywords: electric drive, induction generator, capacitive generator, electric induction, electrostatic induction, electrostatics, modeling, mathematical model.

ЗМІСТ

ВСТУП

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ЄМНІСНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

1.1 Огляд історичних аспектів, та теорії ємнісних генераторів 9

1.2 Аналіз сучасних електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги 11

1.3 Огляд та аналіз недоліків сучасних існуючих електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги 14

1.4 Перспективи подальшого розвитку електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги 16

1.5 Висновок 17

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІТИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1 Загальні теоретичні визначення 18

2.1.1 Пробій повітряного конденсатора та автоелектронна емісія 18

2.1.2 Напруженість електричного поля в повітряному конденсаторі 21

2.2 Пробій газового діелектрика, закон Пашена 22

2.2.1 Закон Пашена та пробій газового діелектрика в неоднорідному полі 22

2.3 Визначення оптимального радіусу кривизни обкладок 23

2.3.1 Залежність напруги пробою від радіусу кривизни обкладок 23

2.3.2 Визначення ємності конденсатора при зменшенні радіусу кривизни обкладок 24

2.3.3 Знаходження та аналіз оптимального радіусу кривизни обкладок 25

2.4 Висновок 27

3 ЗОБГРУНТУВАННЯ АНАЛІЗУ, ТЕОРІЇ ТА АВТОРСЬКОЇ ІДЕЇ

3.1 Поняття густини в електростатиці та стікання заряду 28

3.2 Оцінка аналітичних розрахунків, причини неточностей та методи покращення розрахунків 30

3.3 Моделювання напруженості електричного поля на пластинах конденсаторів 32

3.4 Висновок 33

4 СИНТЕЗ КОНСТРУКЦІЇ ЄМНІСНОЇ СИСТЕМИ ІНДУКЦІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА 34

4.1 Моделювання конструкції у середовищі SolidWorks. 36

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 38

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..... 41

6.1 Технічні рішення з безпечної організації робіт 41

6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час виконання робіт з вимірювальними приладами 41

6.1.2 Електробезпека 44

6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії 45

6.2.1 Мікроклімат 45

46

46

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Визначення області дії працездатності електромеханічного індукційного генератора високої напруги в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій 51

52

54

ВИСНОВКИ 57

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 58

Додаток А. Технічне завдання..... 65

Додаток А. Ілюстративна частина..... 70

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Електростатика виявляє широке застосування у різних галузях промисловості та науки. У космічній промисловості електростатика використовується для створення та керування електричними полями, які забезпечують стабільність та функціонування електроніки на борту космічних апаратів. Фільтрація повітря та води — ще один напрямок, де методи електростатики знаходять широке застосування. Вони допомагають видаляти забруднення з повітряних та водних потоків, забезпечуючи чисте середовище для життя.

Крім того, електростатика використовується у процесах фарбування та прискорення частинок. У фарбуванні електричні заряди використовуються для нанесення фарби на поверхню різних матеріалів з високою точністю та рівномірністю. Щодо прискорення частинок, електричні поля використовуються для надання частинкам великої швидкості, що є важливим у багатьох наукових та технологічних дослідженнях. Ці сфери, серед інших, підкреслюють значення електростатичних ємнісних (індукційних) генераторів, які використовуються для створення та керування електричними зарядами, що є ключовим елементом у багатьох зазначених процесах.

Розробка електростатичних ємнісних генераторів виявляється актуальною для України через свою економічну та технологічну доступність. Вона не потребує високотехнологічних виробничих процесів чи складної інфраструктури, що робить її більш доступною для виробництва в умовах національної промисловості. Необхідність у спеціальних матеріалах також не стоїть на першому плані, що спрощує процес розробки та виробництва генераторів, дозволяючи уникнути залежності від імпорту та знижувати витрати на експлуатацію.

Крім того, розробка подібних електростатичних ємнісних генераторів стимулює проведення фундаментальних наукових досліджень у напрямку електроенергетики, що може бути одним зі шляхів для досягнення технологічної незалежності України.

Таким чином, розробка і дослідження електромеханічного індукційного генератора високої напруги є актуальним науковим завданням.

Зв'язок МКР з науково-дослідними розробками. Дана магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці, дослідженню та покращенню електростатичного генератора, який виконується на замовлення американської приватної компанії Novel Space Concepts LLC.

Дана магістерська кваліфікаційна робота має зв'язок із науково-дослідними, експериментальними розробками, за рахунок укладених господарчо-договірних угод. Зокрема, компанія Novel Space Concepts LLC надає здобувачу необхідну науково-технічну інформацію, а також фінансує проведення експериментальних досліджень.

Мета даної магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні ефективності функціонування електромеханічного індукційного, ємнісного генератора високої напруги, за рахунок внесення конструктивних змін у конструкцію генератора, а саме, оптимізації геометрії ємнісної (індукційної) системи даного електростатичного генератора.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- провести аналіз проблеми та пошук шляхів її вирішення.
- розрахувати варіанти оптимізації і покращення генератора.
- змодельовати, перевірити та дослідити генератор.

Об'єктом дослідження є електромеханічний ємнісний генератор високої напруги, що працює на принципі електростатичної індукції.

Предметом дослідження є залежність енергії ємнісної системи генератора від геометричної форми пластин, що зумовлена процесом стікання заряду із граней та кутів обкладок.

Науковою новизною даної магістерської кваліфікаційної роботи є те, що в роботі удосконалено електромеханічний ємнісний генератор високої напруги, за рахунок конструктивних змін обкладок, що дозволяє накопичувати більше енергії при тих ж габаритах установки.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції

«ЛІІ Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2023)».

Публікації. За спорідненою темою до даної магістерської кваліфікаційної роботи, були опубліковані тези на науково-технічній конференції факультету електроенергетики та електромеханіки 2023:

- Матеріали конференції «ЛІІ Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2023)», Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2023/paper/view18809> – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 3 с.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ЄМНІСНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

1.1 Огляд історичних аспектів, та теорії ємнісних генераторів

Електростатика є однією з найдавніших галузей фізики. Однак, фактом залишається, що до 18-го століття не було зареєстровано відомих спроб створення ефективного електростатичного генератора, не кажучи вже про розробку електромеханічних генераторів високої напруги. Це період у наукових дослідженнях, коли ідеї та концепції електростатики лише починали висвічуватись, і хоча були окремі спроби, жодна з них не привела до створення функціонального пристрою. Такий стан справ спричинив необхідність глибшого вивчення електрики та розвитку нових підходів у цій сфері до досягнення значних технологічних відкриттів.

Під час обговорення електричних машин, які здатні генерувати, перетворювати та подвоювати напругу, важливо звернутися до наукових внесків Югана Вільке [1, 2], який відомий своєю роботою над першим у світі діючим електрофором. Вільке, завдяки своїм експериментам та розробкам, відіграв важливу роль у створенні пристроїв, які стали вихідним пунктом для подальшого розвитку електричних машин, зокрема у сфері генерації та подвоєнні електричної напруги.

Його внесок полягав у розробці першого електрофору, що послужило важливим кроком у розвитку сучасних електричних машин та відіграло ключову роль у наукових дослідженнях того часу.

Електрофор, у свою чергу, представляє собою унікальний тип ємнісного генератора, що використовується для створення та накопичення електричного заряду, використовуючи принципи електростатичної індукції. Винайдений 1762 р., став предметом великого зацікавлення лише після понад 10 років, коли Алессандро Вольт [2] популяризував його, і це спричинило початок інтенсивних досліджень у сфері електростатики, зокрема, розвитку ємнісних генераторів.

Наступний етап розвитку ємнісних генераторів датується 1787 роком, з відкриттям електроскопа, Абрахам Беннетом. Мається на увазі саме електрофор, з фольги покритою золотом, Як, заявляв сам винахідник, ця електрична машина, була здатна не тільки виробляти та накопичувати заряд, але й подвоювати його, за рахунок маніпуляцій з приладом [3, 4].

Після цього почався бурхливий розвиток ємнісних генераторів, та не просто подвоювачів напруги, а вже помножувачів напруги. Першим таким помножувач, винайшов Т. Кавалло, в 1795 році, який так і називається помножувач Кавалло [5].

Якщо перейти далі, то варто відмітити такі винаходи, як: машина Хольца, розроблена Вільгельмом Хольцом, машина Вімшурста, або ще називають електрофорна машина та генератор Ван де Граафа [5].

Хочеться зупинитись детальніше, на машині Вільсона. Розроблена на базі помножувача Кавалло, машина Вільсона вдосконалила процес множення та подвоєння напруги, та містила в собі рухомі частини [6], що дало подальший прогрес, саме в електромеханічних ємнісних генераторах. По факту, це був першим ємнісним генератором високої напруги, з рухомими частинами. Винахід датується 1804 роком, та становить собою, комбінацію з 5-6 дисків, 3-4, з яких закріплено вертикально, та 2 інших, мали можливість рухатись, тим самим подвоюючи та помножуючи напругу генерації.

Звичайно, історія налічує ще багатьох вчених та винахідників, які працювали над ємнісними генераторами та, особливо, над ємнісними генераторами високої напруги, але цієї вибірки достатньо, щоб зробити подальший аналіз, та огляд, уже сучасних та модифікованих ємнісних генераторів високої напруги, з переходом, вже до електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги.

1.2 Аналіз сучасних електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги

З появою електромеханіки та електричних машин, як таких, розвиток та винаходи в сфері ємнісних генераторів високої напруги, занепав. Але, відносно, недавно, з'явилась проблема в фільтрації води, створення фарби та інші задачі [7], з якими прекрасно справляються саме ємнісні генератори високої напруги. Тому, науковці, винахідники та ентузіасти, взялись за подальший розвиток цих електричних апаратів. Першим що було запропоновано, це встановлення електричної машини, задля автоматизації процесів подвоєння та помноження заряду і напруги в ємнісних генераторах високої напруги. Так і створились електромеханічні ємнісні генератори високої напруги.

Слід зауважити, що усі ці машини – це конструкції, котрі базуються на процесах роботи електростатичних машин, про які було описано вище. Тому коли говорять про електромеханічні ємнісні генератори, мається на увазі удосконалення існуючих моделей та, або, автоматизація процесів помноження та подвоєння електричного заряду. Розглянемо кілька таких електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги.

Першим, що хотілось би відмітити – це поворотний подвоювач Беннета [8]. Ця електромеханічна машина, може постійно подвоювати заряд, який генерує сама машина. Недоліком такої машини, є відсутність можливості накопичення заряду, що, по факту, призводить, до постійного викиду, та втрати заряду та напруги.

Якщо, говорити саме про електромеханічний ємнісний генератор високої напруги, який здатний саме тримати заряд та подвоювати його, за рахунок роботи електродвигуна, то потрібно перейти до електромеханічної версії машини Вільсона. Модифікована Кейросом, ця електромеханічна машина відійшла від стандартної версії машини Вільсона, розмістивши пластини конденсаторів горизонтально [9].

Електромеханічна машина Вільсона-Кейроса, складається з 2 конденсаторів, зверху і знизу, через які проходять пластини, та тим самим

помножують заряд з напругою в конденсаторах. Рухомі пластини, також являються конденсаторами, через що і відбувається процес множення заряду. На рисунку 1.1, зображено зовнішній вигляд електромеханічної машини Вільсона-Кейроса.

Звісно, що машина Вільсона-Кейроса, містить не тільки двигун, а ще й ряд інших електричних компонентів, потрібних для накопичення, та множення заряду. Так електрична схема електромеханічної машини Вільсона-Кейроса, представлена на рисунку 1.2.

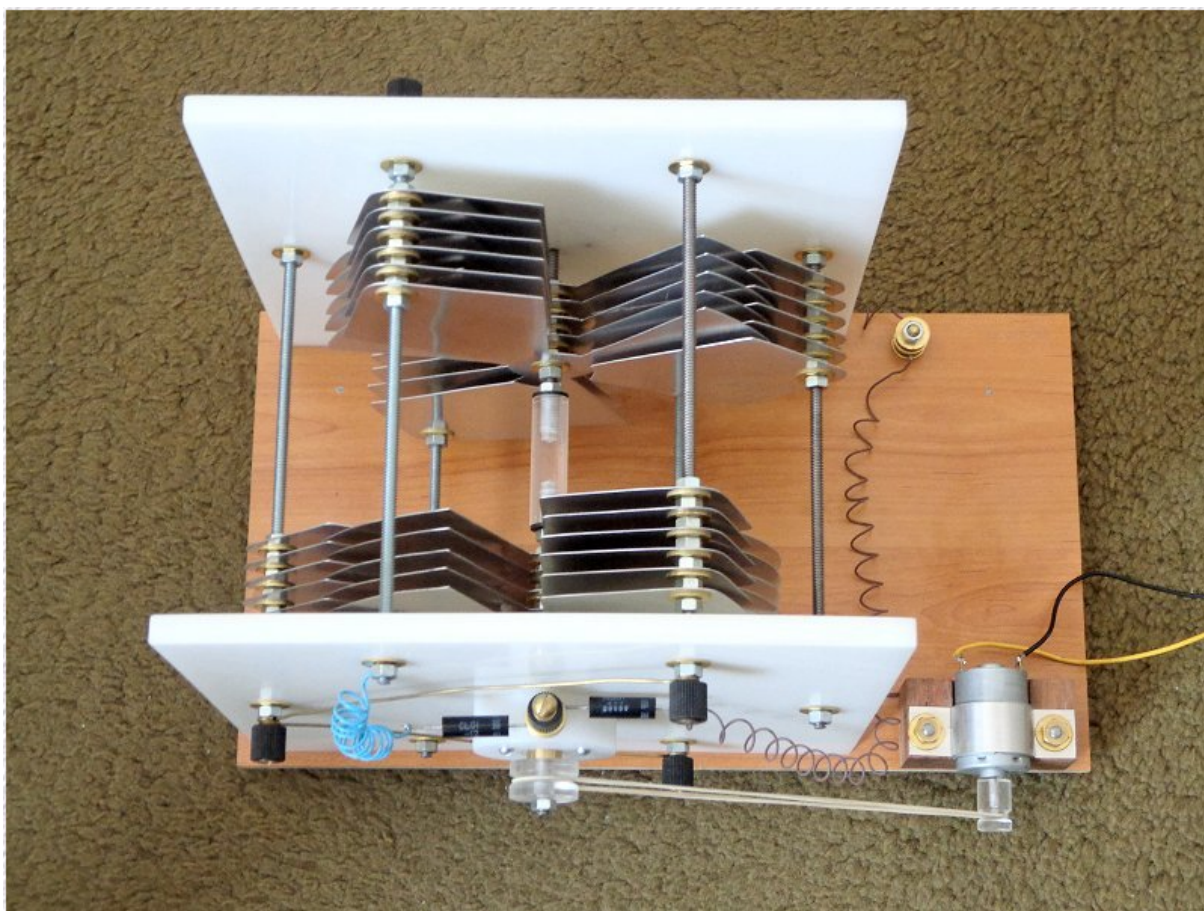


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд машини Вільсона-Кейроса

На рисунку 1.2, представлено наступні елементи: де $D_1 - D_4$ - високовольтні діоди; $C_1 - C_2$ - постійні конденсатори, призначені для завантаження заряду; $C_a - C_b$ - змінні конденсатори, на яких виробляється заряд.

Підбір даних елементів залежить від того, які показники ми хочемо отримати на виході. Максимальна можливість такої машини – 3 кВ.

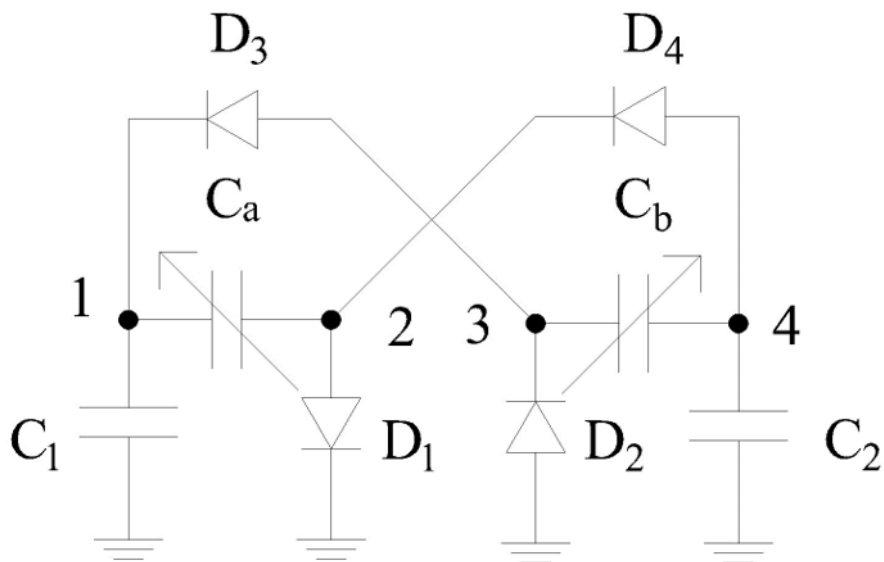


Рисунок 1.2 – Електрична схема електромеханічної машини Вільсона-Кейроса

Слід також відмітити й спроби автоматизації машини Ван де Граафа, та машини Вімшурста, але вони мають такі самі недоліки, що й поворотний подвоювач Беннета [5].

Також, можна відмітити, що процес розвитку нових та сучасних ємнісних генераторів високої напруги, набув нового етапу розвитку, про що свідчить все більша і більша кількість патентів, статей та робіт в даній сфері, як наприклад в [10].

Тому, з аналізу та історичного огляду, було доведено, що самим перспективним в сфері електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги, являється модифікована машина Вільсона, а саме електромеханічна машина Вільсона-Кейроса.

1.3 Огляд та аналіз недоліків сучасних існуючих електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги

З приведеної інформації в попередніх пунктах, було показано, що є сенс спиратись та досліджувати, саме електромеханічну машину Вільсона-Кейроса. Тому розберемо, які недоліки має дана конструкція, та причина цих недоліків.

Оскільки, мова йде саме про електромеханічну машину, то недоліки можна поділити на дві категорії:

- електричні недоліки;
- механічні недоліки.

Говорячи, про електричні недоліки, то схема представлена на рисунку 1.1, працює стабільно виробляючи та помножуючи заряд за кожен повний оберт пластин. Але цю схему можна модифікувати, що й було зроблено, та представлено на рисунку 1.3.

На рисунку 1.3 представлено такі елементи, де $D_1 - D_3$ - високовольтні діоди.

Таке виконання, показане на рисунку 1.2, дозволить накопичувати більше електричної енергії, що, відповідно, призведе до підвищення ефективності електромеханічної машини Вільсона-Кейроса.

Подальше вдосконалення електричних показників, буде залежати, як від усунення механічних недоліків, про що буде мова внизу, так і на базі експериментальних тестів, які можуть показати, наприклад, не правильність підбору апаратної бази елементів, або не відповідність до теоретичних даних.

Механічні недоліки, видні й на рисунку 1.3. Пов'язані вони з тим, що краї пластин є гострими. Це призводить до ряду проблем, від накопичення заряду та його стікання по цим гострим кутам, до проблеми пробою ємнісного генератора високої напруги.

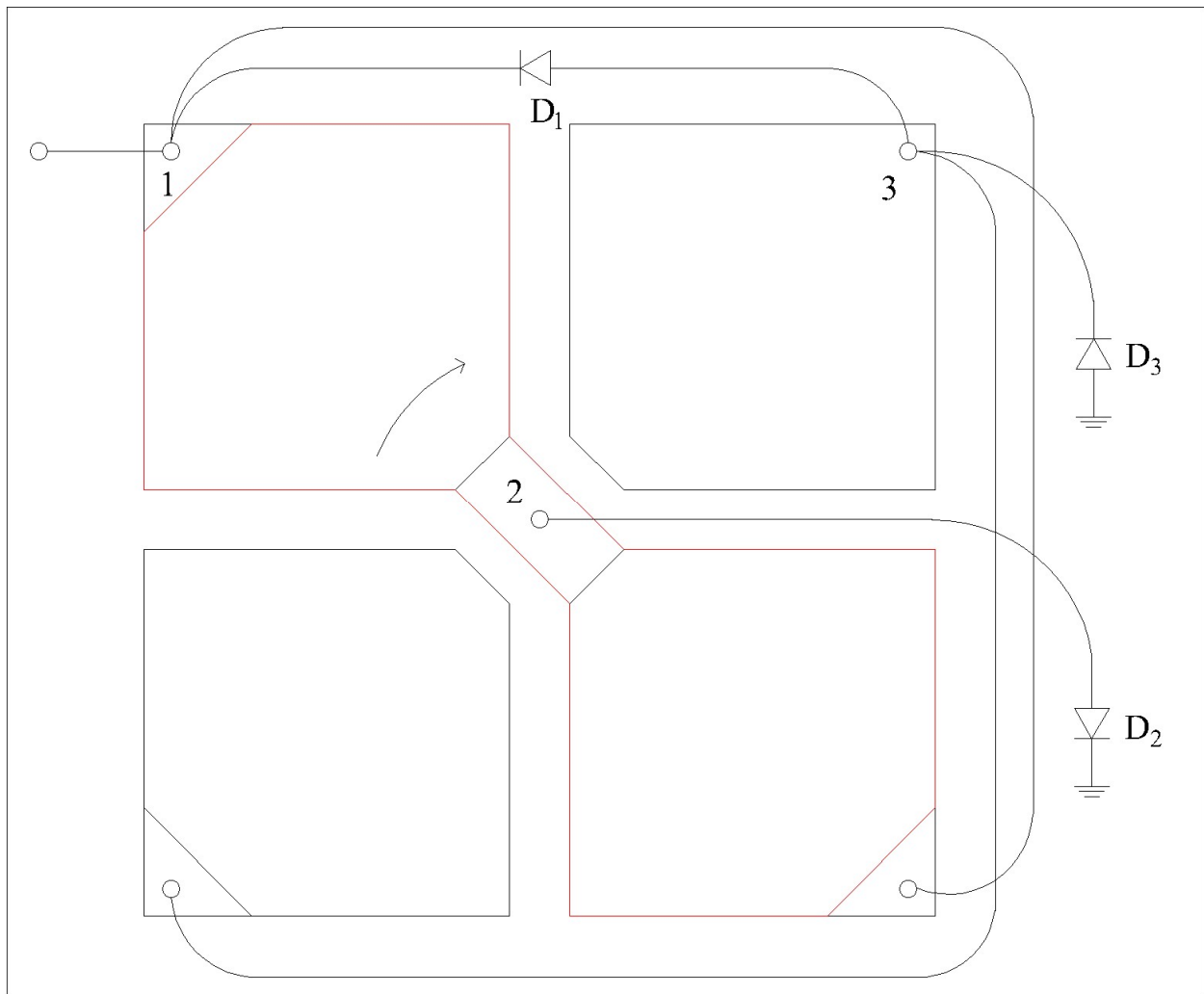


Рисунок 1.3 – Схема чотирилисника з відповідним підключенням

Саме через накопичення та стіканню заряду на гострих кутах пластин, напруга пробою ємнісного генератора є дуже високою, що в свою чергу призводить до самого коронного, або лавинного пробою конденсатора ємнісного генератора.

Ще одним з недоліків, вже електромеханічної частини, машини Вільсона-Кейроса – це потреба в контролі обертання двигуна, який крутить саму машину Вільсона-Кейроса. Ця потреба пов'язана, з тим, що при великих швидкостях, система буде дестабілізуватись, призводячи до витоків та втрати заряду і напруги. Але й навпаки, при малих швидкостях, не буде відбуватись генерація та множення електричного заряду, в самій електромеханічній машині Вільсона-Кейроса, або ці процеси будуть набагато слабшими, ніж потрібно для стабільної роботи.

1.4 Перспективи подальшого розвитку електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги

Як вже було сказано вище, ємнісні генератори високої напруги, широко використовуються, як для очищення повітря, так і для вироблення фарби, та інших газів, та речовин. На базі цього закладене підґрунтя, для подальшого розвитку та модифікації ємнісних генераторів високої напруги, а саме автоматизація таких апаратів, за допомогою електричних двигунів, що перетворить їх в електромеханічні ємнісні генератори високої напруги.

Подальший розвиток, може представляти собою вдосконалення в таких сферах, як:

- покращення механічних характеристик ємнісних генераторів високої напруги;
- покращення електричних, або електростатичних характеристик генераторів високої напруги;
- покращення систем автоматизації, тобто параметрів електричних двигунів, для ємнісних генераторів високої напруги.

Якщо, говорити про механічні характеристики, то потрібно розуміти, що ми обмежуємось, не тільки параметрами конденсаторів, будь то плоскі, циліндричні, чи сферичні конденсатори, а й матеріалом конденсаторів, формою, закругленням країв та інші механічні характеристики. Тому, мова йде, не тільки про збільшення кута радіусу кривизни плоских квадратних конденсаторів, а й, наприклад, про матеріал цих конденсаторів, що відноситься до сфери плавки металів.

Електричні характеристики, також, не визначаються лише збільшенням заряду, напругою та часом і множителем цих значень. Електричні характеристики, можуть бути покращенні, знову таки, від вибору елементної бази, або, наприклад, від різних властивостей провідників.

Електростатичні показники – це кардинальні інший спосіб подвоєння, або множення, та генерація заряду й напруги в ємнісному генераторі високої напруги. Покращення цього показники, означає розроблення новітніх методів та засобів електростатики, або вдосконалення вже існуючих винаходів, на базі

тих теоретичних знань про електричний заряд та саму електростатику, яка є на сьогоднішній день.

При покращенні електричних двигунів, що перетворює електростатичні машини, в електромеханічні, говорить, саме про покращення точності регулювання швидкостями двигунів та, або просто покращення показників двигунів, для зменшення енергетичних та механічних затрат на роботу електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги.

Так, для покращення точності регулювання швидкості двигуна, можна використати перетворювач частоти (ПЧ). Проблема цієї системи полягає в тому, що коефіцієнт корисної дії (ККД) усієї установки, буде падати. В теорії, можна використовувати крокові двигуни, котрі забезпечують безперервний контроль над швидкістю обертання двигуна, але це практично, тільки для лабораторного вивчення системи, так як потужні крокові двигуни, являються дуже дорогими установами.

В будь-якому випадку, подальший розвиток електромеханічних ємнісних генераторів, має великий потенціал, адже включає в себе не тільки один елемент, а, як мінімум, 3. Звичайно, ці 3 компоненти, можна розбити ще на декілька компонентів. Тому, можна з впевненістю сказати, що електромеханічні ємнісні генератори, потребують розвитку, та вдосконалення, у всіх напрямках.

1.5 Висновок

При огляді та аналізі, більшості аспектів, винаходів та праць по ємнісним генераторам високої напруги, та автоматизації їх, з додавання електромеханічних систем, як електричний двигун, можна дійти висновку, що найбільш перспективним для сучасності, є модифікація машини Вільсона, побудована на базі помножувача Каввало. Було розглянуто, що новітня електромеханічна машина Вільсона-Кейроса, має свої недоліки, котрі було проаналізовано та представлено, способи покращення, разом, з теорією, подальшого розвитку в сфері електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги в цілому.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІТИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1 Загальні теоретичні визначення

Як було сказано вище, головний електромеханічний недолік електричної машини Вільсона-Кейроса – це радіус кривизни кутів обкладок, або пластин металу. Через цю кривизну відбувається не тільки злиття електричного заряду, але й відповідно пробій конденсатора, що є не допустимим в даному випадку.

Радіус кривизни поверхні, можна представити в різних виглядах:

В диференціальній геометрії, радіус кривизни поверхні – це значення деякого диференціалу другого порядку, або матриця значень диференціалів другого порядку, що описують деяке чисельне значення кривизни поверхні, напрямок кривизни, та його інтенсивність. Саме числове значення диференціалу другого порядку, не дає радіус кривизни, але величина обернена до цього числового значення, називається радіусом кривизни поверхні.

В оптиці, та офтальмології, радіус кривизни поверхні – це кривизна внутрішньої поверхні, контактної лінзи, яка характеризує форму поверхні контактної лінзи.

В звичайній геометрії, радіус кривизни поверхні можна звести до відстані між центром та кінцевою точкою умовного круга, який буде описувати ділянку кривизни, яку ми хочемо визначити.

Диференціальна геометрія, використовується, зазвичай, тоді, коли потрібно визначити точку зміни напрямку переходу кривої. Але диференціальну геометрію важко застосувати, коли є фігури з нечіткою кривизною, або які мають не плавну кривизну, як трикутна форма, або голкова форма. Оптична інтерпретація радіусу кривизни поверхні, в даному випадку ніяк не допомагає. Звичайна геометрія, хоча і дає деякі неточності, але її можна застосувати для будь якої форми електрода.

2.1.1 Пробій повітряного конденсатора та автоелектронна емісія

Пробій повітряного конденсатора, як і в цілому (не тільки для повітряного конденсатора), залежить від напруженості електричного поля, та

густини електричного струму на електропроводі. Загалом прийнято вважати, що пробій відбувається тоді, коли (2.1) змінює свій знак на протилежний.

$$\frac{dj}{dE} \quad (2.1)$$

де j – густина електричного струму на поверхні провідника;

E – напруженість електричного поля.

Автоелектронна емісія – це явище проходження електронів, в металевій поверхні за межі цієї металевої поверхні. Тобто, коли електрон (електрони) під дією сильного зовнішнього електричного поля, прориваються назовні металу, та рухаються хаотично далі. Принцип виходу електронів з поверхні металу при автоелектронній емісії, також називають «вибухом» електронів, тому що електрон в такому випадку набуває достатньо енергії, щоб перебратися через потенційний бар'єр. Автоелектронна емісія, це явище яке, зазвичай, описується квантовою механікою, тому що, не можливо точно знати чи набуде деякий електрон достатньо енергії, для виходу з поверхні металу. Якщо цей процес стає масовим, то даний процес, вже неможливо описати стандартними законами квантової механіки, для автоелектронної емісії, а саме рівняннями Шоткі-Нордгейма.

Слід зауважити, що явищами автоелектронної емісії описують пробій вакуумних запобіжників, але потрібно розуміти, що там береться специфічний випадок, коли такий пробій утворюються з кінчиків електрода (катода). Тобто коли площа з якої відбувається пробій, є нескінченно малим. Також це пов'язано з фізичними властивостями, які притаманні вакууму, а саме мінімальна присутність вільних електронів, та інших мікроелементів.

Якщо взяти інші умови, притаманні для електричної машини Вільсона-Кейроса, де використовуються повітряні конденсатори та немає ярко виражених кінців електродів, то процес пробою такого повітряного конденсатора не можливо описати за допомогою автоелектронної емісії.

Зазвичай, пробій повітряного конденсатора, описується за допомогою поняття лавинного пробою. Лавинний пробій – це один з типів пробою діелектрика, при якому відбувається стрімке просування електронів через

діелектрик, в нашому випадку повітря, яке стрімко збільшує свої енергетичні показники, та утворює щось на рахунок лавини.

В загальному випадку, пробій газових діелектриків описується формулою Пашена:

$$U_{\text{пр}} = \frac{Bpd}{\ln\left(\frac{Apd}{\ln(1+\gamma^{-1})}\right)}, \quad (2.2)$$

де $U_{\text{пр}}$ - напруга пробою газового діелектрика;

A, B – константи для певного газу, які враховують вологість, молекулярну щільність та інші показники газу, виводиться з експериментальних даних;

p – Тиск газу;

d – Довжина проміжку між електродами;

γ - коефіцієнт вторинної іоно-електронної емісії, (також зазвичай табличний коефіцієнт).

Головним недоліком формули Пашена, є те що в ній не описується форма електродів, що не дозволяє розглянути залежність радіуса кривизни поверхні від напруги пробою діелектрика.

З курсу фізики відомо декілька формул для визначення густини електричного струму. Так густина електричного струму в провідниках можна записати в вигляді:

$$j = \frac{I}{S}, \quad (2.3)$$

де I – сила електричного струму;

S – площа поперечного перерізу провідника.

В загальному випадку густину електричного струму, розглядають як векторну величину, та має наступний вигляд:

$$\vec{j} = en \vec{v}, \quad (2.4)$$

де e – заряд електрона;

n – концентрація електронів;

\vec{v} - швидкість упорядкованого руху.

Через закон Ома в локальній формі, та певних перетворень, можна вивести наступну формулу, для вектора густини електричного струму:

$$\vec{j} = \frac{e^2 n(\lambda)}{2mv} \cdot \vec{E}, \quad (2.5)$$

де λ - відстань між двома атомами в провіднику ($(3 \div 5) \cdot 10^{-10}(\text{м})$);

v – швидкість теплового руху електрона ($v \approx 10^5(\text{м/с})$);

m – маса електрона;

\vec{E} - напруженість електричного поля в провіднику.

Відповідно, можна звести всі сталі значення, та записати:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}, \quad (2.7)$$

де $\sigma = \frac{e^2 n(\lambda)}{2mv}$ питома електропровідність.

2.1.2 Напруженість електричного поля в повітряному конденсаторі

Напруженість електричного поля в повітряному конденсаторі, знаходиться наступним чином:

$$E = \frac{U}{d}, \quad (2.8)$$

де E – напруженість електричного поля;

U – напруга електричного поля в повітряному конденсаторі;

d – відстань між пластинами повітряного конденсатора.

Дана формула працює, якщо повітряний конденсатор знаходиться у статичному стані. Але електрична машина Вільсона-Кейроса, порушує цей статичний стан, через що, застосування даної формули є неправильним.

В загальному випадку, потрібно визначати напруженість електричного поля через рівняння Максвелла. В цілому можна сказати, що напруженість електричного поля буде більша на краях повітряного конденсатора. Це пов'язано, через процес роботи електричної машини Вільсона-Кейроса, де металеві пластини (алюмінієві), проходять через повітряний конденсатор. Відповідно до цього, оскільки металеві пластини, такого ж розміру, або менші за повітряні конденсатори, то з геометрії, можна запевнити, що площа

захоплення повітряного конденсатора буде менша на краях, цього конденсатора.

2.2 Пробій газового діелектрика, закон Пашена

Як вже було сказано вище, основна причина пробою газових діелектриків – лавинний пробій. Проблематика розрахунків в удосконаленій електромеханічній машині Вільсона-Кейроса, полягає в тому, що закон Пашена за (2.2) застосовується при однорідному полі. Оскільки, в даній машині поле не є однорідним, то й застосовувати даний варіант закону Пашена, є недоцільним.

Також, варто зауважити, що при неоднорідному електричному полі, лавинна теорія має трохи розростись, до стрімерної теорії розряду.

Стрімерна теорія розряду – це вид лавинного пробою, при якому йде відгалуження від звичайного потоку електронів (лавини) в сторони, що створює, так звані, стрімери (потоки). Ці потоки, можуть, розповсюджуватись на велику площу, та завдати додаткових пробоїв, або, як мінімум, додаткових викривлень напруженості електричного поля, що в подальшому може спричинити додаткові пробої діелектрика.

2.2.1 Закон Пашена та пробій газового діелектрика в неоднорідному полі

Перед тим, як почати говорити про пробій діелектрика в неоднорідному полі, потрібно переписати закон Пашена, в універсальну форму:

$$U_{\text{пр}} = a_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot d + b_0 \cdot \sqrt{\frac{p}{p_0}} \cdot d, \quad (2.9)$$

де a_0 - коефіцієнт проникності газу, для повітря ($a_0 = 24,5(\text{кВ/см})$);

b_0 - коефіцієнт проникності газу, для повітря ($b_0 = 6,40(\text{кВ/см}^{1/2})$);

p – тиск газу;

p_0 - нормальний атмосферний тиск ($p_0 = 101,3\text{кПа}$);

d – довжина відстані між пластинами ($d = 0,5(\text{см})$).

При не стабільному (однорідному) електричному полі, закон Пашена видозмінюється, за рахунок закону подібності розрядів.

Для неоднорідного поля, початкова напруга пробою – це функція від тиску газу на один з геометричних розмірів проміжку, як відстань між електродами, або радіус кривизни обкладок, і відповідно відношенню всіх інших визначених розмірів до цих геометричних величин.

Так, для квазіоднорідних полів, можна застосувати наступну, видозмінену форму, закону Пашена:

$$U_{\text{пр}} = \frac{a_0 \cdot \delta \cdot d}{G} + b_0 \cdot \sqrt{\frac{\delta \cdot d}{G}}, \quad (2.10)$$

де δ - коефіцієнт залежності тиску від температури;

G – коефіцієнт неоднорідності поля, який залежить від геометричної форми електродів.

$$\delta = \frac{p \cdot T_0}{p_0 \cdot T}, \quad (2.11)$$

де T_0 - нормальна абсолютна температура ($T_0 = 293(\text{K})$);

T – реальна температура навколишнього середовища в Кельвінах.

Відповідно, якщо брати повітря, та припустити, що температура не змінюється, то $p = p_0$ $T = T_0$, тоді

$$\delta = \frac{p \cdot T}{p \cdot T} = 1.$$

Оскільки, в нашому випадку поле не квазіоднорідне, а саме різко різнорідне, то (2.10), потрібно ще видозмінити:

$$U_{\text{пр}} = \frac{a_0 \cdot \delta \cdot d}{k_{\text{н}}} \cdot \left[1 + \frac{c}{(\delta \cdot r)^{0,38}} \right], \quad (2.12)$$

де $k_{\text{н}}$ - коефіцієнт неоднорідності поля, котрий представляє собою відношення максимального напруження електричного поля, до середнього;

r – радіус кривизни електрода в місці пробою (радіус кривизни обкладок).

$$k_{\text{н}} = \frac{d}{r}, \quad (2.13)$$

2.3 Визначення оптимального радіусу кривизни обкладок

2.3.1 Залежність напруги пробою від радіусу кривизни обкладок

За (2.12), можна побудувати залежність напруги пробою в кВ, від радіусу кривизни обкладок в см. Дана залежність представлена на рисунку 2.1.

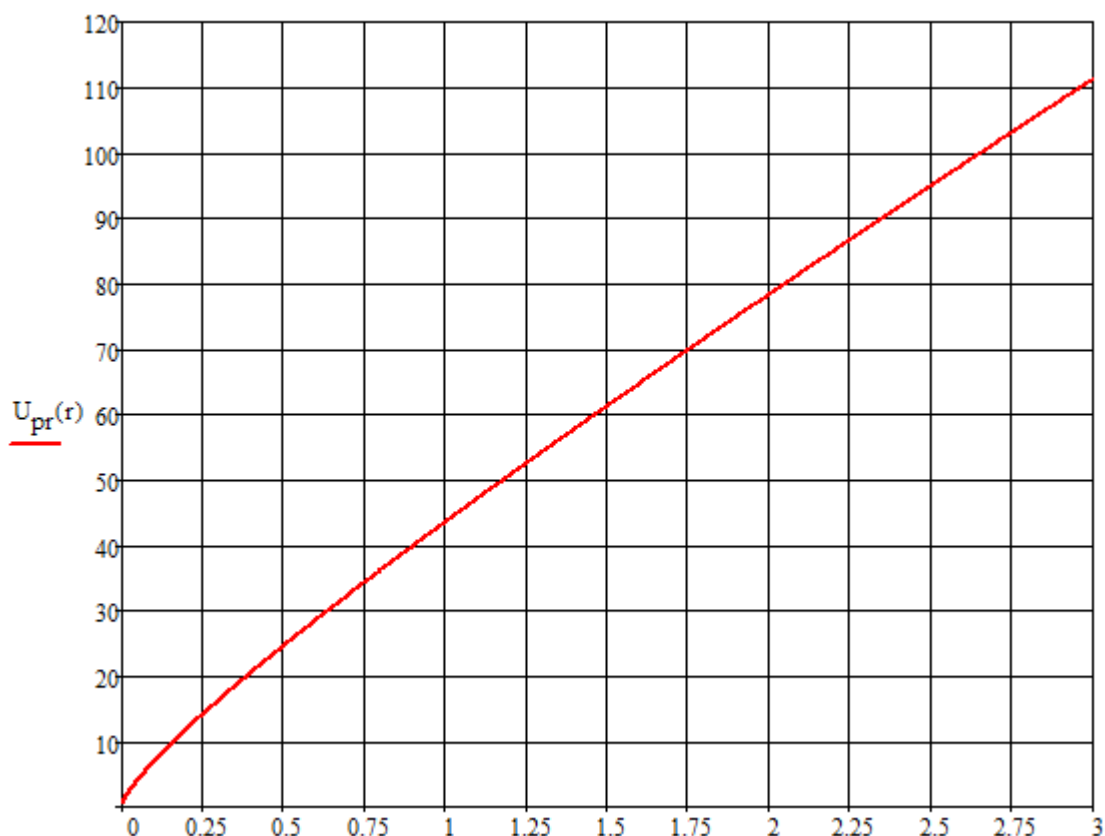


Рисунок 2.1 – Залежність напруги пробою від радіусу кривизни обкладок

З рисунку 2.1, видно, що напруга пробою змінюється по кривій на ділянці $\frac{d}{r} \geq 1$, та йде по прямій на ділянці $\frac{d}{r} \leq 1$. Це пов'язано, з новим перерозподілом електричного поля, та сильним зменшенням витоку електричного заряду на краях обкладок.

2.3.2 Визначення ємності конденсатора при зменшенні радіусу кривизни обкладок

В загальному, ємність плоского повітряного конденсатора, можна визначити за наступною формулою:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S}{d}, \quad (2.14)$$

де C – ємність конденсатора;

ϵ_0 - діелектрична проникність вакууму ($\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$);

ϵ - діелектрична проникність газу ($\epsilon = 1$, для повітря);

S – площа однієї з пластин конденсатора ($S = 49\text{см}^2$).

Враховуючи, що пластини представляють собою квадрат, площа якого знаходиться як квадрат сторони, то при заокругленні цих пластин зі всіх сторін квадрату, можна обрахувати площу наступним чином:

$$S = a^2 - \pi \cdot r^2, \quad (2.15)$$

де a – сторона квадратної пластини конденсатора ($a = 7\text{см}$).

Підставивши (2.15) в (2.14), можна знайти відповідність ємності конденсатора від радіусу кривизни обкладок. Графік залежності представлений на рисунку 2.2.

З рисунка 2.2, видно, що при $r = 3\text{см}$, ємність падає більше ніж в 2 рази. Тому більше ніж на 3 см, збільшувати радіус кривизни є недоцільним.

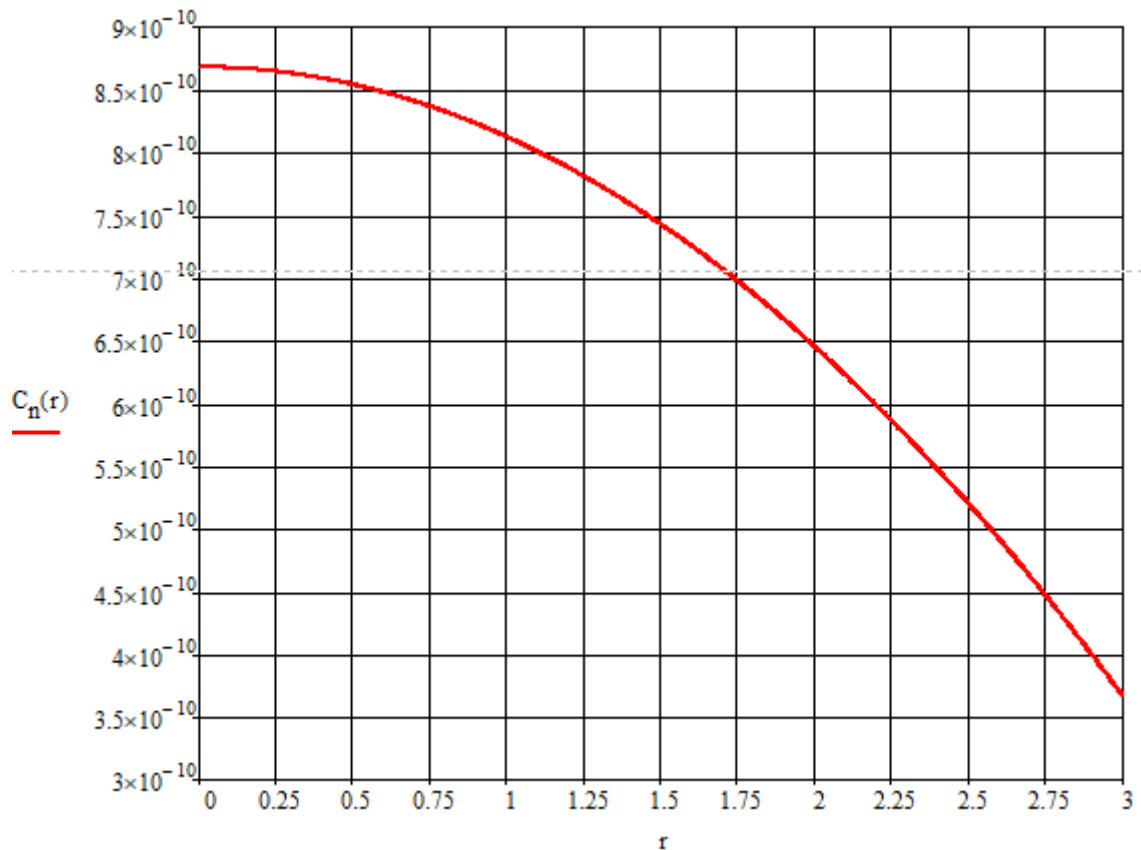


Рисунок 2.2 – Залежність ємності конденсатора від радіусу кривизни обкладок

2.3.3 Знаходження та аналіз оптимального радіусу кривизни обкладок

Перед тим, як порівняти обидва графіки, потрібно задати деяким коефіцієнтом, для ємності. Це потрібно, для того, щоб графіки перетнулися, але при цьому щоб ємність не сильно впала. Помноживши ємність на коефіцієнт $k = 10^{11}$, вийде графік оптимального радіусу кривизни обкладок, котрим представлений на рисунку 2.3.

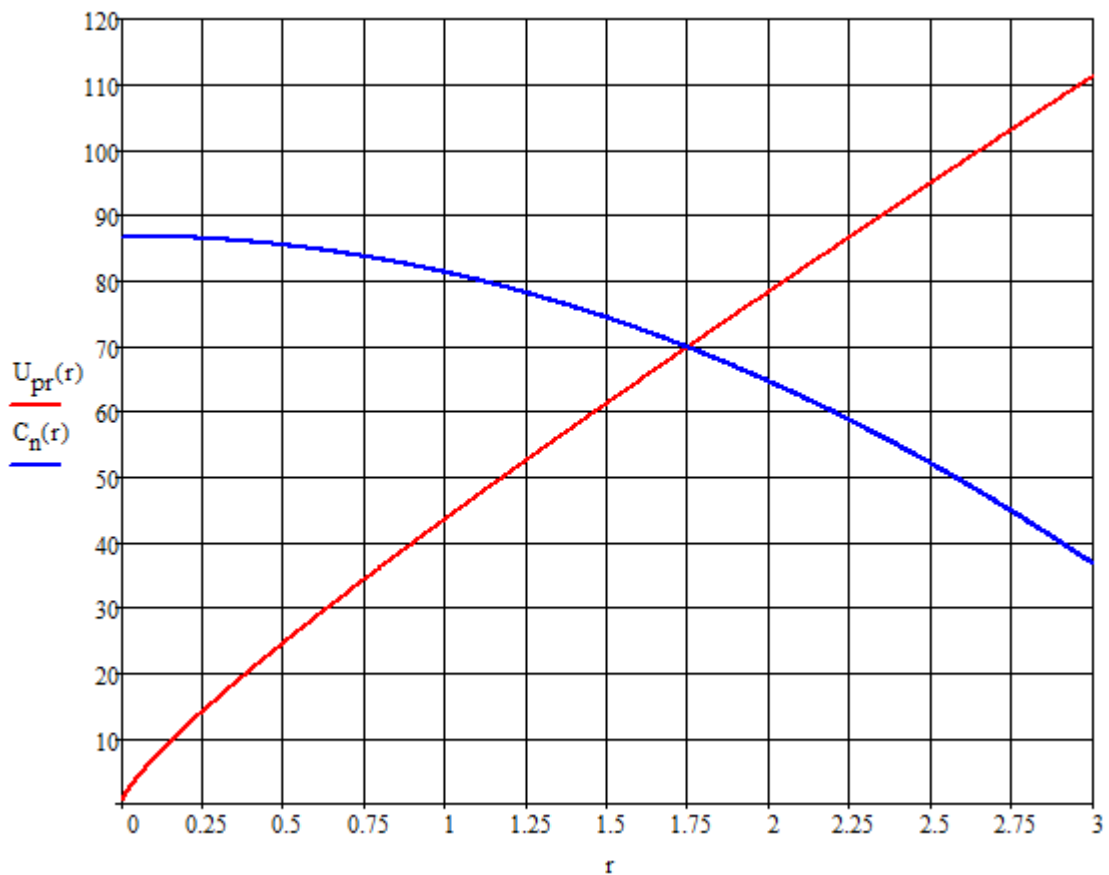


Рисунок 2.3 – Графік оцінки оптимального радіусу кривизни обкладок

За рисунком 2.3, одразу видно, що графіки перетинаються в точці 1,75 см. Тому, можна зробити передчасний аналіз, що саме це й буде оптимальним радіусом кривизни обкладок.

Аналізуючи рисунок 2.3, можна вивести, що ємність та напруга пробую будуть мати наступні значення:

$$U_{пр} \approx 70(\text{кВ}).$$

$$C \approx 700(\text{пФ}).$$

Звичайно, це лише попередні результати, які потрібно перевірити за допомогою моделювання, або експериментально. Результати моделювання, або експериментальні, можуть сильно відрізнятись.

Можлива розбіжність між теоретичними результатами з експериментальними, пов'язана з тим, що немає точного опису закону Пашена, при неоднорідному полі. Як вже було сказано вище, для точного визначення електричних полів, потрібно застосовувати рівняння Максвелла. Також, якщо припустити, що закон Пашена для неоднорідних електричних полів вірне, немає гарантії, що воно не буде динамічним, та не буде змінюватись в часі, або від збільшення радіусу кривизни обкладок.

2.4 Висновок

За результатами даного розділу, винесено припущення та теорію по яким відбувається пробій діелектриків в цілому, та пробій конденсаторів. На базі цієї теорії, показано та доведено, що в випадку електромеханічної машини Вільсона-Кейроса, стандартна теорія, є не точною, та не описує усіх процесів, які потрібно.

За удосконаленою теорією, виведено, та побудовано залежність радіусу кривизни обкладок від напруги пробою конденсатора, та залежність ємності від радіусу кривизни обкладок. За цими графіками, з урахуванням певного коефіцієнту, знайдено оптимальний радіус кривизни обкладок. Проведено аналіз, можливої розбіжності, з експериментальними даними.

3 ОБГРУНТУВАННЯ АНАЛІЗУ, ТЕОРІЇ ТА АВТОРСЬКОЇ ІДЕЇ

Суть даної роботи, зводиться, до удосконалення електромеханічної машини Вільсона-Кейроса, за механічними та електричними параметрами. В попередніх розділах, було приведено аналіз, та знайдено оптимальний радіус кривизни обкладок. Тобто, було представлено удосконалення механічних показників, які впливають, відповідно, й на електричні показники. Але зріст напруги пробою – не єдина характеристика, котру можливо покращити, за рахунок оптимуму радіусу кривизни обкладок.

3.1 Поняття густини в електростатиці та стікання заряду

Процес «стікання» заряду, з гострих поверхонь електродів – поняття відоме, ще з XVIII століття. В даний час, цей процес використовують для навчальних цілей, на уроках фізики в школі. Але насправді, «стікання» є небезпечним процесом, в електростатиці.

Через стікання заряду, відбувається зарядження поверхні повітря навколо точки (точок) стікання, що утворюють покращені умови для виникнення напруги пробою. А саме пробій за допомогою коронного розряду.

Як відомо, з курсу фізики, на поверхнях пластин конденсаторів, електричні заряди, можна, умовно рівномірно розподілити по усій поверхні пластини. Тобто, на кожній умовній ділянці, вибраної площини, буде однакова кількість заряду. Але при цьому поверхнева густина заряду буде визначатись наступним чином:

$$\sigma = \frac{\Delta q}{\Delta S}, \quad (3.1)$$

де Δq - заряд на певній площі поверхні ΔS ;

З рівняння (3.1), видно, що при зменшенні площі поверхні, густина заряду буде збільшуватись. Виходячи з попередніх термінів про рівномірність розподілу заряду, стає зрозумілим, що на краях пластин конденсаторів, буде більша густина заряду.

Процес стікання заряду, не можливо описати тільки за допомогою густини електричного заряду. Звісно, що цей процес описує початок стікання заряду з кінців пластин, але не пояснює сам процес утворення коронного розряду.

Під час створення коронного розряду, під певним чинником виникає деякий струм. Силу цього струму важко описати та прорахувати, оскільки стікання струму – процес хаотичний та не врівноважений. Але можливо описати густину електричного струму, яка визначається наступною формулою:

$$j = \frac{I}{S}, \quad (3.2)$$

де I – сила струму в (А);

S – поперечний переріз площі поверхні, m^2 .

Відповідно (3.1) та (3.2) в своїй суті, по одиноко, не описують всього процесу створення стікання електричного заряду, і перетворення його на коронний розряд. Повний етап, можна, описати зв'язавши ці дві формули. Швидкість зміни густини електричного заряду з часом зв'язана з густиною електричного струму рівнянням неперервності:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} + \operatorname{div} j = 0, \quad (3.3)$$

де j – густина струму;

σ – густина заряду.

За формулою (3.3), можна повністю описати процес утворення коронного розряду, через стікання електричного заряду.

Так, дивергенція в (3.3), означає, що електричний струм (рух електричних зарядів) з невеликого об'єму (площі) створюється та виходить, або заходить в деякий об'єм (площу).

Якщо описувати весь процес, то відбувається він наступним чином:

- стікання струму, спричинене зовнішнім напруженням поля, та великою поверхневою густиною на пластинах, призводить до зміни поверхневої густини на пластинах;

- зміна поверхневої густини, за (3.3), призводить до зміни дивергенції густини електричного струму, що в свою чергу призводить до появи сили струму в деякому навколишньому об'ємі повітря, навколо кінців пластини;

- сила струму в повітрі, в свою чергу іонізує навколишній об'єм повітря далі, що призводить до підвищення напруженості електричного поля навколишнього середовища, і задає передумови для коронного розряду;

- утворення коронного розряду в конденсаторі, в місцях закривлення (кінцевих точок квадрату) пластин конденсатора.

Відповідно, що при заокруглені країв, тобто, збільшення радіусу кривизни обкладок (пластин), відбувається зменшення густини електричного заряду, що зменшує дію стікання заряду, що в свою чергу, зменшує весь процес протікання коронного розряду.

3.2 Оцінка аналітичних розрахунків, причини неточностей та методи покращення розрахунків

В попередніх розділах, було досліджено оптимальний радіус кривизни обкладок, за залежністю напруги пробою від ємності конденсатора. Але проблематика в тому, що розрахунки, не описували тих параметрів про які було описано в даному розділі. Тобто не було описано явище і поняття коронного розряду. Що є неточністю в даних розрахунках.

Також, відхилення в розрахунках, як вже було описано, може бути пов'язано, з динамічністю системи. Оскільки ми маємо справу з електромеханічною машиною Вільсона-Кейроса, в якій, напруга множитья постійно, через проходження рухомих конденсаторів поміж нерухомих конденсаторів. Через це, опис має виражатись, як динамічна система в часі.

В свою чергу, в роботі було зроблене припущення, що система являється квазі-динамічною. Припущення має на меті те, що система являється статичною, але при цьому з деякими проміжками часу, напруга та, відповідно, напруженість електричного поля, при цьому помножується на деякий коефіцієнт. Що не дає повністю описати усієї процеси системи.

Недолік є досить суцільним, тому що, якщо ми розглядаємо пробій повітряного діелектрика, то він створюється по принципу найменшого супротиву. Це означає, що пробій, може відбутись між нерухомим конденсатором та рухомих конденсатором.

Цей недолік був присутній в початковій конструкції електромеханічної машини Вільсона-Кейроса. Винахідник демонстрував та в своїх працях говорив про це.

Для того, щоб позбутись цього недоліку, потрібно створити динамічну модуль, як функцію від часу. Вже було описано, що це можна зробити, за допомогою складних обрахунків рівняннями Максвелла. Проблемою є те, що рівняння Максвелла, так само, не можуть описати стан системи в кожному проміжку часу, при кожній позиції рухомого конденсатора. Моделювання такої системи є неможливим, через недостачу даних системи, та складність всієї моделі.

Тому, щоб, повністю дослідити удосконалення електромеханічної машини Вільсона-Кейроса, потрібно проводити експериментальні дослідження, за рахунок яких, можливо буде відслідкувати правильність розрахунків, або навпаки похибку розрахунків. По цим експериментальним даним можливо буде провести не тільки аналіз, а й вивести систему рівнянь, або математичну модель, для опису машини Вільсона-Кейроса, вже для подальшої модуляції.

Ще одним з неточностей розрахунків – є знаходження напруги пробою, при збільшені радіусу кривизни обкладок. Це пов'язано з недостатньою інформацією, при використанні закону Пашена, електродів, радіуси яких можна описати більш детально ніж циліндр, радіус якого, має дуже малі розміри.

Над цією теорією працював Лисовський, Яковін та Єгоренков. В цій роботі було проведено аналіз циліндричних електродів, радіус яких є більшим, навіть за відстань між електродами. За результати, було, доведено, що потрібно враховувати коефіцієнт, який визначається, як відстань між електродами поділений на радіус електродів. Але за матеріалами даної статті, аналіз проводився тільки для газів малого тиску.

Тому, при розрахунку напруги пробою, потрібно користуватись двома формулами одночасно. Початкова формула, має описувати коли радіус кривизни обкладок менший за відстань між електродами, а інша формула, має описувати залежність, коли радіус кривизни обкладок більший за відстань між електродами.

Нажаль цією проблематикою ще, ніхто не займався, а тільки висунуті припущення, на базі експериментальних даних, як це можна зробити. Але, при існуванні такої комбінації формул, не була б усунена проблема динамічності електромеханічної машини Вільсона-Кейроса.

3.3 Моделювання напруженості електричного поля на пластинах конденсаторів

Моделювання електричного поля напруженості, проводиться в програмному середовищі QuickField. Для початку промодельюємо випадок, коли радіус кривизни обкладок є малим. Дана модель представлена на рисунку 3.1.

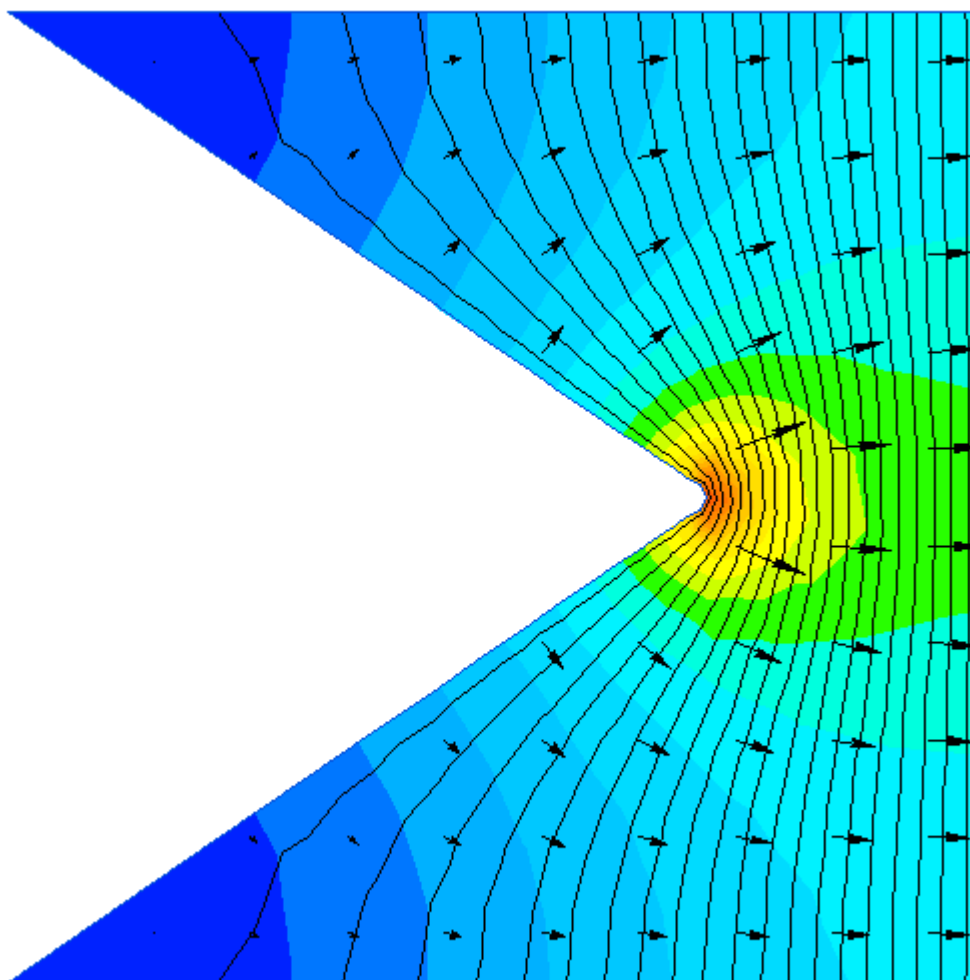


Рисунок 3.1 – Модель напруженості електричного поля між обкладками при малому радіусу кривизни обкладок

Відповідно, якщо, промоделювати знайдений оптимальний радіус кривизни обкладок, то напруженість електричного поля перерозподілиться. Дана модель представлена на рисунку 3.2.

Порівнюючи рисунок 3.1 та рисунок 3.2, можна помітити, що напруженість електричного поля, при збільшенні радіусу кривизни обкладок, стало більш рівномірним. При цьому, сила векторів напруженості електричного поля падає, при збільшенні радіусу кривизни обкладок.

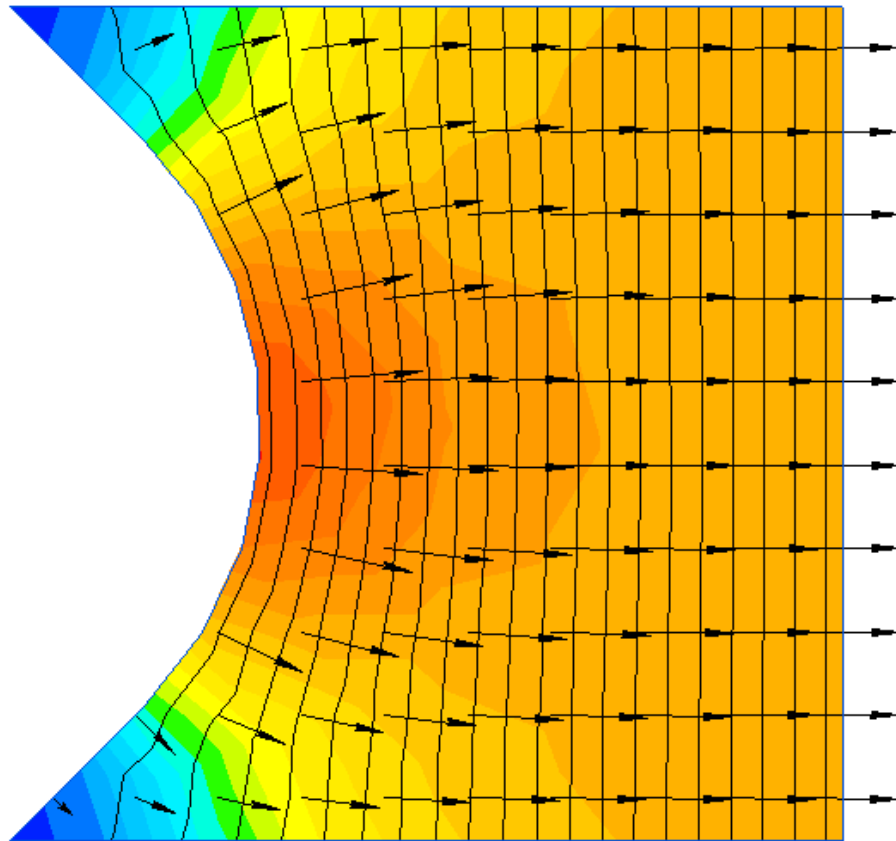


Рисунок 3.2 – Модель напруженості електричного поля між обкладками при оптимальному радіусі кривизни обкладок

3.4 Висновок

На базі теоретичного підґрунтя, доведено, що при оптимальному радіусу кривизни обкладок, зменшиться процес стікання заряду, разом з утворенням коронного розряду в конденсаторах.

Проведено доцільний аналіз розрахунків, разом, з недоліками та похибками розрахунків. Також описано проблематику тверджень та припущення, які допускались при розрахунках.

За допомогою моделювання, підтверджено, що саме оптимальний радіус кривизни обкладок, дає зниження сили напруженості електричного поля, разом, з перерозподілом навантаження напруженості електричного поля.

4 СИНТЕЗ КОНСТРУКЦІЇ ЄМНІСНОЇ СИСТЕМИ ІНДУКЦІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА

На основі розрахунків, що були проведені у попередніх розділах, було ухвалено рішення розробити конструкцію з певними геометричними характеристиками. Враховуючи результати аналізу, було зрозуміло, що оптимальні параметри включають в себе певні розміри та форму пластин генератора. Ці параметри були обрані на основі різноманітних факторів, включаючи ефективність накопичення енергії, розміщення пластин у системі та загальну продуктивність генератора.

Конструкція була спроектована з врахуванням важливих аспектів ефективності роботи генератора. Велика увага приділялася не лише розмірам пластин, а й їхній геометрії, що визначає оптимальне розташування для максимального збору енергії. Це рішення базувалося на детальному аналізі параметрів, які мають вирішальне значення для ефективного функціонування системи.

Крім того, розробка конструкції враховувала ергономічність та можливості виготовлення даної системи. Важливими аспектами були не лише технічні характеристики, але й практичність у виготовленні та подальшому застосуванні цієї конструкції. Такий підхід дозволяє не лише покращити ефективність роботи генератора, але й забезпечити його практичне використання в реальних умовах.

На основі проведених розрахунків та аналізу отриманих даних, було прийнято рішення збільшити радіус кривизни кутів і граней обкладок у ємнісній системі генератора. Це рішення було обґрунтоване високими значеннями електричного поля на гранях та кутах пластин. Збільшення радіусу кривизни спрямоване на зменшення інтенсивності електричного поля в цих областях, що впливає на зниження потенційних проблем з ізоляцією та ефективністю генератора.

Зміна геометричних параметрів обкладок ємнісної системи має велике значення для підвищення стійкості та продуктивності генератора. Збільшення радіусу кривизни сприяє зниженню електричного навантаження на області граней та кутів пластин, що може позитивно вплинути на загальну надійність системи. Це рішення базується на оптимізації форми та розмірів обкладок, з метою покращення електричних властивостей генератора.

За допомогою цього вдосконалення у геометрії обкладок ємності генератора передбачається досягнення оптимальних параметрів, які сприятимуть збільшенню ефективності та стійкості роботи системи. Це рішення визначено не лише аспектами оптимізації електричних характеристик, а й забезпеченням надійності та тривалого функціонування генератора.

4.1 Моделювання конструкції у середовищі SolidWorks.

Моделювання конструкції ємнісної системи індукційного генератора високої напруги в середовищі SolidWorks було обрано з урахуванням його передових можливостей та найвищої функціональності для вирішення подібних завдань. SolidWorks відомий своєю високою точністю та різноманітністю інструментів, які дозволяють створювати складні та точні тривимірні моделі, що відображають реальні умови роботи системи.

Однією з переваг використання SolidWorks є його інтуїтивний інтерфейс, що спрощує процес проектування. Ця програма надає можливість працювати з різними геометричними формами та складними компонентами конструкції, що дозволяє вирішувати різноманітні завдання з точністю та ефективністю.

SolidWorks також відомий своїми можливостями аналізу. Його функціонал дозволяє проводити детальні розрахунки різних параметрів системи, що є критичним для розробки оптимальних конструкцій. Інструменти для аналізу та моделювання в цій програмі допомагають виявляти потенційні проблеми та вдосконалювати роботу системи.

Використання SolidWorks у процесі розробки ємнісної системи індукційного генератора високої напруги дозволило отримати детальну та достовірну модель. Це допомогло виявити та виправити потенційні проблеми

ще на етапі проектування, що покращило ефективність та надійність майбутньої системи.

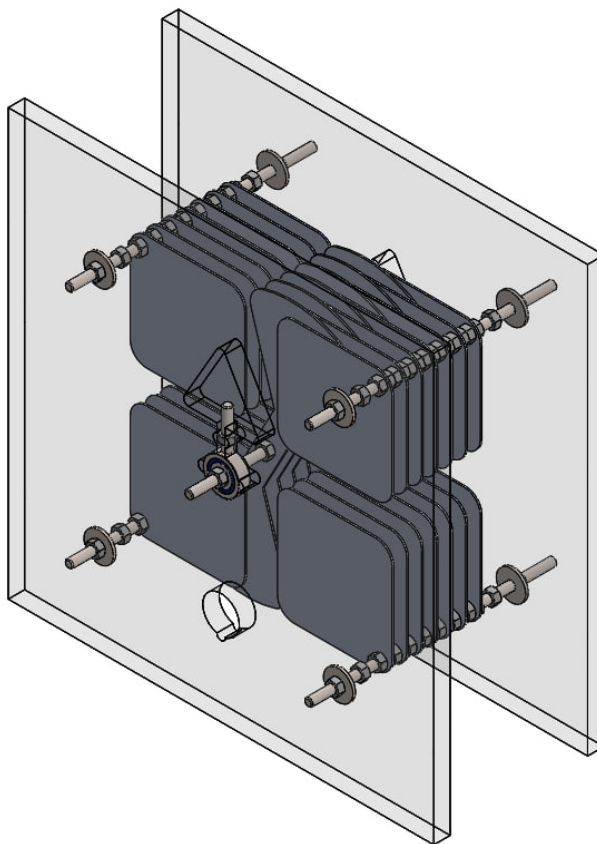


Рисунок 3.3 – Модель ємнісної системи генератора, виконана у SolidWorks.

У загальному, вибір SolidWorks для моделювання конструкції ємнісної системи індукційного генератора був зумовлений його високою точністю, різноманітністю інструментів та можливістю проведення докладного аналізу, що в сукупності сприяло створенню ефективною та надійною системи.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В рамках цієї магістерської кваліфікаційної роботи проводиться розробка експериментального пристрою на замовлення американської приватної компанії Novel Space Concepts LLC.

Оскільки робота виконується на замовлення і включає в себе створення пристрою за певними технічними вимогами та специфікаціями, доцільно провести ретельний розрахунок кошторису проекту.

Це важливий аспект, оскільки він визначає необхідні витрати на матеріали, обладнання, робочу силу та всі інші складові для успішного завершення етапів розробки та виготовлення пристрою відповідно до вимог замовника.

Для врахування впливу надійності на економічну ефективність технічних засобів рекомендуються такі показники:

а) вартість річного випуску продукції з врахуванням надійності:

$$Ц' = Ц_0(V - V_{\text{зниж}}), \quad (6.1)$$

де $Ц_0$ – вартість одиниці випущеної продукції;

V – річна продуктивність при абсолютній надійності;

$V_{\text{зниж}}$ – об'єм продукції, на який знижується продуктивність в зв'язку з тим, що надійність об'єкта не ідеальна (наявні відмови об'єкта);

б) річний прибуток з врахуванням надійності використовуваного об'єкта:

$$П' = П_0 - (S + R), \quad (6.2)$$

де $П_0$ – річний прибуток при ідеальній надійності об'єкта;

$(S + R)$ – витрати, пов'язані з забезпеченням виробництва при його нормальному функціонуванні S і при виникненні відмов технічних засобів R .

З ростом надійності технічних засобів знижується втрати від пристроїв і витрати на обслуговування, росте річний прибуток.

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень з врахуванням надійності:

$$E_e = \frac{P'}{K} = \frac{P_0 - S - R}{K}. \quad (6.3)$$

Економія засобів, отримана при використанні більш надійного виробу за час t , визначається за формулою:

$$E = n_1(Z_{1обс} + C_{1вт}) - n_2(Z_{2обс} + C_{2вт}), \quad (6.4)$$

де n_1, n_2 – відповідно кількість відмов менш надійного і більш надійного виробів за час t :

$$n_1 = (1 - P(t))N, \quad (6.5)$$

де $P(t)$ – ймовірність відсутності відмов за час t ;

N – число виробів, що є в експлуатації;

$Z_{1обс}, Z_{2обс}$ – витрати на обслуговування менш надійного і більш надійного виробів;

$C_{1вт}, C_{2вт}$ – втрати, викликані відповідно відмовами менш і більш надійного виробів.

Витрати на обслуговування складаються із витрат на технічні огляди, регламентні перерви, профілактику, усунення несправностей та ремонтів.

В таблиці 6.1 приведено розрахунок капітальних вкладень на розробку засобу діагностування електричного двигуна.

Таблиця 6.1 – Капітальні витрати на електроустаткування

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.
-------------------------	---------------------------

Сенсори: напруженості електричного поля, тиску, температури (навколишнього середовища), напруги	3000
Блок прийняття рішення	3500
Блок вимірювання напруженості електричного поля	1000
Матеріали конструкції	2000
Інше обладнання	3700
Всього	13200
Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	1320
Всього капітальні вкладення	14520

Отже, капітальні витрати $E_k = 14520$ грн.

Кошторис даного проекту складає приблизно 14520 гривень, і це важливий аспект у забезпеченні фінансової прозорості та контролю за витратами. Ця цифра відображає загальну оцінку витрат на матеріали, обладнання, робочу силу та інші витрати, необхідні для успішного завершення проекту з розробки експериментального пристрою. Враховуючи цей кошторис, можна ретельно планувати та керувати фінансовими ресурсами, щоб досягти поставлених цілей у межах визначеного бюджету.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Розділ магістерської роботи присвячений дотримання вимог охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації електромеханічного індукційного генератора високої напруги. Основна мета охорони праці – зведення до мінімуму імовірності травматизму та захворювань працівників. Це здійснюється за рахунок забезпечення нормальних умов праці.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на оперативно-ремонтний персонал, що обслуговує електропривод вітрового комплексу, у відповідності з прийнятою класифікацією [1, 2].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); іонізація повітря.

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (нетоксичний пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

6.1 Технічні рішення з безпечної організації робіт

6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час виконання робіт з вимірювальними приладами

Для забезпечення робіт, що їх провадять в колах вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту, всі вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів струму і напруги слід постійно заземлювати. За необхідності розриву кола струму вимірювальних приладів і реле кола вторинної обмотки трансформатора струму попередньо закорочується на спеціально призначених для цього затискачах.

Розривати кола, підключені до вторинної обмотки трансформатора струму, забороняється. За необхідності розриву цих кіл вони мають бути попередньо замкнуті перемичкою, встановленою до передбачуваного місця розриву (рахуючи від трансформатора струму). Під час встановлення перемички слід застосовувати інструмент з ізолювальними рукоятками.

Під час роботи на трансформаторах струму або в колах, підключених до їх вторинних обмоток, слід виконувати такі заходи безпеки: зажими вторинних обмоток до закінчення монтажу кіл, що до них підключаються, мають бути замкнені накоротко. Після приєднання змонтованих кіл до трансформатора струму закоротку слід переносити на найближчу збірку затискачів і знімати тільки після повного закінчення монтажу та перевірки правильності приєднання змонтованих кіл; під час перевірки полярності до подавання імпульсів струму в первинну обмотку прилади слід приєднувати до затискачів вторинної обмотки. Забороняється використовувати шини первинних обмоток як струмопровідні під час монтажних та зварювальних робіт.

Робота в колах пристроїв релейного захисту, електроавтоматики і телемеханіки (РЗАіТ) проводиться за виконавчими схемами. Під час робіт в пристроях РЗАіТ слід користуватися слюсарно-монтажним інструментом з ізолювальними рукоятками.

Під час перевірки кіл вимірювання, сигналізації, керування і захисту за необхідності в приміщенні електроустановок напругою понад 1000 В дозволяється залишатися одному члену бригади за умовами роботи (наприклад, регулювання вимикачів, перевірка ізоляції); працівник, який перебуває окремо від керівника робіт, повинен мати групу III. Під час робіт в колах трансформаторів напруги з подачею напруги від стороннього джерела

знімаються запобіжники з боку вищої і нижчої напруги, а також відключаються автомати від вторинних обмоток.

За необхідності проведення будь-яких робіт в колах чи на апаратурі РЗАіТ за умови ввімкненого основного обладнання слід вжити додаткових заходів щодо запобігання його випадковому відключенню. Забороняється на панелях або поблизу місця розміщення релейної апаратури провадити роботи, які викликають сильний струс релейної апаратури, що може спричинити до помилкових дій реле.

Перемикання, вмикання і вимикання вимикачів, роз'єднувачів та іншої комутаційної апаратури, пускання і зупинення агрегатів, регулювання режиму їх роботи, необхідні під час налагодження або перевірки пристроїв РЗАіТ, провадять тільки оперативні працівники.

Записувати покази електролічильників та інших вимірювальних приладів, встановлених на щитах керування і в РУ, дозволяється:

- одноособово працівникам з групою II за наявності місцевих оперативних працівників (з чергуванням двох осіб) і з групою III — без місцевих оперативних працівників;
- працівникам інших організацій з групою III у супроводі місцевого оперативного працівника.

Встановлення і зняття електролічильників та інших вимірювальних приладів, підключених до вимірювальних трансформаторів, повинні провадити за нарядом зі зняттям напруги два працівники, один з яких повинен мати групу IV, а другий — групу III. За наявності в колах електролічильників контактів (блоків), що дозволяють працювати без розмикання кіл, підключених до вторинних обмоток трансформатора струму, ці роботи можна виконувати за розпорядженням, не знімаючи напруги зі схеми електролічильника. За відсутності вказаних контактів напругу і струм в колах електролічильника слід відключити.

Приєднання вимірювальних приладів, встановлення і зняття електролічильників, підключених до вимірювальних трансформаторів, за наявності випробувальних блоків або спеціальних затискачів, що дають змогу

безпечно закорочувати кола струму, виконуються без зняття навантаження і напруги. Встановлення і зняття електролічильників безпосереднього ввімкнення допускається провадити за розпорядженням одному працівнику з групою III. Встановлення і зняття електролічильників, а також приєднання вимірювальних приладів виконуються зі зняттям напруги.

Роботи з електролічильниками на різних приєднаннях, розміщених в одному приміщенні, можна виконувати за одним нарядом (розпорядженням). Оформлення в наряді переходу з одного робочого місця на інше не вимагається.

6.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання підприємства та систем освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В), з'єднаної з силовим трансформатором. Категорія умов за небезпекою електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю на об'єктах, що будуються та реконструюються, струмопровідної підлоги.

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [4, 5]: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні – написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

- при живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі. Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

- електрозахисні засоби захисту. Електротехнічний персонал повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням

засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Забороняється користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізолюваними ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт) [6]. Параметри мікроклімату в приміщенні наведено в таблиці 6.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається [7]:

- в холодну пору року – використання калорифера;
- в літню пору – застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву,
- провітрювання приміщень.

Таблиця 6.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°С	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК [6] наведено в таблиці 6.2.

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [7]: провітрювання приміщень; встановлення пиловловлюючих засобів.

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Вуглецю оксид (СО)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

6.2.3 Виробниче освітлення

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці працівника.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [8] розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Норми при штучному, природньому та суміщеному освітленні наведено в таблиці 5.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп. Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 6.3 – Вимоги до освітлення виробничих приміщень

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Для забезпечення нормативних значень освітлення передбачено:

- використання додаткового штучного освітлення, а саме світлодіодних ламп;

- необхідна кількість природного світла (великі вікна);
- для підтримки постійної освітленості повинно бути організовано систематичне, не рідше двох разів на місяць, очищення арматури світильників і ламп від пилу та бруду, а в приміщеннях із значним виділенням пилу, диму та кіптяви - не рідше чотирьох разів на місяць згідно з графіком.

6.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [9].

Норми звукового тиску на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно: безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін,

застосовувати підвісні звукопоглиначі (ширми, екрани тощо); для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

6.2.5 Виробнича вібрація

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу – За [10]. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	ДБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальна	Z_0, Y_0, X_0	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;

- зміна конструктивних елементів машин;

- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

6.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження. Робоча поза: Періодичне перебування в незручній та/або фіксованій позі до 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах і т. ін.) від 10% до 25% часу зміни; знаходження в позі стоячи від 60% до 80% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 1500

Нахили корпуса (вимушені, більше 30), кількість за зміну: 101 –300

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км/ По горизонталі: до 12. По вертикалі: до 8

Інтелектуальні навантаження: Рішення складних завдань з вибором за відомим алгоритмом (робота за серією інструкцій)

Зміст роботи: Сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальним значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів, Обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання, Робота в умовах дефіциту часу

Сенсорні навантаження: Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) 51-75. Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи 176–300. Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження 11-25

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) 3-4

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 70% до 50%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) 20-25

Емоційне навантаження: Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за функціональну якість основної роботи (завдань). Вимагає виправлень за рахунок додаткових зусиль всього колективу (групи, бригади та ін.)

Ступінь ризику для власного життя: Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб

Монотонність навантажень: Кількість елементів (приймів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово 5-2

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) 24-2.

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) 91-95.

Режим праці: фактична тривалість робочого дня (год.) 10– 12.

Змінність роботи тримісна робота (робота у нічну зміну)

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість перерви нерегламентовані або недостатньої тривалості до 3% часу зміни

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Визначення області дії працездатності електромеханічного індукційного генератора високої напруги в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

В умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій, потрібно виділити найважливіші та найбільш імовірні на сучасність загрозливі чинники. Територія Вінницької області, є сприятливою в питанні природних загрозливих чинників, як наприклад: землетруси; повені; лавини та інші.

Якщо говорити про технологічні загрозливі чинники, то у Вінницькій області, не має своїх атомних станцій, або ж великих хімічних заводів, що робить цю область сприятливою і безпечною і в цьому плані також. Самими

близьким небезпечним технологічним загрозливим чинником для території Вінницької області, була і є ЧАЕС.

Тому, слід вважати, також загрозливі чинники в умовах військових дій. Ця надзвичайна ситуація є гострою, особливо в теперішні дні. Найбільш поширені небезпечні ситуації пов'язані з військовими діями, на території Вінницької області, можуть бути: авіаудари, ЕМІ бомби, радіаційне зараження, пов'язане з вибухом ядерної зброї, або пошкодженням деякої АЕС та інші.

Для дослідження області працездатності електромеханічного індукційного генератора високої напруги, то потрібно визначити його елементу базу, разом з електропровідною системами, для визначення вражень від ЕМІ та іонізуючого випромінювання.

З всього сказано, найбільш вірогідними є застосування ЕМІ, або поширення радіаційного зараження. Адже при ракетній небезпеці, усьому персоналу потрібно покинути небезпечну територію та пройти в укриття.

6.3.1 Визначення області працездатності електромеханічного індукційного генератора високої напруги в умовах дії іонізуючого випромінювання

Для визначення області працездатності електромеханічного індукційного генератора високої напруги в умовах дії іонізуючих випромінювань, використовують поняття граничного рівня радіації, $R_{гр}(P/год)$, при яких система буде працювати стабільно, або знаходитись на межі стабільності.

Для цього, потрібно дослідити, які граничні рівні дози опромінення, $R_{гр}$, має кожен елемент системи. Дані граничних доз опромінення кожного елемента наведені в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Граничні значення дози опромінення електромеханічного генератора високої напруги

Елементи системи керування		$P_{гр,i}$, Р/ГОД	$P_{гр}$, Р/ГОД
БК	Акумулятор	10^9	10^4
	Транзистори	10^4	
МК	Мікросхема	10^3	10^3
	АЦП	10^4	
	ЦАП	10^4	

Так, аналізуючи таблицю 6.1, мінімальне значення граничної дози опромінення, становитиме $P=10^3$.

Оцінюючи область працездатності електромеханічного індукційного генератора високої напруги, потрібно визначити граничне значення потужності дози опромінення, за:

$$P_{гр} = K \cdot P_{min} \cdot K_{осл}, \quad (6.1)$$

де K – коефіцієнт надійності ($K = 0,93$);

$K_{осл}$ - коефіцієнт послаблення радіації (приймається рівним $K_{осл} = 2$, оскільки індукційний генератор високої напруги, обладнаний захистом в вигляді пластику).

$$P_{гр} = 0,92 \cdot 10^3 \cdot 2 = 1860(\text{Р/ГОД})$$

Отже, область працездатності системи граничить від 0 до 1860 Р/год, при більших значеннях, система буде працювати нестабільно.

Розрахуємо допустимий час роботи генератора високої напруги в умовах дії іонізуючого випромінювань, за формулою:

$$t_d = \left(\frac{D_{гр} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_{гр} \cdot \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_{гр}} \right)^2, \quad (6.2)$$

де t_n - час з початку опромінення ($t_n = 1\text{ГОД}$);

$D_{гр}$ - можлива доза опромінення ($D_m = 10^3\text{Р}$).

$$t_d = \left(\frac{10^3 \cdot 2 + 2 \cdot 1860 \cdot 1}{2 \cdot 1860} \right)^2 = 2,36(\text{ГОД})$$

Отже, за розрахунками, при дозі опромінення в 10^3 , система буде працювати безпечно тільки 2 години, що є мало. При цьому потрібно розуміти, що доза іонізуючого випромінювання, для системи в 10^3 , є достатньо великим значенням, тому при менших значеннях, система буде працювати стабільно.

6.3.2 Визначення області працездатності електромеханічного генератора високої напруги в умовах дії електромагнітного імпульсу

Електромеханічний генератор високої напруги, являється, як лабораторна установка, екранована, для захисту від прямого дотику між людиною між ротором і статором, тому екранування допоможе при ЕМІ, і додає додатковий захист від цього загрозового чиннику. Як вже було сказано, екранування створене з пластику, тому коефіцієнт захисту буде меншим ніж для сталі, або інших металів.

Розрахуємо перехідне гасіння енергії електричного поля сталевим екраном, за формулою:

$$A = 2 \cdot d \cdot \sqrt{f}, \quad (6.3)$$

де d – товщина стінки екрана ($d = 1\text{см}$);

f – максимальна частота ЕМІ ($f = 15000\text{Гц}$).

$$A = 2 \cdot 1 \cdot \sqrt{15000} = 245(\text{дБ}).$$

Живлення системи здійснюється мережею 220 В змінної напруги, та 24 В – постійної напруги.

Розрахуємо, на яку напруженість ЕМІ, витримують кабелі які виходять з електромеханічного генератора високої напруги до двигуна, який обертає генератор. Візьмемо лише провідники для живлення двигуна, тобто мережею 220 В.

Так, допустима напруга коливання для мережі 220 В, становить 5%, тому:

$$U_{\text{доп}} = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231(\text{В})$$

Тоді, за формулою можна визначити напруженість електромагнітного імпульсу, враховуючи, що коефіцієнт безпеки не має бути меншим за 40 дБ:

$$K_B = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{\text{доп}}}{U_{\text{ЕМІ}}}\right), \quad (6.4)$$

де $U_{\text{ЕМІ}}$ - напруга, яка викликана ЕМІ, по горизонтальній та вертикальних струмоведучих осях.

З формули (6.4), можна знайти, що напруга ЕМІ, буде становити 2,31В, при коефіцієнту безпеки 40 дБ. Розрахуємо напруженість по горизонтальній осі електромагнітного імпульсу:

$$U_{EM1.G} = E_{\Gamma} \cdot L_{\Gamma}, \quad (6.5)$$

де E_{Γ} - напруженість ЕМІ по горизонтальній осі;

L_{Γ} - довжина горизонтальної струмоведучої частини ЕМІ ($L_{\Gamma} = 1,2\text{м}$).

$$E_{\Gamma} = \frac{2,31}{1,2} = 1,925(\text{В/м})$$

Відповідно, по вертикальній осі напруженість поля ЕМІ, буде в 10^3 більшим, та становитиме

$$E_{\text{В}} = 1,925(\text{кВ/м})$$

Отже, якщо напруженість ЕМІ, не буде перевищувати 1,925 кВ/м, то система буде працювати безпечно, якщо ж це значення буде перевищено, провідники з щитку до двигунів пальників, можуть згоріти, або виникнути коротке замикання.

Оскільки, електромеханічний індукційний генератор високої напруги, перебуває, в захищеному приміщенні, та й захищений сам апарат, як лабораторний стенд, то граничне значення іонізуючого випромінювання буде становити 1860 Р/год., що є високим значенням, яке може витримати велику кількість аварійних викидів.

Якщо говорити про ЕМІ, то екранування, для захисту від прямого дотику до обмоток статора і ротора, захищає систему аж на 245 дБ, тому єдиним вразливим елементом системи є кабельні провідники напругою 220В, які йдуть від генератора високої напруги до двигуна, що обертає цей генератор. При розрахунку області працездатності було визначено, що крайня верхня межа працездатності становить 1,925 кВ/м. При цьому значенні напруженості поля, система буде працювати на межі стійкості, відповідно, при менших значеннях, система буде працювати стабільно.

Додатковий захист, який пропонується встановити, це короб з заземленням, для кабельної проводки, що захистить систему від короткого замикання та не дасть перегоріти важливим елементам системи, за відсутності захисту. Також, рекомендується встановити захист в вигляді плавких запобіжників, хоча б для електродвигуна, що обертає електромеханічний генератор високої напруги.

ВИСНОВКИ

В результаті даної роботи, було проведено дослідження та аналіз електромеханічних ємнісних генераторів високої напруги. В результаті чого, було показано недоліки даних варіацій конструкцій, як механічних так і електромеханічних.

Було показано залежність напруги пробою повітряного конденсатора, від усіх можливих факторів, та представлено в цілому комплекс пробою за енергією та напругою відповідно.

Розраховано та виведено формулою Пашена, для пробою плоского повітряного конденсатора в умовах не стабільного електричного поля, з врахуванням геометрії радіусу кривизни обкладок.

Графічно виведено, залежність між напругою пробою та радіусом кривизни обкладок, разом з ємністю конденсатора з радіусом кривизни обкладок.

При поєднанні цих двох графіків, знайдено оптимальний радіус кривизни обкладок, який можливо застосовувати на практиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електротехнічні матеріали: курс лекцій Частина 1. Діелектричні матеріал. Кириленко К. В., Кириленко В. М., Головка В. М. Київ КПІ.
2. Electronic version of Wilson's machine. [Електронний ресурс] – Режим доступу - <https://acmq-326823.web.app/wilsonel/index.html>
3. Фізика для бакалаврів. Електрика та магнетизм. Горобець О. Ю. Київ КПІ.
4. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки. Курс лекцій. Фреїк Д. М. Чобанюк З. Ю. Дзуньда Б. С. Матеїк Г. Д. Ткачук А. І. Івано-Франківськ.
5. Wilson's machine. [Електронний ресурс] – режим доступу - <https://acmq-326823.web.app/Wilson/index.html>
6. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.
7. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
8. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
9. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
10. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

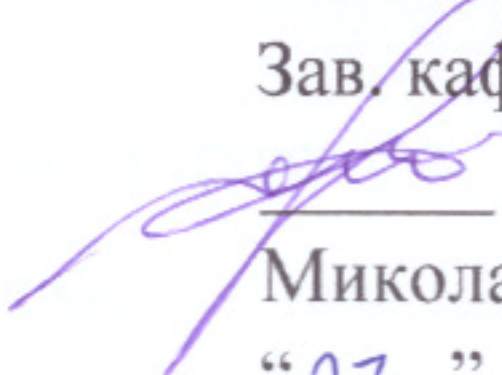
11. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
12. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.
13. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.
14. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
15. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
16. Сакевич В. Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ. 2006. 109 с.

Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК

 к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

“07” 11 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ІНДУКЦІЙНИЙ ГЕНЕРАТОР
ВИСОКОЇ НАПРУГИ**

08-24.МКР.011.00.000 ТЗ

Керівник МКР

к.т.н., доц.

Дмитро ПРОЦЕНКО 

“07” 11 2023 р.

Розробив студ. гр. ЕІА-22М.

Олег ЛИСАК 

“07” 11 2023 р.

Вінниця ВНТУ 2023

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Електромеханічний індукційний генератор високої напруги».

Скорочене найменування розробки – «Індукційний генератор високої напруги». Замовник – Novel Space Concepts LLC.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Електромеханічний індукційний генератор високої напруги призначений для генерації постійної високої напруги. Галузі використання – системи електростатичної фільтрації, електростатичного опріснення солоної води.

4 Вимоги до розробки

Електромеханічний індукційний генератор високої напруги повинен забезпечувати стійку генерацію постійної високої напруги, чіткою реакцією на зміни у колі зворотнього зв'язку. Експлуатація здійснюється в умовах, які визначаються місцем встановлення системи автоматизації.

5 Комплектація розробки

Індукційна (ємнісна) система генератора, корпус, електропривод у базовій комплектації. У повній комплектації також супроводжується автоматизаційною системою керування електроприводом генератора зі зворотним зв'язком.

6 Технічні характеристики

Генератор:

Ємність – 700 пФ

Вихідна напруга – до 70 кВ

Кількість обертів на хвилину – до 1000 об/хв

Привод генератора:

Тип двигунів – синхронні, колекторні, асинхронні,

Потужність двигунів – 2,...200 Вт,

Регулюючі елементи – датчики напруженості електричного поля, мікроконтроллер.

7 Джерела розробки

1. Електротехнічні матеріали: курс лекцій Частина 1. Діелектричні матеріал. Кириленко К. В., Кириленко В. М., Головка В. М. Київ КПІ.

2. Wilson's machine. [Електронний ресурс] – режим доступу - <https://acmq-326823.web.app/Wilson/index.html>

3. Electronic version of Wilson's machine. [Електронний ресурс] – Режим доступу - <https://acmq-326823.web.app/wilsonel/index.html>

8 Конструктивне виконання

Електро механічний індукційний генератор високої напруги виготовляється двома парами статорних пластин-обкладок, по чотирнадцять штук, ротором із шістьма пластинами-обкладками, кіловольтовими діодними збірками, контакторами для зняття напруги та корпусом котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки та норм виготовлення високовольтних індукційних генераторів.

9 Показники технологічності

Електро механічний індукційний генератор високої напруги виконується із легкодоступних електротехнічних матеріалів, з використанням сучасних технологій обробки матеріалів, є можливість виготовлення частин конструкції на лініях автоматизованої збірки електротехніки.

10 Стадії і етапи розробки

Стадії і етапи розробки	Термін виконання
Основна частина пояснювальної записки	
Графічна частина	
Економічна частина	
Охорона праці	

11 Технічне обслуговування і ремонт

Збирання системи та пусконаладжувальні роботи повинні проводитись кваліфікованими фахівцями. У разі поломки будь-якої частини системи, її необхідно замінити повністю, ремонт дозволено за доцільності.

12 Живлення пристрою

Живлення електромеханічної, привідної системи генератора виконується постійною напругою відповідно до характеристик обраного двигуна та системи керування ним.

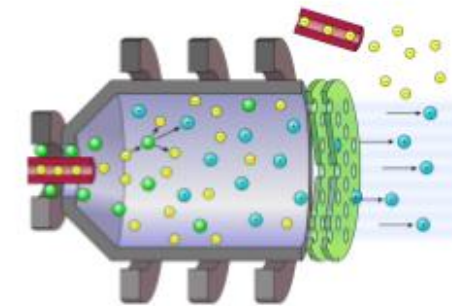
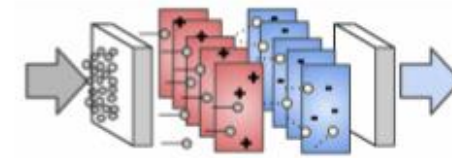
Додаток Б

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ІНДУКЦІЙНИЙ ГЕНЕРАТОР
ВИСОКОЇ НАПРУГИ**

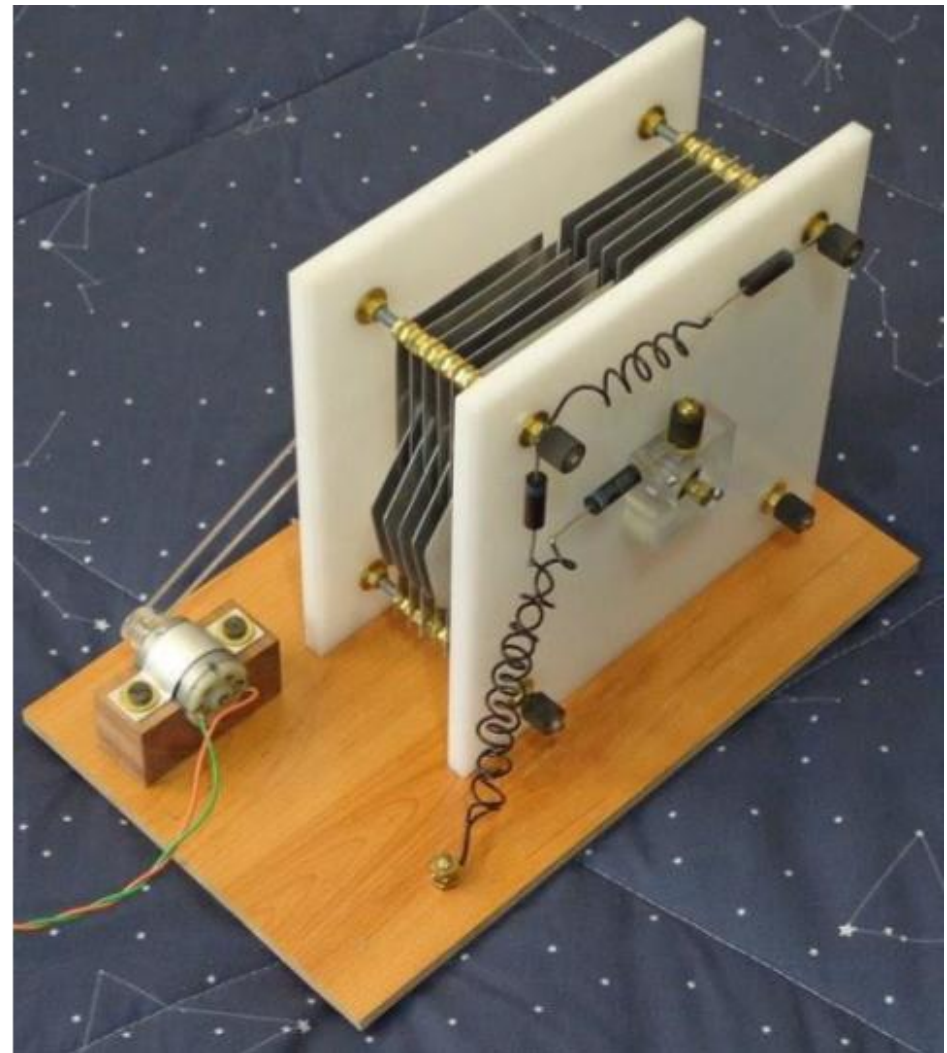
АКТУАЛЬНІСТЬ

Використання електростатики в широкому спектрі специфічних галузей актуалізує розробку та удосконалення відповідних генераторів високої напруги, виробництво яких не потребує складного високотехнологічного обладнання, що робить дану сферу діяльності однією з перспективних для України.



РЕФЕРЕНС

За основу був узятий експериментальний електромеханічний індукційний (ємнісний) генератор Вілсона-Кейроса.



ПОПЕРЕДНИК

Перший екземпляр генератора Вілсона-Кейроса був розроблений у 2015 році професором Федерального університету Ріо-де-Жанейро, Антоніо Кейросом, як покращена версія генератора Вілсона.

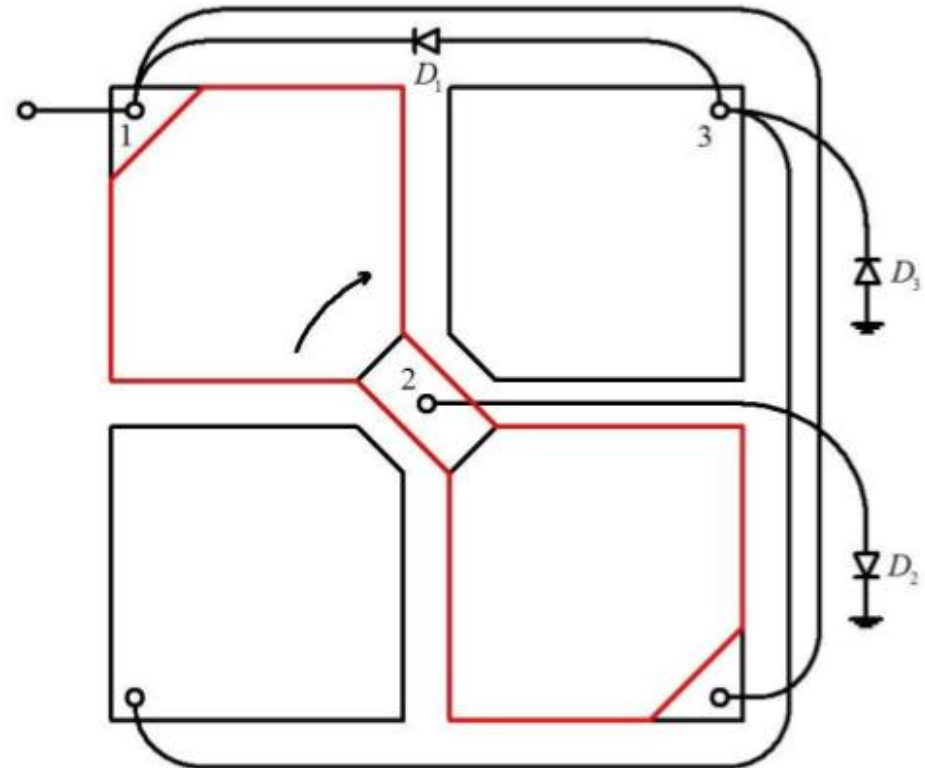


ПРИНЦИП ДІЇ

Генератор працює на принципі електростатичної індукції.

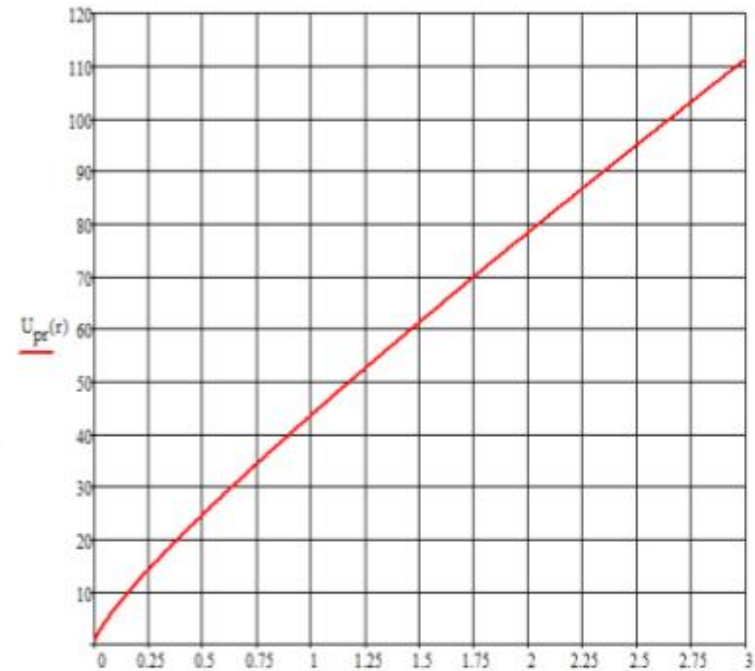
Заряджені роторні обкладки індукують заряд протилежного знаку на статорних обкладках.

Діодний міст із кіловольтових діодів дозволяє локалізувати заряд на виводах генератора, для подальшого використання.



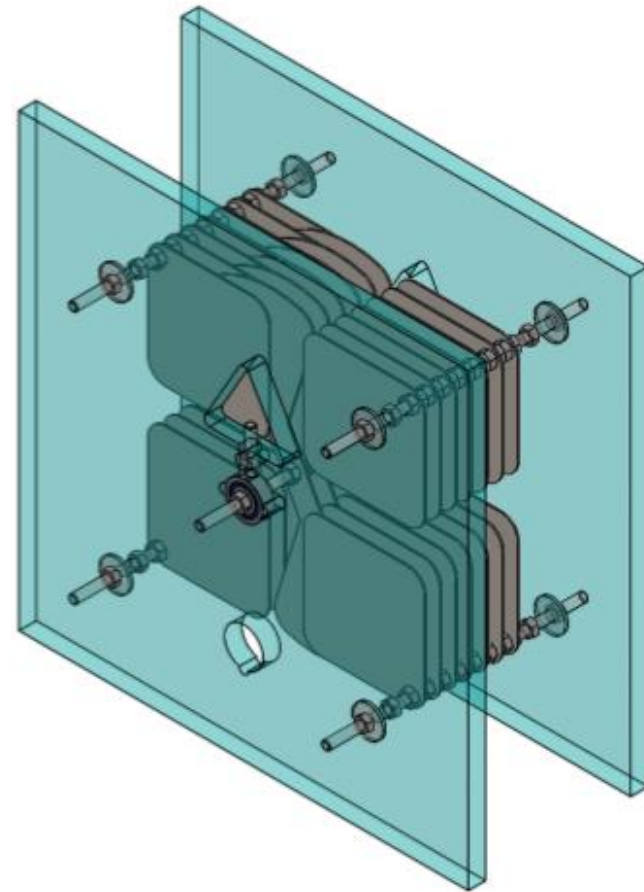
МЕТА РОБОТИ

Підвищення ефективності функціонування електромеханічного індукційного генератора високої напруги, за рахунок внесення змін у конструкцію генератора.



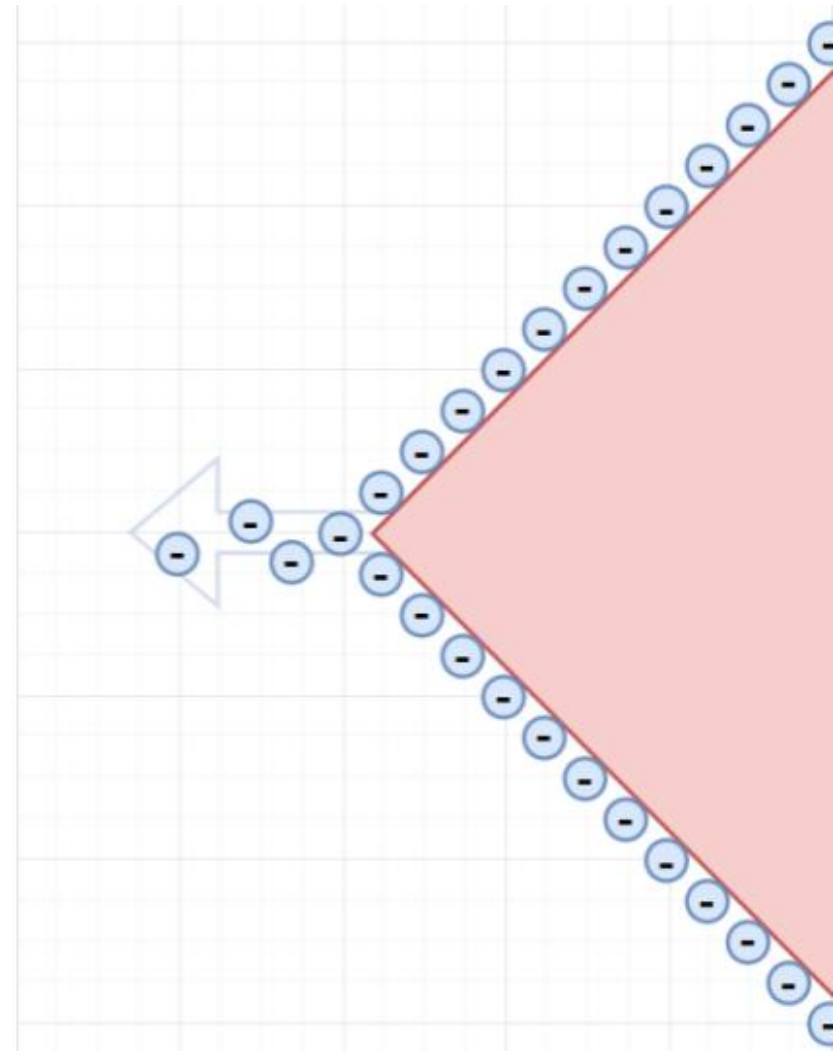
ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Електромеханічний генератор високої напруги, що працює на принципі електростатичної індукції.



ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Залежність енергії ємнісної системи генератора від геометричної форми пластин, що зумовлена процесом стікання заряду із граней та кутів обкладок.

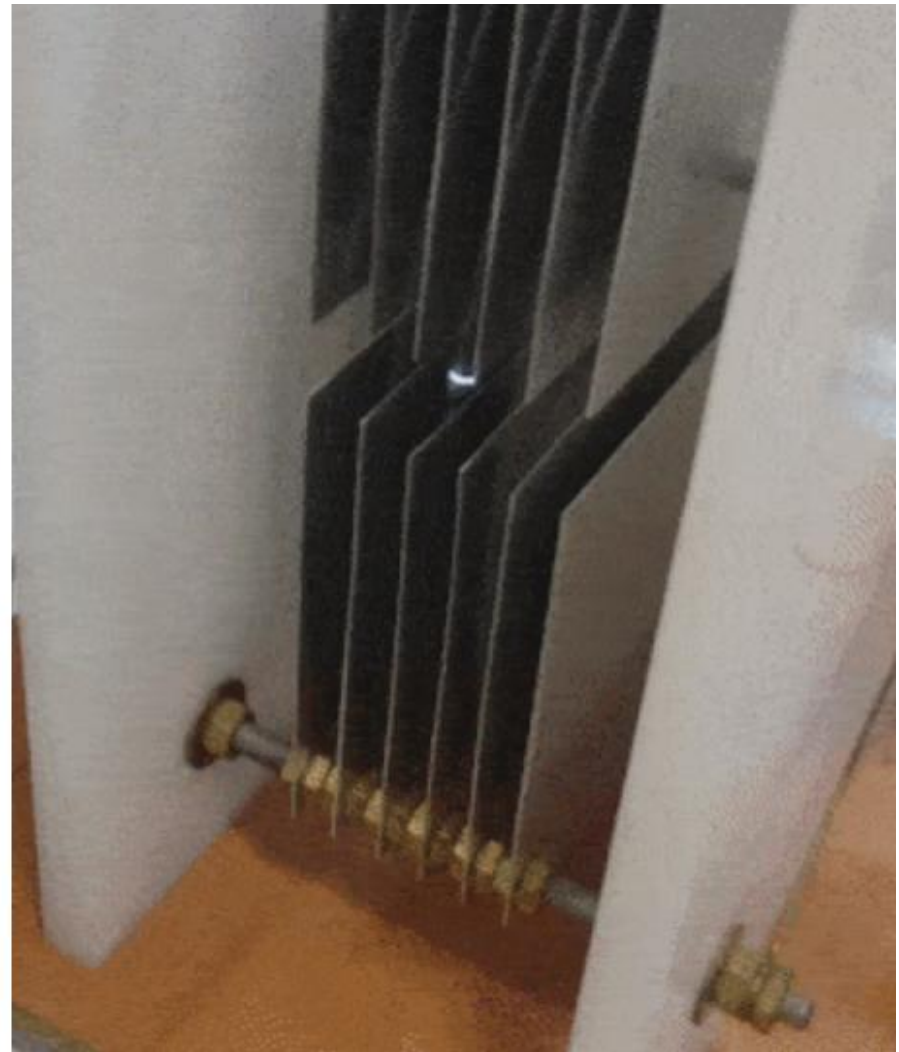


ЗАВДАННЯ

1. Аналіз проблеми
та пошук шляхів її вирішення.
2. Розрахунки
оптимальних покращень.
3. Моделювання
та перевірка результатів.

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

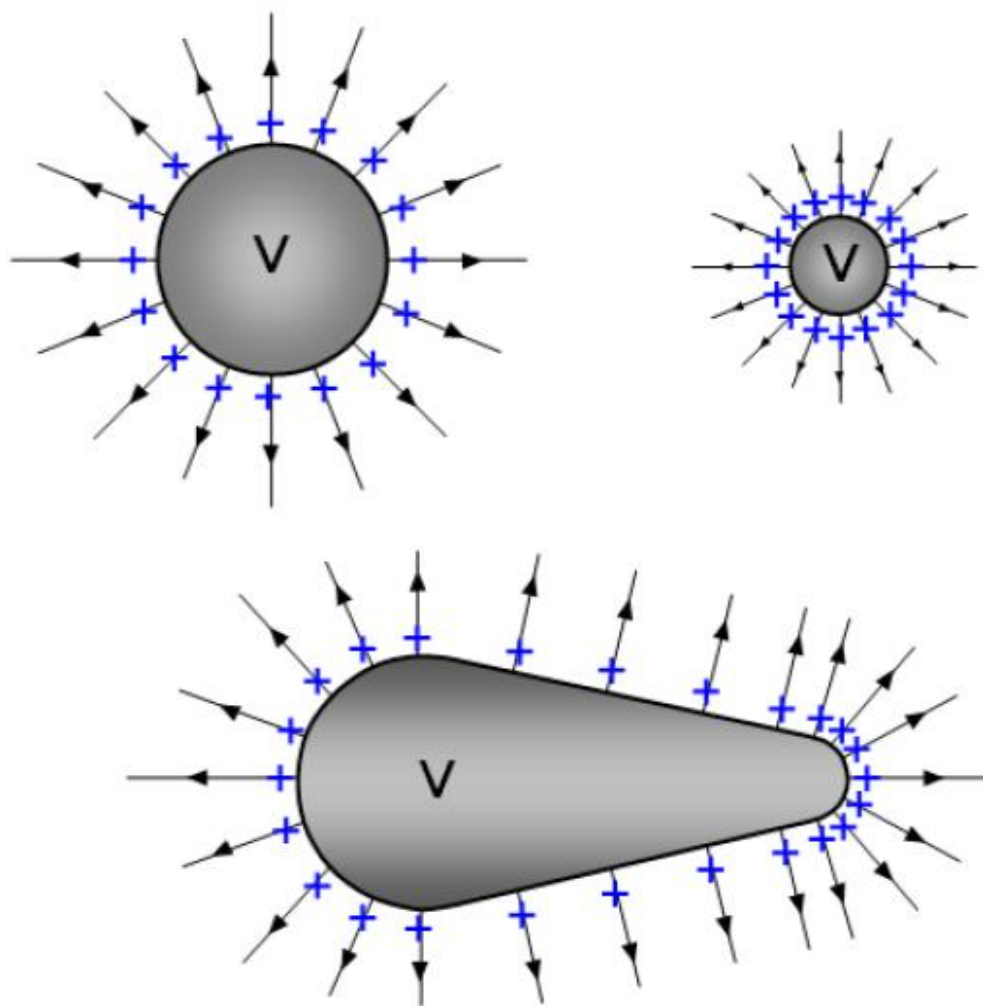
Із загострених кутів обкладок паразитно стікає заряд, викликаючи пробій повітря, що обмежує накопичення заряду.



ПРИЧИНА ПРОБЛЕМИ

Розподіл заряду по поверхні зарядженого тіла відбувається таким чином, що на загострених частинах тіла - напруженість поля максимальна.

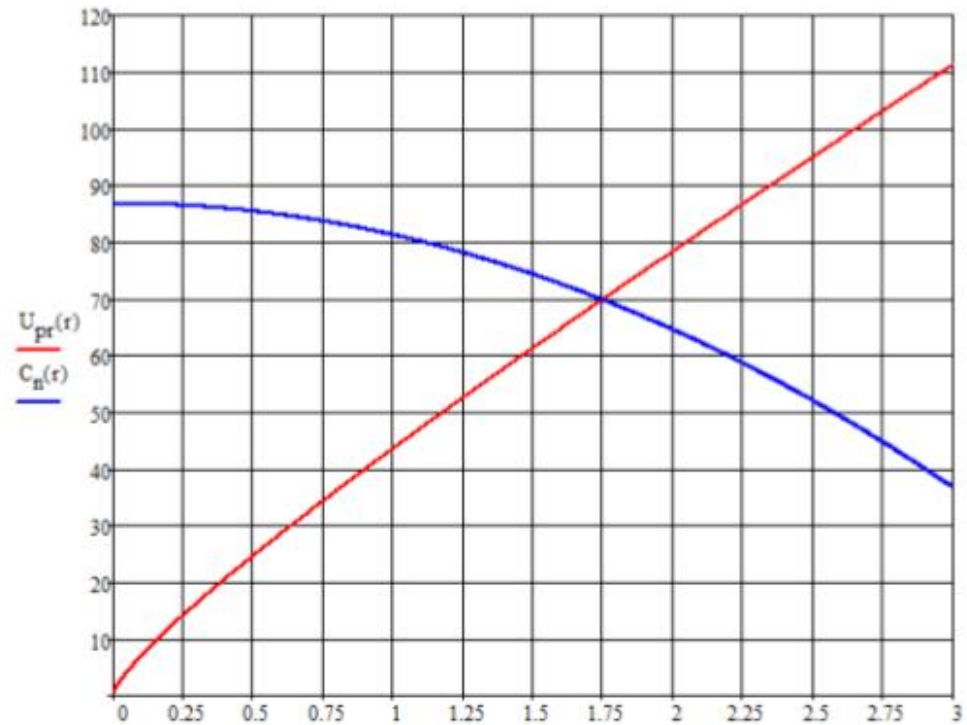
Що призводить до стікання заряду із виступів з малим радіусом кривизни.



МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Знаходження
оптимального радіусу
кривизни кутів обкладок.

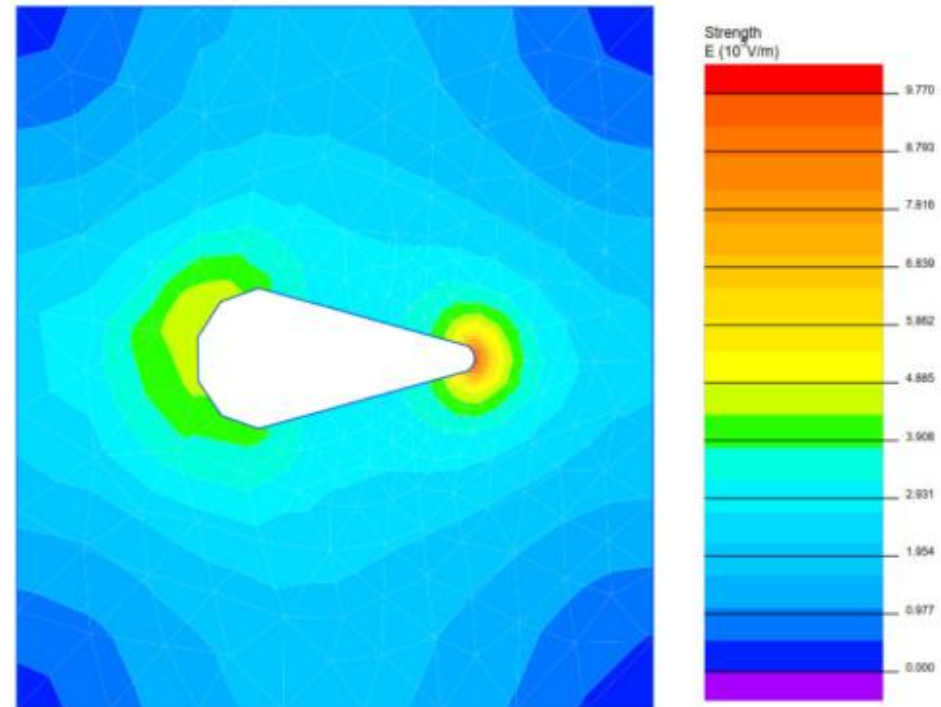
$$U_{\text{пр}} = \frac{a_0 \cdot \delta \cdot d}{k_n} \cdot \left[1 + \frac{c}{(\delta \cdot r)^{0,38}} \right] \quad C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d}$$



МОДЕЛЮВАННЯ

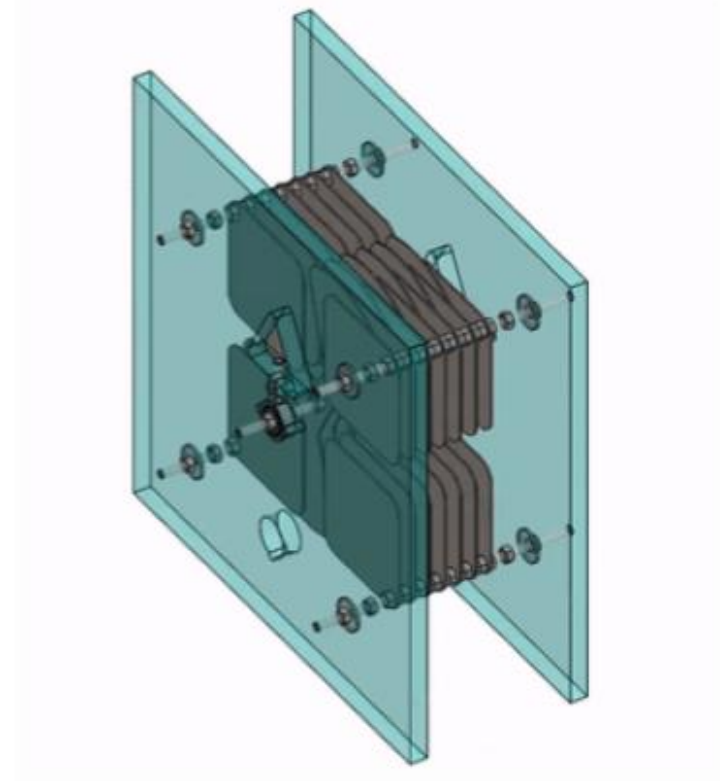
Помітно, що напруженість поля більша, біля меншого радіусу кривизни тіла.

Моделювання проведено у середовищі QuickField.



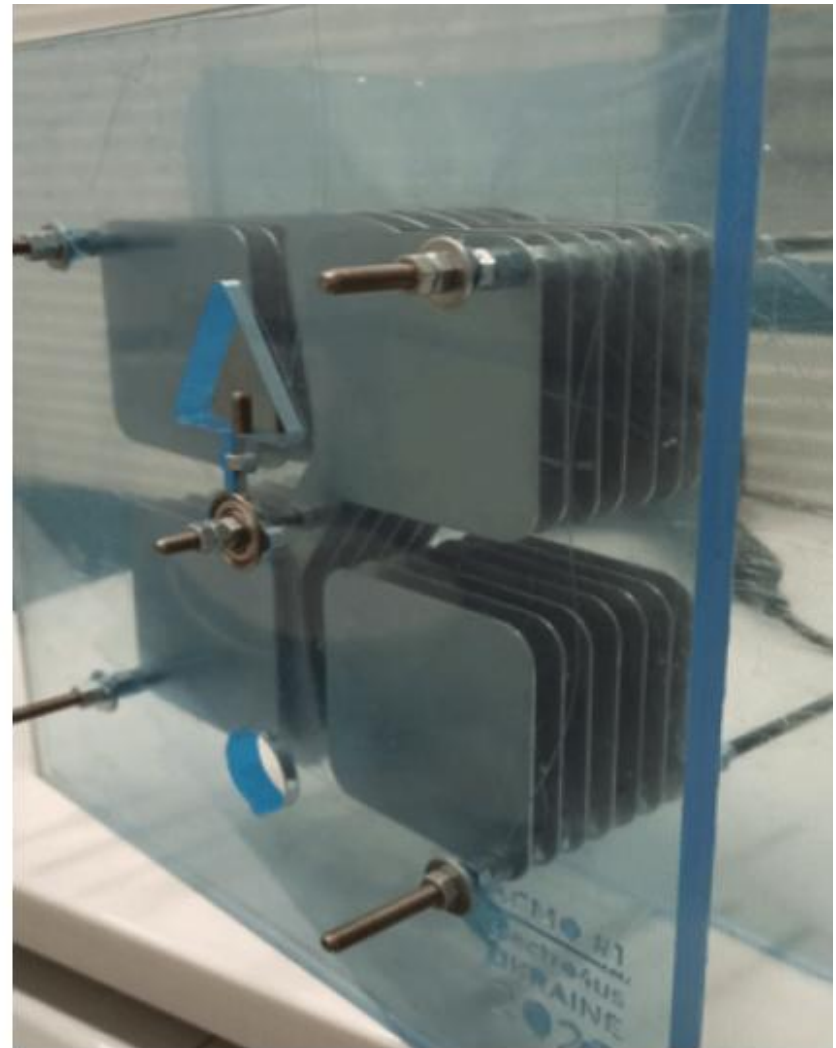
СИНТЕЗ КОНСТРУКЦІЇ

Виходячи із результатів математичних розрахунків, було змодельовано і сконструйовано фізичний екземпляр генератора, з оптимізованою ємнісною системою.



ЕКСПЕРИМЕНТ

В результаті збірки пристрою та попереднього запуску передчасний пробій повітря не зафіксовано.



НАУКОВА НОВИЗНА

Удосконалено електромеханічний індукційний генератор високої напруги, за рахунок конструктивних змін обкладок, що дозволяє накопичувати більше енергії при тих ж габаритах установки.



ЗВ'ЯЗОК МКР З НАУКОВО-ДОСЛІДНИМИ РОЗРОБКАМИ

Укладена господарчо-договірна угода з американською приватною компанією:

NOVEL SPACE CONCEPTS LLC

На виготовлення експериментального безщіткового електромеханічного ємнісного генератора високої напруги.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано та знайдено рішення проблеми втрати заряду.
2. Вирахувано оптимальні значення радіусів кривизни обкладок ємнісної системи генератора.
3. Промодельовано та перевірено теоретичні результати.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ТА АПРОБАЦІЯ

Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції ВНТУ:

conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feem/all-feem-2023/paper/view/18809



08-24.МКР.011.00.000

					08-24.МКР.011.00.000			
					Електромеханічний індукційний генератор високої напруги. Актуальність.	Літ.	Маса	Масш.
Зм	Лист	№ Докум	Підп.	Дата				
	Розробив	Лисак О. О.	<i>[Signature]</i>	21.11				
	Перевірив	Проценко Д.П.	<i>[Signature]</i>	21.11				
						Аркуш	Аркушів	
	Н.контр.	Паянок О.А.	<i>[Signature]</i>	11.12		ВНТУ, гр. ЕПА-22м		
	Реценз.	Баденко О.В.	<i>[Signature]</i>	28.11				
	Затв.	Мошноріз М.М.	<i>[Signature]</i>	28.11				

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Електромеханічний індукційний генератор високої напруги

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-22м

Науковий керівник: к.т.н., доц. Проценко Д.П.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність	98,8%
Схожість	1,2%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Паянок О.А.
(прізвище, ініціали)

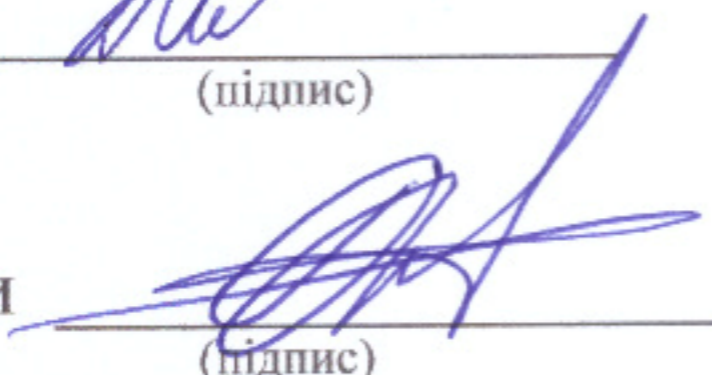
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Лисак О.О.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Проценко Д.П.
(прізвище, ініціали)