

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Мобільна система безпроводної передачі електроенергії для електромобілів

Виконав(ла): студент(ка) II курсу, групи РРМ-61  
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Гудак Ю.Ю.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Яськів В. І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Хвостівська Л. В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Дунець В. Л.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Хвостівський М. О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль 2023

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

  
(підпис)

Дунець В. Л.

(прізвище та ініціали)

« 1 » грудня 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Рівень освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

Спеціальність

172 Телекомунікація та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Ім'я

Гудаку Юрію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи

Мобільна система безпроводної передачі електроенергії для електромобілів

Виконавець роботи

Яськів Володимир Іванович

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

Виконано наказом ректора від « 01 » грудня 2023 року № 4/7-1135.

Місце подання студентом завершеної роботи

Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження: Процес дослідження передачі електроенергії  
безпроводним методом. Предмет дослідження: Безпроводний зарядний пристрій.

Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналітична частина

Оснозна частина

Експериментально-дослідна частина

Оцінка праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Представлення

Актуальність теми

Рівень і аналіз технології безпроводної передачі енергії

Принцип роботи і аналіз запропонованої технології

Технічна новизна

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С., стар. викл. каф. ОХ Клепчик В.М., стар. викл. каф. ОХ	<i>В.С. Стручок</i> 15.12.23	<i>В.М. Клепчик</i> 27.12.23

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	30.10.2023	виконано
2	Аналіз завдання	03.11.2023	виконано
3	Виконання розділу 1	08.11.2023	виконано
4	Виконання розділу 2	13.11.2023	виконано
5	Виконання розділу 3	17.11.2023	виконано
6	Виконання розділу 4	22.11.2023	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	28.12.2023	виконано
8	Оформлення графічного та презентаційного матеріалу	04.12.2023	виконано
9	Перевірка роботи на антиплагіат	13.12.2023	виконано
10	Попередній захист	14.12.2023	виконано
11	Захист	28.12.2023	

Студент

*[підпис]*  
(підпис)

Гудак Ю.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

*[підпис]*  
(підпис)

Яськів В. І.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Мобільна система безпроводної передачі електроенергії для електромобілів» // Кваліфікаційна робота // Гудак Юрій Юрійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РРм-61 // Тернопіль, 2023 // с. – 54 , рис. – 18 , табл. – 1 , додат. – 1 , бібліогр. – 43.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОМОБІЛІ, ДОРОЖНЄ ПОЛОТНО, БЕЗПРОВІДНА ПЕРЕДАЧА ЕНЕРГІЇ.

В кваліфікаційній роботі здійснено процес оцінювання передачі електроенергії безпроводним зв'язком у дорожньому полотні для живлення електромобілів. Розглянутий принцип розробки та вдосконалення даної технології різними способами реалізації.

Також було проведене наукове дослідження передачі електроенергії, і проведені розрахунків параметрів системи передачі електроенергії.

## ANNOTATION

The topic of the qualification work: "Mobile system of wireless transmission of electricity for electric vehicles" // Qualification work // Yuriy Yuriyovych Hudak // Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RRm-61 // Ternopil, 2023 // with. – 54, fig. – 18, tab. – 1, add. – 1, bibliography. - 43.

Keywords: ELECTRIC CARS, ROAD FABRIC, WIRELESS ENERGY TRANSMISSION.

In the qualification work, the process of evaluating the transmission of electric power by wireless communication in the road surface for powering electric vehicles was carried out. The principle of development and improvement of this technology in various ways of implementation is considered.

A scientific study of electricity transmission was also carried out, and calculations of the parameters of the electricity transmission system were carried out.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	11
1.1. Безпроводна передача електроенергії, і роль її у майбутньому .....	11
1.2. Розгляд і застосування технології індукційних методів живлення електромобілів .....	12
1.3. Детальний опис і розбір технології безпроводної передачі енергії.....	17
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА .....	21
2.1. Дослідження оптимального проектування та практичного застосування технології бездротового заряджання електротранспорту .....	21
2.2. Моделювання та аналіз технології бездротового електроживлення .....	23
2.3. Режимы заряджання .....	24
2.4. Методологія конструкції для системи бездротового передачі потужності .....	25
2.5. Розрахунок параметрів системи безпроводної зарядки електромобілів під час руху .....	27
2.6. Висновки до розділу 2 .....	30
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	31
3.1. Дослідження і застосування моделювання технології бездротового заряджання.....	31
3.2. Аналіз потужності системи технології бездротового заряджання .....	31
3.3. Наукове дослідження заряджання батареї технології бездротового заряджання.....	33
3.4. Аналіз схеми системи .....	37
3.5. Висновки до розділу 3 .....	39

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	40
4.1. Охорона праці	40
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях	43
4.3. Висновки до розділу 4	45
ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47
ДОДАТОК А. Копія тези	52

## ВСТУП

**Актуальність теми.** З моменту свого створення електромобілі постійно розвивались і мали хорошу перспективу на майбутнє, багато країн вже забороняють двигуни внутрішнього згорання на користь електродвигунів, тому що дані автомобілі практично не мають шкідливих викидів в атмосферу.

Шкідливі гази, прогресуюче забруднення, бездумне вирубування лісів - усе це зумовлює небезпечне потепління клімату на земній кулі. Діяльність людини вже призвела до часткового чи повного зникнення багатьох тварин і рослин. Якщо людство не присвятить більше зусиль порятунку природи, що гине, й не змінимо наші багато в чому деструктивні дії, то прийдешнім поколінням, можливо, доведеться вивчати природу лише за природничо-науковими фільмами, тому у всіх галузях почали переходити на технології для збереження екології, так і в автомобілях процвітає перехід з дизельних і бензенових автомобілях на екологічно чисті електромобілі і дана технологія безпровідної передачі електроенергії дозволяє частково або повністю відмовитись від акумуляторів, які мають суттєву проблему в їх переробці. Хоча сучасні акумулятори вже більш екологічні чисті, але це не відмінняє того факту що відбуваються викиди вуглецю в атмосферу, які впливають на глобальне потепління.

Технологія бездротового передавання енергії розвивається все швидше і швидше та широко використовується в різних сферах, таких як електромобілі, мобільні телефони, біомедичне обладнання та інше. Конкретно в процесі заряджання електротранспорту використання технології бездротового заряджання дозволяє досягти електричної та механічної ізоляції, зменшити використання кабелів та розеток, уникнути ризику контактних іскор, коротких замикань та витоку. Основною метою застосування бездротової технології заряджання у динамічному режимі електротранспорту, є значне зменшення необхідної ємності батареї та час заряджання. Таким чином, технологія бездротового заряджання електротранспорту буде важливою у майбутньому розвитку ринку електротранспорту .



**Метою роботи** є розгляд і дослідження вже існуючих систем безпроводної передачі електроенергії, і проведення науково дослідної роботи у її удосконаленні шляхом модуляції в програмі.

**Завдання дослідження:**

1. Проаналізувати існуючі технології передачі електроенергії для електромобілів.
2. Провести дослідження для поглибленого вдосконалення принципу зарядки електромобілів під час руху.
3. Розрахувати параметри системи передачі електроживлення яке буде знаходитись в дорожньому полотні.
4. Провести дослідження в спеціалізованих програмах для визначення доцільності даної технології і визначити його ККД.

**Об'єкт дослідження:** Процес дослідження передачі електроенергії безпроводним методом.

**Предмет дослідження:** Безпроводний зарядний пристрій.

**Методи дослідження.** Базуються на головних положеннях радіотехніки, використання електромагнітних полів, і використання принципу безпроводної передачі електроенергії.

**Наукова новизна.** Полягає в тому, що технологія безпроводної передачі електроенергії під час руху, це є досить нова технологія і вона ще не налічує жодних робочих доріг, окрім тестових полігонів, тобто наукова новизна полягає в удосконаленні вже існуючих систем безпроводної передачі енергії під час руху.

**Теоретичне та практичне значення здобутих результатів.** Дослідження існуючих систем безпроводної зарядки електромобілів в дорожньому полотні, і модуляція принципу роботи системи і пристрою який приймає дану електроенергію, розрахунок передачі електроенергії шляхом розв'язання певних формул.

**Публікації.**

Описані в збірнику «Інформаційні моделі, системи та технології», теза зі збірника наведений в додатку А.

**Структура роботи.** Робота складається з пояснювальної записки. Пояснювальна записка складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, та додатку. Обсяг роботи: пояснювальна записка – 56 аркушів формату А4.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

#### 1.1. Безпроводна передача електроенергії, і роль її у майбутньому

Бездротове заряджання електромобілів представляє інноваційну технологію, яка набула широкого поширення в останні роки. Вона володіє перевагами у сферах безпеки та зручності, що може істотно знизити потребу в великій ємності акумуляторів для електротранспорту, зменшити масу автомобільного кузова, знизити вартість покупки електротранспорту та розширити ринок завдяки зменшенню витрат на акумулятори, зробивши їх більш доступними. Зараз, коли уряди встановлюють строгі норми щодо обмеження викидів парникових газів, електромобілі (ЕМ) стають обов'язковим елементом для постачальників (автовиробників) та споживачів (клієнтів).

На ринку електромобілів розпочалася нова гонка: виробники шукають рішення, які б не лише екологічні, а й дозволяли автомобілям подолати дальші відстані за менший час зарядки. Це виклик, який приймають виробники акумуляторів для електромобілів та енергетичні компанії. Виробники акумуляторів розробляють елементи з більшою ємністю, тоді як енергетичні компанії розширюють мережу зарядних станцій для електромобілів. Однак для великих транспортних засобів, таких як електричні вантажівки, які потребують значної дальності подорожей, можливість заряджатися під час руху стає важливим рішенням. Саме тут надається електрифікована дорога, яка виглядає як необхідність для вантажівок з великими розмірами та потребами у великій дальності.

У сучасному світі стає очевидним, що майбутнє належить електромобілям, але перед їхнім повним впровадженням потрібно вирішити ряд проблем, таких як обмежений запас ходу, висока ціна та проблеми переробки акумуляторів після тривалого використання. Технологія бездротового заряджання, яка не вимагає великої ємності акумулятора, може стати вирішенням цих проблем.

## 1.2. Розгляд і застосування технології індукційних методів живлення електромобілів

Під час свого технічного шоу, компанія Galactic представила свій перший електромобіль із передовою системою безпроводної зарядки. Цей революційний підхід використовує бездротовий метод передачі електроенергії, роблячи процес зарядки батареї електромобіля надзвичайно швидким та легким. Інноваційна система Galactic має енергетичну місткість до 9 кВт і включає в себе унікальну платформу-приймач, потужні електронні блоки, контролери та інтерфейс для точного паркування.

Передача енергії відбувається безпроводно від зарядного пристрою, вбудованого в дорожнє покриття, до платформи-приймача, яка розташована впереду автомобіля. Оптимальний проміжок в 9 см та більше гарантує ефективну передачу енергії між "зарядною" платформою та приймачем автомобільної платформи.

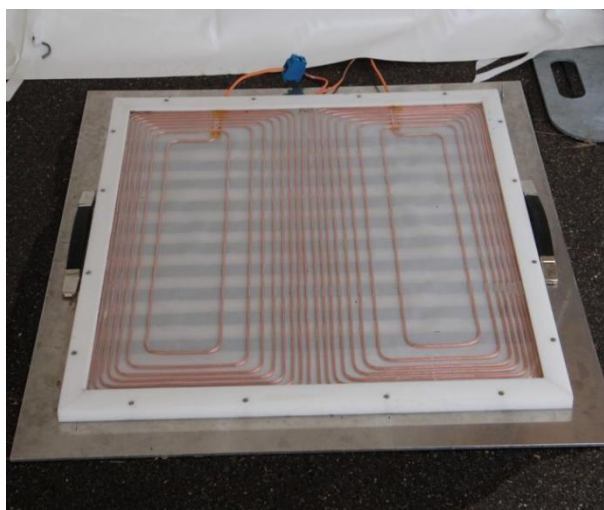


Рис. 1.1. Робоча частина індукційного зарядного пристрою електромобіля [9]

Для точного позиціонування автомобіля над індуктивною "котушкою", електромобіль використовує вбудовану мікронавігацію, яка подає інформацію про розташування зони дії індуктивної зарядки на центральний екран. При потраплянні приймача автомобіля у зону ефективної зарядки його колір

переходить із чорного на помаранчевий, і на екрані з'являється зелена позначка. Інноваційна система Galactic автоматично та повністю заряджає автомобіль, якщо той належним чином припаркований.

В перспективі можливе використання таких зарядних установок не лише у гаражах та на парковках, але й їх вбудовання безпосередньо в дорожнє покриття, наприклад, для забезпечення зарядки на перехрестях. З використанням 9-кіловатних зарядних станцій, кожна хвилина зарядки може призвести до збільшення запасу ходу на близько одного кілометра. Це означає, що заїжджаючи в супермаркет на 15 хвилин, власник автомобіля може отримати додаткові 25 кілометрів ходу. Крім того, компанія розробила спеціальну програму, яка відображає процес заряджання, і цю програму можна побачити на рисунку 1.2.

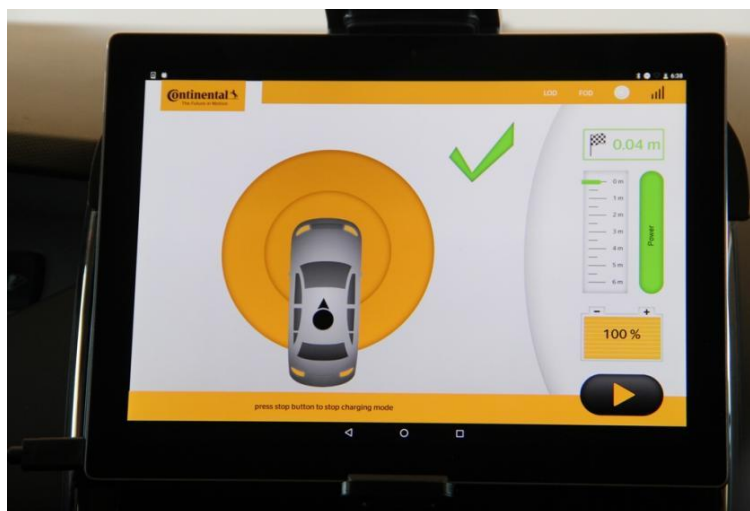


Рис. 1.2. Програма для зарядки електромобілів безпроводним зв'язком [9]

У передовому концепті використовуються бездротові блоки завдовжки близько 9 см, які вбудовані безпосередньо в поверхню дороги. Розташування цих модулів спеціально враховане для послідовного переміщення електромобіля від одного блоку до іншого: під час короткого переміщення від одного модуля до іншого автомобіль отримує частину електричного заряду для свого приводу. Ця технологія вже не є новаторською, оскільки подібні бездротові зарядні пристрої вже присутні для електромобілів і гібридів інших виробників, таких як Mercedes, BMW та інші.

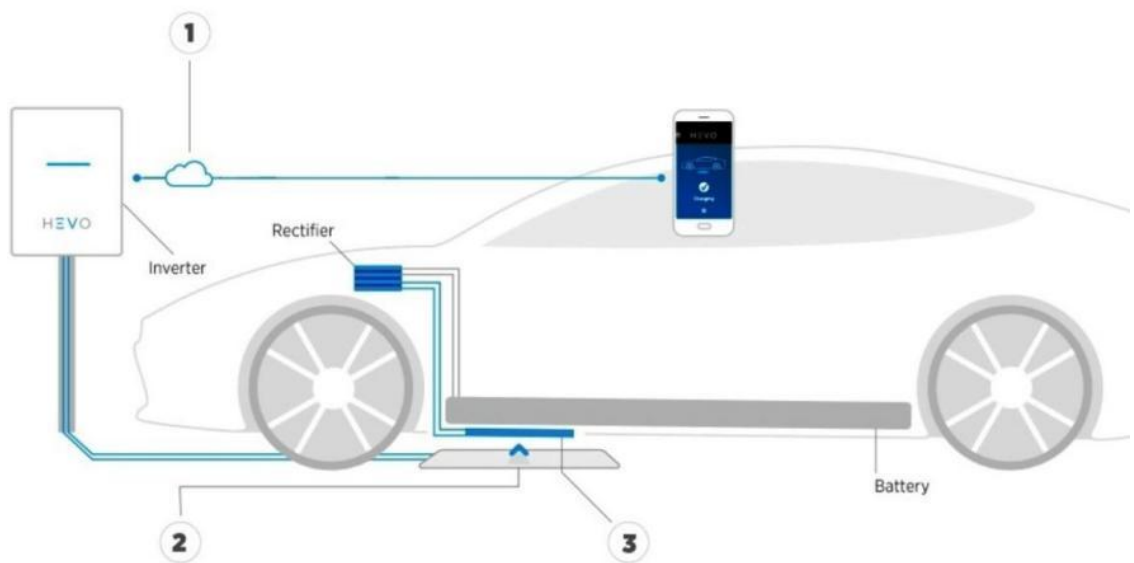


Рис. 1.3. Тестування бездротового зарядного пристрою з електромобілем BMW [9]

Системи для бездротового заряджання електромобілів працюють на основі безпроводного передавання електроенергії, подібного тому, що успішно використовується для зарядки мобільних телефонів. У цьому процесі

використовується електромагнітна індукція на поверхні передавальної системи, а приймаюча сторона перетворює її в електричний струм, який подається в акумулятор. Коефіцієнт корисної дії (ККД) таких систем залежить від частоти електромагнітного поля та точного розташування передавача та приймача. Деякі зразки вже досягають ККД у 78-89%.

Можливості передачі енергії залежать від розмірів зарядної платформи та приймаючого блоку. Індукційні зарядні пристрої варіюються в потужності від 4-4,5 кВт до 20-30 кВт, і також існують високопотужні системи для швидкої зарядки електричних автобусів з потужністю до 150 кВт.

Але, якщо заряджання відбуватиметься під час руху, це може призвести до значних переваг, таких як зменшення потужності та ваги акумулятора. Такий підхід дозволяє отримувати енергію лише за потребою, уникнувши перевезення великої кількості енергії в акумуляторі. Це може призвести до зниження ваги та вартості електромобіля, що в свою чергу збільшить його енергоефективність та дозволить подолати більші відстані.

Крім того, бездротове заряджання електромобілів під час руху полегшує процес та вирішує питання сумісності зарядних портів. Це стає важливим для торгових та бізнес-центрів, які мають намір створити універсальні зарядні місця для паркування. Навіть при наявних труднощах, таких як вартість, ці технології відкривають нові перспективи для розвитку концепції електромобілів.

Майк Вілсон, керівник відділу інженерії автодоріг у Великобританії, зауважує: "Розвиток технологій транспортних засобів набирає обертів, і ми прагнемо підтримувати впровадження автомобілів з низьким рівнем викидів на наших автомагістралях в Англії та головних дорогах." Реєстрація електромобілів вдвічі зросла за 2014 рік, і спільно з будівництвом зарядних станцій на автомагістралях це робить Великобританію лідером у впровадженні технологій зарядки електромобілів.

Розташування та встановлення пунктів зарядки для електричних транспортних засобів стає актуальним завданням через складнощі у визначенні відповідних земельних площ, особливо в густонаселених містах. Вирішенням

цього питання може стати впровадження технології бездротового заряджання, яка дозволяє підзаряджати електромобілі прямо під час руху по дорогах. Це дозволить уникнути проблем будівництва зарядних станцій та спростить пошук вільних ділянок, а також полегшить транспортні затори поблизу цих станцій. Власники транспортних засобів зможуть підзаряджати свої електромобілі під час руху, що ефективно економить важливий час, який раніше витрачався на очікування черги на станціях зарядки. Згідно з проведеними дослідженнями, до 2031 року очікується, що ринкова вартість інфраструктури для зарядки електромобілів у всьому світі складе приблизно 212 414.5 мільйонів доларів США. Щорічно ця вартість має зростати на 33.2%, що пояснюється збільшенням виробництва та продажів електричних і гібридних транспортних засобів, активною урбанізацією, підвищеною свідомістю стосовно негативного впливу вуглецевого сліду, запуском нових ініціатив та виділенням субсидій від урядів та екологічних організацій. Впровадження технологій 5G та штучного інтелекту також сприятиме розвитку ринку електромобілів.

Компанія InnovEner з Ізраїлю успішно завершила реалізацію інноваційного проекту – експериментальної дороги, яка має функцію бездротового заряджання рухомих електромобілів. Розташований на острові Орланд у Фінляндії, цей вражаючий проект є найбільшим у світі та першим, що підтримує зарядку далекомагістральних електричних фургонів та автобусів. Спеціально обладнана ділянка дороги включає в себе індукційні зарядні пристрої та входить до складу загальнодоступної мережі. Мідні котушки, розташовані під асфальтом, пов'язані з блоками управління, розташованими на узбіччях. Для використання технології бездротової зарядки, електромобілі повинні мати спеціальні приймальні пристрої, і, за словами інженерів з InnovEner, це можливо встановити навіть на транспортні засоби, що не передбачались для такого застосування. Після успішних випробувань на короткому відрізку дороги планується отримання дозволу для дослідної експлуатації всієї 1,65-кілометрової ділянки в обох напрямках, а наступним етапом буде будівництво 30-кілометрової «електричної артерії» у співпраці з Фінською агенцією транспорту (FinTra).



### 1.3. Детальний опис і розбір технології безпроводної передачі енергії

Розробка інноваційної технології відбувається у період, коли електричні транспортні засоби все більше стають неот'ємною частиною нашого повсякденного життя. На сьогодні виробники автомобілів з усього світу активно зосереджують свою увагу на створенні та вдосконаленні електромобілів. Однак, незважаючи на значний потенціал росту, притаманний електромобілям, основною перешкодою на шляху їхньої масової інтеграції залишається відсутність широко поширених станцій для зарядки.

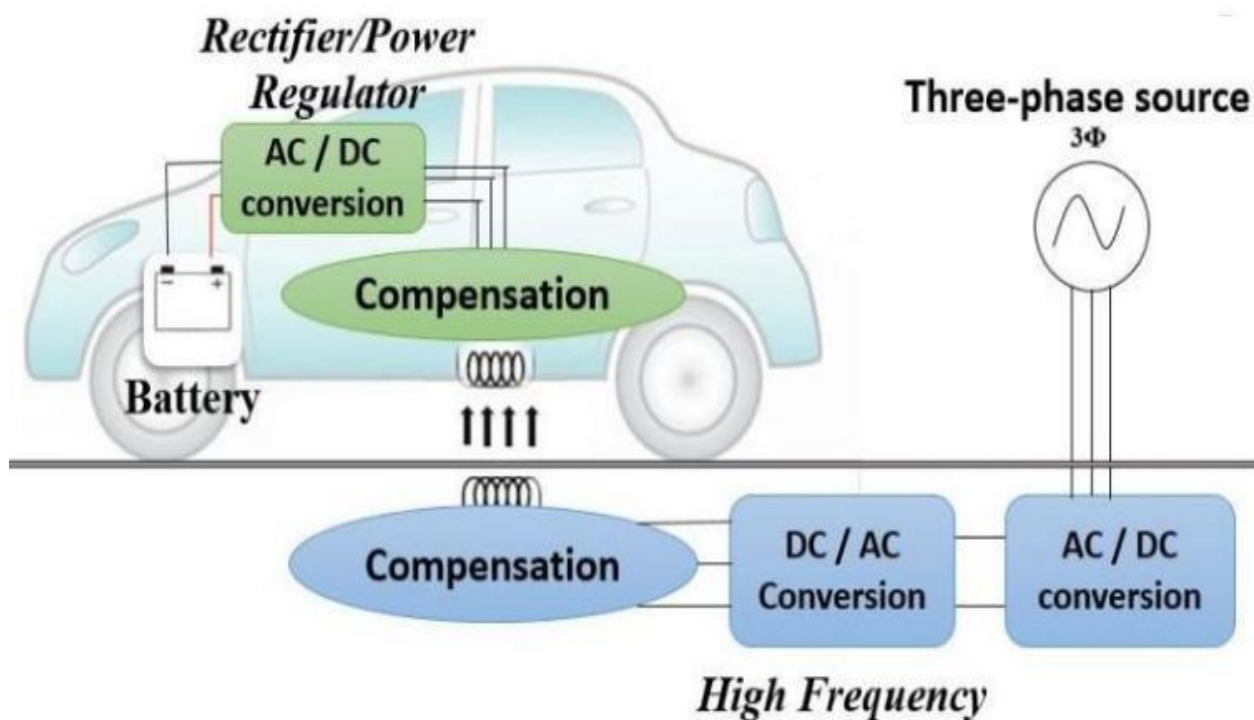


Рис. 1.4. Аналіз шляху розвитку технології бездротового заряджання для електротранспорту [6]

Технологія індуктивного заряджання вже використовується в різних системах зарядки для електротранспорту. Її концепція передбачає використання бездротового заряджання, що характеризується низькою робочою частотою, зазвичай від десятків до сотень герц, сприяючи ефективному бездротовому

передаванню кіловат-годин енергії. За цією технологією фактична потужність може досягати 95% при проведенні бездротового заряджання на короткій відстані.

Система безпроводного заряджання, головним чином, засновується на екстракції енергії з електромережі. Шляхом використання високочастотної інверсії та випрямлення-фільтрації постійної напруги змінного струму вона може породжувати високочастотний змінний струм. Цей струм подалі передається на передавальну котушку через схему підсилення потужності та схему відповідності імпедансу. При використанні однакової частоти для системи передавальної котушки та саморезонансної частоти, передавальна котушка створює велику енергію струму, збільшуючи магнітне поле.

Акумулятор може бути знову заряджений завдяки енергії, присутній в схемі випрямлення-фільтрації та приймальній котушці. Статичний метод заряджання передбачає, що електромобіль перебуває у стаціонарному положенні протягом процесу заряджання. Це впливає з потреби у точному взаємному розташуванні котушок для заряджання за допомогою електромагнітної індукції, і може виконувати заряджання лише один до одного.

Ефективність передачі енергії висока, а дальність передачі значна. Проте відхилення відстані та кута між передавальним і приймальним кінцями може знизити ефективність, і чужорідні об'єкти в області магнітного поля між котушками можуть також впливати на неї. Таким чином, технології бездротового заряджання, автоматичного позиціонування при паркуванні, виявлення чужорідних об'єктів та конструкція котушок передачі та прийому енергії - це аспекти, на які спрямовані дослідницькі інститути та підприємства.

Технологія бездротового заряджання дозволяє заряджати електромобілі в режимі реального часу під час руху по дорозі, відома як технологія динамічного бездротового заряджання. Вона базується на розвитку технології бездротового заряджання і об'єднує в собі кілька технологій, таких як сенсорне позиціонування, бездротовий зв'язок та реальний час управління. Для досягнення мобільного заряджання може бути використано електропередавальний пристрій,

розташований на нижньому рівні дороги, і приймальний пристрій, розташований на корпусі електромобіля, що дозволяє отримувати енергію без зупинки.

Проте поточна система мобільного живлення все ще стикається з проблемою нерівномірного розподілу магнітного потоку, що призводить до різної ефективності магнітного зв'язку в різних позиціях та напрямках. Таким чином, для досягнення рівномірного розподіл

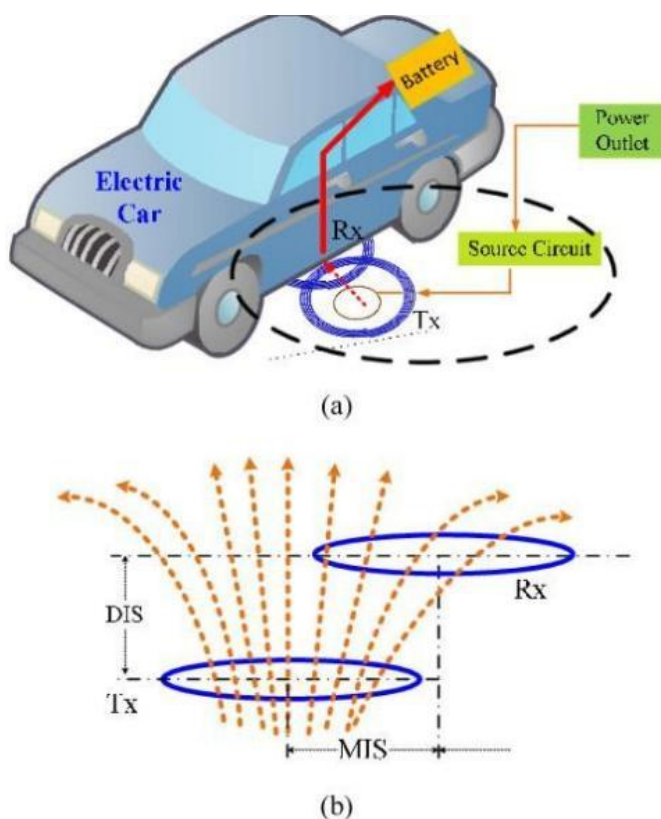


Рис. 1.6. Пристрій для позиціонування за триангуляцією [6]

#### 1.4. Висновки до розділу 1

Динамічне бездротове зарядження, яке дозволяє електромобілям отримувати енергію під час руху на дорозі, також розглядається як перспективна можливість. Однак проблеми з нерівномірним розподілом магнітного поля потребують подальших досліджень та вдосконалень.

В цілому, розвиток технології бездротового заряджання в електротранспорті може вирішити проблему відсутності широко розповсюджених зарядних інфраструктур та підвищити придатність електромобілів в майбутньому.

Технологія бездротового заряджання електротранспорту є перспективною галуззю, де застосовують індуктивний дизайн та високочастотний змінний струм для передачі енергії. Успішні випробування системи на короткому сегменті дороги підтверджують її стабільну роботу в різних умовах, включаючи вплив погодних умов.

## РОЗДІЛ 2

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

#### 2.1. Дослідження оптимального проектування та практичного застосування технології бездротового заряджання електротранспорту

Електромобільна технологія є значним кроком у розвитку бездротового заряджання та обіцяючою сферою застосування. Цей метод дозволяє враховувати задоволення користувача від процесу заряджання та мінімізує навантаження на дорожню інфраструктуру, забезпечуючи відповідність вимогам щодо вартості електропостачання та стабільності енергопостачання. У даній кваліфікаційній роботі розглядається прогрес у дослідженнях та застосуванні технології бездротового заряджання як в Україні, так і за кордоном. Подробиці класифікації технології передачі електроенергії бездротовим способом представлені, а також ретельно розглядається структура системи бездротового передавання електроенергії для електромобілів. Результати симуляції бездротового заряджання автотранспорту свідчать про те, що просування в цій галузі технології веде до подальшого розвитку електромобільного транспорту, використовуючи нові джерела енергії. У роботі аналізується розвиток технології заряджання нових енергетичних транспортних засобів за останні роки, а також висуваються напрямки для майбутнього розвитку технології заряджання електромобілів на основі нових енергетичних підходів.

На сьогоднішній день електротранспорт заряджається за допомогою кабельних з'єднань. Хоча це забезпечує дуже ефективне та безпечне підключення, для кінцевого користувача кабель є важким для перенесення, роз'єднання витягати незручно, а також може бути багато обмежень у використанні, таких як дефекти, легке забруднення, втрата чи крадіжка. У деяких випадках, наприклад, коли автомобілі чекають в аеропорту чи на станції, знову підключати кабелі - непрактичне рішення, коли автомобілі виїжджають або переїжджають з одного місця на інше. Бездротове заряджання має переваги доступності для

електротранспорту, зручності заряджання та, особливо, переваги паркування на громадських місцях. Це робить технологію бездротового заряджання хорошим рішенням.

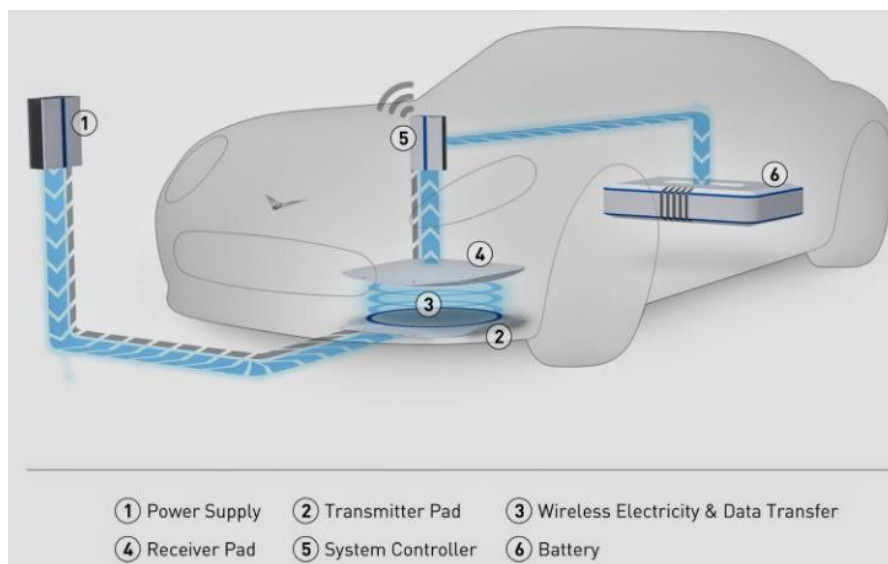


Рис. 2.1. Система бездротового заряджання для електротранспорту [6]

Після того, як електромобіль отримує електроенергію від електромережі, на передавальному боці джерела енергії можна отримати постійний струм через випрямлення і фільтрацію та виконати високочастотну інверсію через інвертор, забезпечуючи таким чином живлення батареї транспортного засобу. Для системи бездротового живлення її сутність схожа на систему вільного зв'язку трансформатора. Передача електроенергії відбувається через електромагнітну індукцію. Оскільки знижується коефіцієнт зв'язку, можливе компенсування частоти вхідної потужності передавальної сторони.

У процесі отримання електроенергії передавальний кінець зі сторони джерела енергії може працювати через електромережу, високочастотний осцилюючий струм може бути згенерований осцилятором, і в передавальній котушці утвориться не радіоактивне магнітне поле. У цьому випадку електроенергія поступово перетворюється в магнітне поле. Коли частота, властива приймаючій котушці електромобіля, вже близька до частоти отриманої електромагнітної хвилі, в усьому колі утворюється сильна осциляція, що сприяє

ефективному перетворенню електроенергії. У системі ERPT обидві котушки - і передавальна, і приймальна - мають самоосциляцію. Згідно з особливостями резонансу, система викликає резонанс на приймальному кінці від передавального кінця, так що потужність не потрібно витратити надто багато під час передачі.

## 2.2. Моделювання та аналіз технології бездротового електроживлення

Зі зростанням технології бездротового заряджання на основі магнітного резонансу вимоги до розташування в електростанціях для електромобілів почали зменшуватися. Достатньо, щоб передавальний та приймальний кінці досягли однакової резонансної частоти, і вони можуть передавати енергію та підтримувати заряджання одного-до-багатьох. Цей метод робить гнучкість бездротового заряджання електромобілів почати проявлятися, але його технічним недоліком є відносно велика втрата енергії, і чим більша потужність передачі, тим більша втрата. Тому на цьому етапі багато компаній зосереджуються на зменшенні втрат у процесі заряджання в дослідженнях щодо підвищення ефективності заряджання, а також проводяться дослідження з контролю та позиціонування заряджання. Пристрій передачі енергії отримує інструкцію щодо регулювання виходу відповідного конвертера від автомобіля, а також встановлює імпеданс відповідного конвертера відповідно до ефективності передачі енергії між передавальним блоком та блоком приймання.

Магнітна резонансна бездротова технологія привертає значну увагу на ринку зарядки електромобілів. Вона має переваги перед провідним методом заряджання, який може бути небезпечним для водіїв, особливо в умовах непогоди, таких як сніг чи дощ, що може призвести до електричних ударів. Очікується, що з часом бездротові зарядні станції стануть переважаючим способом заряджання.

Система складається з двох бездротово з'єднаних котушок, пов'язаних з основними елементами. Реактивні компоненти, додані до системи і відомі як компенсаційні мережі, можуть бути вставлені на передавальному боці та боці

прийому за різними топологіями. У такому типі системи дизайн котушки, дизайн схеми та компенсаційні мережі - основні елементи, які потрібно враховувати.

### 2.3. Режими заряджання

Заряджання може відбуватися у трьох режимах: статичному, стаціонарному або динамічному. Статичне бездротове заряджання - це надійний та зручний спосіб заряджання, який зменшує тягар на користувачів і покращує їх загальний досвід заряджання. Ця інноваційна технологія має кілька переваг перед традиційними системами заряджання ЕВ, включаючи економію місця, швидше заряджання на одиницю площі та підвищену зручність для заряджання. Крім того, статичне бездротове заряджання служить основою для включення повністю автоматизованого та безлюдного керування електромобілями.

У стаціонарному режимі система котушок сконфігурована як плита. Ця плита інтегрує елементи котушки, матеріали для направлення потоку і матеріали екранування. Зазвичай у систему включається феритовий матеріал Mn-Zn для обмеження потоку по заданому шляху, алюміній використовується для зменшення кількості витоків потоку в навколишній області.

Основним викликом у системах бездротового передачі потужності є визначення відповідної форми на основі електричних та економічних чинників. Матеріал котушки та розміри алюмінію та фериту повинні бути ретельно враховані, оскільки це вимагає складної процедури дизайну. Крім того, вибір параметрів котушки, таких як самоіндукція, кількість витків, внутрішні та зовнішні діаметри та зазор між витками, відіграє важливу роль у оптимізації зв'язку та ефективності системи.

У системі бездротової передачі потужності кожен компонент створює втрати, які можуть впливати на загальну ефективність. З них втрати від магнітного з'єднувача особливо помітні, оскільки вони становлять значну частину загальних втрат у системі. Магнітні втрати впливають на кілька факторів, включаючи тип використовуваних матеріалів, частоту використання та температуру.



Крім того, ефективність системи тісно пов'язана з коефіцієнтом зв'язку, взаємною індукцією та основними параметрами котушки. Процедура дизайну для створення оптимальної плати для передачі певної потужності залишається великим викликом для дослідників.

Ця кваліфікаційна робота має на меті представити новий підхід до конструкції, яка використовується для заряджання електромобілів. Дослідження розширюється шляхом оцінки ефективності схеми системи бездротової передачі потужності.

#### 2.4. Методологія конструкції для системи бездротової передачі потужності

Дане дослідження фокусується на статичному режимі заряджання, який зображено на рисунку 2.2. Процес заряджання в цьому режимі складається з двох частин:

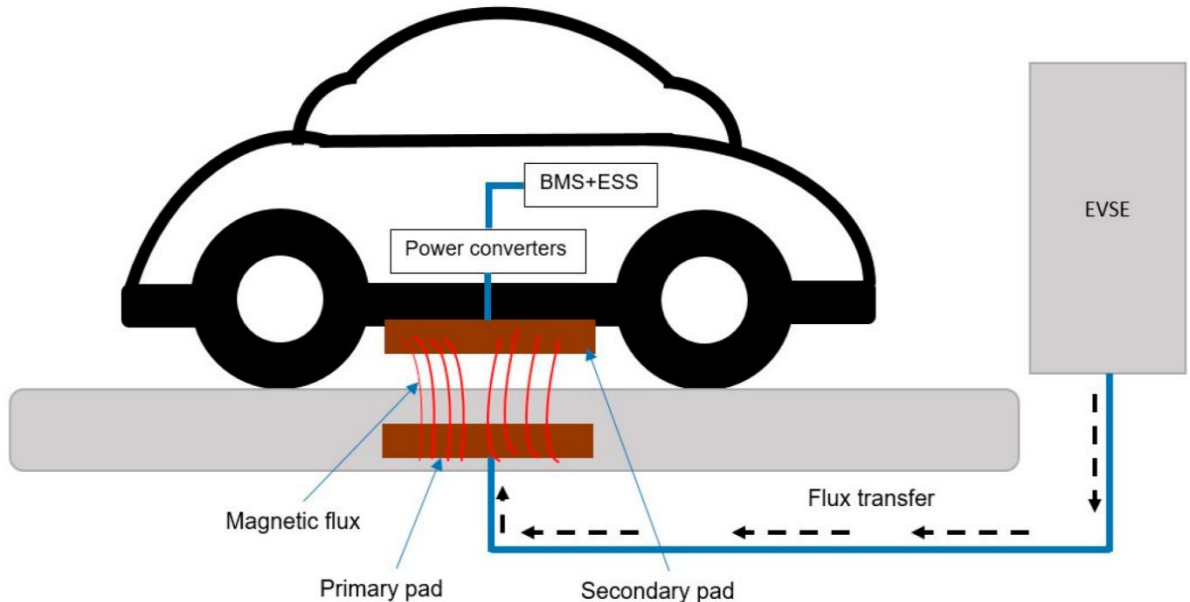


Рис. 2.2. Концепція статичного бездротового зарядного пристрою [7]

Офбордна частина розташована на землі поза транспортним засобом і розташована від Устаткування постачання електроенергії електромобіля до первинної котушки.

Інбордна частина розташована в межах транспортного засобу та простягається від приймаючої котушки до батареї транспортного засобу.

Рисунок 2.3 представляє модель зарядної ланки системи двосторонньої передачі. Двостороння система дозволяє передавати енергію в обох напрямках, що забезпечує заряд та розряд електромобіля. Ця система є оптимальним рішенням для екологічної енергії, надаючи резервну можливість для відновлюваних джерел енергії.

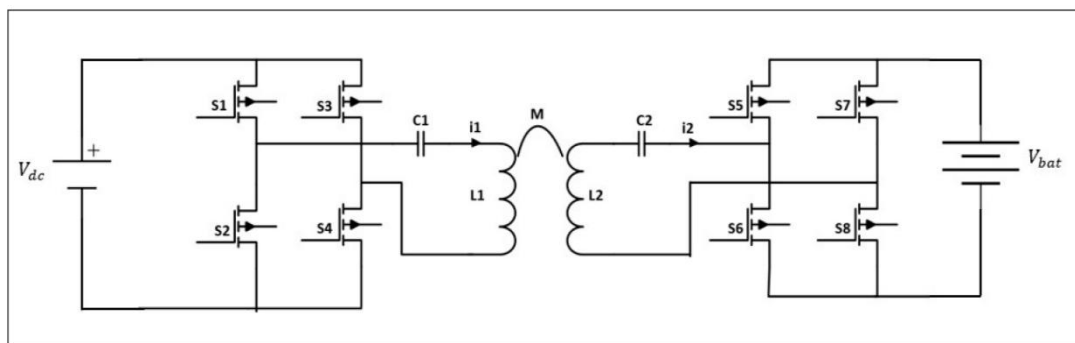


Рис. 2.3. Схема зарядної системи бездротового двостороннього системи [7]

Обрана топологія компенсації у цій схемі полягає в тому, що значення ємності можна визначити за допомогою рівнянь впливу внутрішнього опору навантаження ( $RL$ ) та взаємної індуктивності ( $M$ ).

Перший крок у процесі заряджання - це перетворення джерела змінного струму в регульований постійний струм за допомогою випрямляча з корекцією коефіцієнта потужності. Далі використовується повний містовий інвертор для перетворення постійного струму в високочастотний змінний струм, який живить як первинну котушку, так і компенсаційну мережу. Напряга, що виникає в другій частині, потім випрямляється вторинним випрямлячем, який заряджає батарею транспортного засобу.

У застосуваннях потрібні великі потужності та високі частоти перемикання. З цією метою представляє оптимальне рішення для зарядних пристроїв.

## 2.5. Розрахунок параметрів системи безпроводної зарядки електромобілів під час руху

Визначення електричних параметрів та конструкційних розмірів котушки важливо для досягнення високої ефективності передачі енергії.

Початкові параметри обрані згідно зі стандартом, який визначає частоту роботи в межах 79,00 кГц - 90 кГц з цільовою частотою 85 кГц.

Важливим є оптимізація параметрів, щоб ефективно передавати потужність 3,7 кВт на батарею транспортного засобу.

У цьому дослідженні обрано постійний зовнішній діаметр котушки, а увага зосереджена на оптимізації внутрішнього діаметру, кількості витків та секцій обмоту для досягнення оптимальної конструкції.

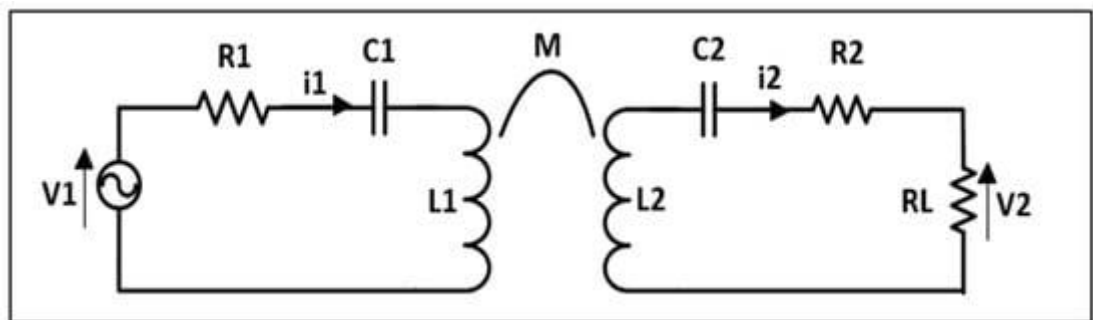


Рис. 2.4. Схема двонапрявленої бездротової системи [7]

Для мінімізації значення використовується вираз для діаметра внутрішньої окружності:

$$D_{in} = D_{out} - 2w_d N_p - w_d , \quad (2.1)$$

$$D_{in} = 480 - 2 \cdot 5 - 2 = 468 \text{ мм} ,$$

де  $w_d N_p$  - ширина кожного зазору між котушками, а  $w_d$  - товщина дроту.

Враховуючи, що секції обмотки однакові для обох сторін, площа секції  $S$  визначається як:

$$S = S_p = S_s = \frac{\pi}{4} (D_{out}^2 - D_{in}^2), \quad (2.2)$$

$$S = S_p = S_s = \frac{\pi}{4} (480^2 - 468^2) = 7316 \text{ мм}^2.$$

Загальна довжина мідного дроту  $l_{length}$  розраховується як:

$$l_{length} = \pi N(D_{in} + D_{out})/200, \quad (2.3)$$

$$l_{length} = \pi 100(468 + 480)/200 = 29,59 \text{ м}.$$

Співставимо опір котуші R:

$$R = \rho \cdot l_{length}/S_c, \quad (2.4)$$

$$R = (1,68 \cdot 10^{-8}) 29,59/7316 = 6,77 \cdot 10^{-8},$$

де  $1,68 \cdot 10^{-8}$  - опір міді.

Також важливим параметром є вертикальна відстань між котушами, яку регулює стандарт SAE J2954, і наведено нижче у формулі 2.5.

$$Z_{dist} = 120 \text{ мм}. \quad (2.5)$$

Електричні параметри та вираз для передачі потужності:

Для визначення ємностей  $C_1$  та  $C_2$  для компенсаційної топології використовується дані формули:

$$C_1 = \frac{1}{\omega^2 L_1} \quad C_2 = \frac{1}{\omega^2 L_2}, \quad (2.6)$$

$$C_1 = \frac{1}{10^{12} 0,1} = 1 \text{ мкФ} \quad C_2 = \frac{1}{10^{12} 0,2} = 0,5 \text{ мкФ},$$

де  $\omega$  - резонанс частота

Якість на приймальному боці  $Q_2$  розраховується як:

$$Q_2 = \frac{\omega_0 L_2}{R_L + R_S} \quad , \quad (2.7)$$

$$Q_2 = \frac{10^6 \cdot 0,2}{10 + 5} = 13,33 \text{ .}$$

Величина  $R_{bat}$  - еквівалентний опір навантаження батареї, формула наведена нижче:

$$R_{bat} = \frac{V_{bat}^2}{P_{bat}} \quad , \quad (2.8)$$

$$R_{bat} = \frac{12^2}{5} = 28,8 \text{ Ом .}$$

Далі можна вивести оптимальний опір для максимальної ефективності передачі.

Згідно з виразом для передачі потужності  $P_{trans}$ :

$$P_{trans} = \frac{\omega_0^2 I_1^2 M^2}{R_L} \quad , \quad (2.9)$$

$$P_{trans} = \frac{10^{12} \cdot 2^2 \cdot 0,1^2}{719} = 5,689 \cdot 10^7 \quad ,$$

де  $M$  - взаємна індукція, а  $I$  - струм на передавальному боці

Дані розрахунки визначають оптимальні параметри для забезпечення ефективної передачі енергії в системі бездротової зарядки електромобілів.

Враховуючи данні формули і параметри які ми розраховували ми берем такі данні:

Число витків = 19. Взаємна індуктивність = 74,8 мкГн. Розміри феритових стрижнів = 230 (мм) × 30 (мм) × 20 (мм). Розміри алюмінієвої пластини = 600 (мм) × 600 (мм) × 1 (мм).

## 2.6. Висновки до розділу 2

В контексті інформації про заряджання електромобілів можна виділити три режими: статичний, стаціонарний і динамічний. Статичне бездротове заряджання вирізняється своєю надійністю та зручністю, що поліпшує загальний досвід користувачів. Цей метод також забезпечує економію місця, швидше заряджання та зручність для користувачів електромобілів.

У стаціонарному режимі система котушок сконфігурована як плита, використовуючи різні матеріали для обмеження потоку та зменшення витоків потоку в навколишній області. Однак важливим викликом є визначення оптимальної форми компонентів системи, таких як матеріал котушки та розміри алюмінію та фериту.

У бездротовій передачі потужності важливо враховувати різні види втрат, такі як втрати від магнітного з'єднувача, які можуть значно впливати на загальну ефективність. Крім того, ефективність системи тісно пов'язана з коефіцієнтом зв'язку, взаємною індукцією та параметрами котушки.

Кваліфікаційна робота має на меті впровадження нового підходу до конструкції для заряджання електромобілів, розглядаючи ефективність схеми системи бездротового передачі потужності. Підходить важливість визначення оптимальної плати для передачі певної потужності та виклики, пов'язані з конструкцією системи.

Отже, цільова спрямованість на статичний режим заряджання, який використовує стаціонарні плати та матеріали для оптимізації процесу, є ключовим елементом дослідження з метою покращення технології бездротового заряджання для електромобілів.

## РОЗДІЛ 3

### НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Дослідження і застосування моделювання технології бездротового заряджання.

Наразі існує багато досліджень з технології бездротового заряджання електромобілів, головним чином в двох аспектах: управління потужністю заряджання та дослідження топології компенсації ланцюга. Для усунення вищих гармонік та зменшення втрат інвертора, особливо в умовах великої потужності, необхідно досягти операції з нульовою напругою протягом всього процесу заряджання. Для покращення продуктивності систем бездротового передавання енергії також пропонуються деякі топології вищого порядку компенсації.

Шляхом додавання резонансних ланцюгів чи додаткових резонансних конденсаторів розглядається стратегія контролю для стримування перевищення струму під час періоду запуску заряджання шляхом пошуку оптимального діапазону робочої частоти як оцінкового діапазону робочої частоти, почати заряджання при вищій початковій частоті для досягнення запуску малого струму під час процесу запуску для стримування перевищення струму, а потім використовувати інкрементальний регулятор для управління частотою для досягнення операції інвертора та, нарешті, досягнення стабільного заряджання акумуляторного блока при напрузі, необхідній для постійного струму та напруги заряджання.

3.2. Аналіз потужності системи технології бездротового заряджання

У цьому дослідженні буде проаналізовано два основні показники продуктивності системи передачі бездротової потужності: ефективність передачі та вихідна потужність. Ці два показники продуктивності також є найбільш поширеними показниками оцінки якості систем бездротового заряджання

електромобілів. Вибір параметрів конструкції вплине на показники продуктивності системи. Максимальна потужність передачі вказує на максимальну вихідну потужність, яку можна отримати за допомогою передачі та перетворення електричної енергії, отриманої від електромережі, і максимальна ефективність передачі вказує на найвищу ефективність електричної енергії системи, переданої від електромережі до виходу. Як максимальна потужність передачі, так і максимальна ефективність передачі можуть служити цілями конструкції системи, і часто вибираються різні варіанти в різних сценаріях.

Якщо ефективність передачі вибирається як основна ціль оптимізації, можна використовувати інші техніки, такі як адаптивна імпедансна адаптація, для покращення потужності передачі. Таким чином, рекомендується акцентувати увагу на покращенні ефективності на етапі початкового проектування. Досягнення максимальної ефективності передачі залежить від добротності резонатора та коефіцієнта зв'язку між котушками магнітного зв'язку. Для досягнення прийнятної ефективності на великих відносних відстанях потрібна котушка резонатора з високою добротністю. Тому робоча частота повинна бути достатньо високою, а обмеження змінної напруги резонатора повинно бути низьким. Однак вища робоча частота призведе до ускладнення електронних схем живлення, і максимальну ефективність передачі можна виразити наступною формулою розрахунку.

Якщо вихідна потужність, передана навантаженню, вибирається як основна ціль оптимізації, це обмежить максимальний рівень ефективності передачі, який може бути досягнутий, що не є бажаним для продуктів бездротового заряджання електромобілів. Передана потужність може визначити рейтинг та, отже, рейтинги компонентів, особливо конденсаторів у серії та перемикачів блоків живлення. Вхідний імпеданс котушки змінюється з коефіцієнтом зв'язку та робочою частотою. Це відбувається, коли вхідний імпеданс системи котушки відповідає імпедансу джерела. При роботі на саморезонансній частоті максимальний перенос потужності відбувається при певному значенні коефіцієнта зв'язку, яке називається критичною точкою зв'язку, рівним критичному значенню зв'язку при певній відстані.



### 3.3. Наукове дослідження заряджання батареї технології бездротового заряджання

З метою запобігання перезаряджання або перерозряджання батареї та подовження терміну служби батареї застосовується три етапний метод заряджання. Струм заряджання батареї становить 22,5 А, а напруга - 90 В.

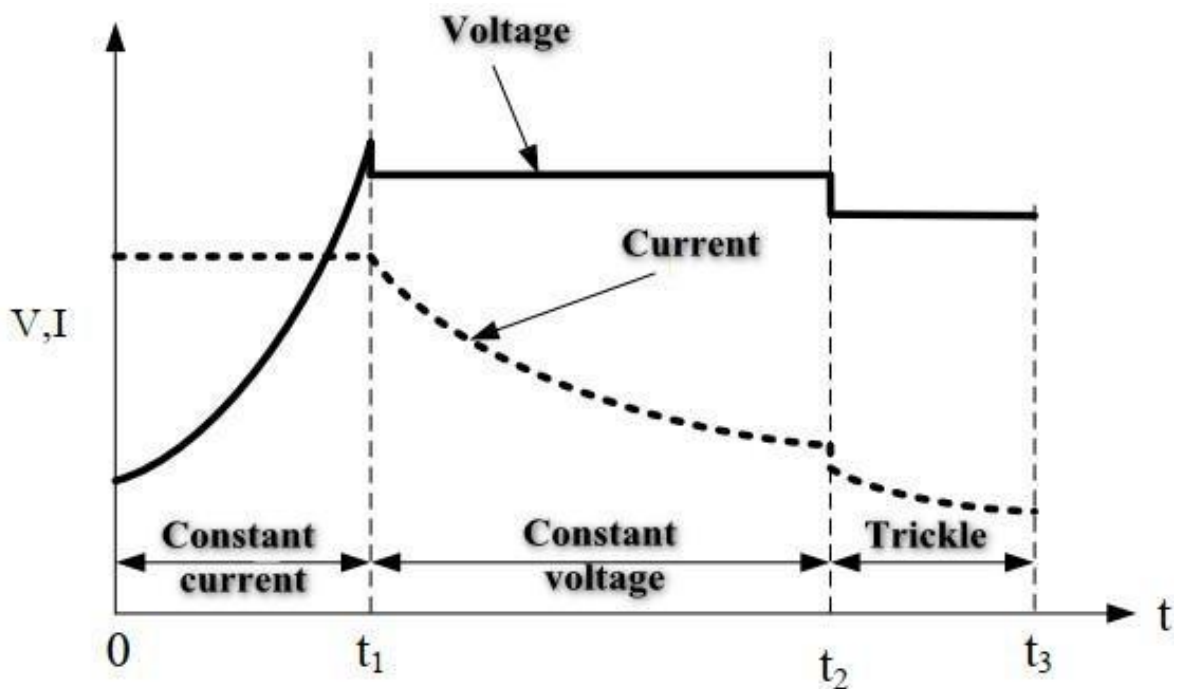


Рис. 3.1. Аналіз даних заряджання батареї технології бездротового заряджання [6]

1 Етап сталого струму 0-t<sub>1</sub>: Зарядний струм батареї підтримується на рівні 22,5А, напруга поступово зростає від 82,5В до 90В, а еквівалентний опір батареї змінюється від 3,67 Ом до 4 Ом.

2 Етап сталої напруги t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub>: Зарядження батареї підтримується на рівні 90В, електричний струм поступово зменшується від 22,5А до 6А, а еквівалентний опір батареї змінюється від 4 Ом до 15 Ом.

3 Етап краплинного заряджання t<sub>2</sub>-t<sub>3</sub>: Коли струм впаде з етапу сталої напруги до 6А, зарядний стан переходить в етап краплинного заряджання. У цей

час напруга зарядження падає до 85В, зарядний струм падає від 5,67А до 3А, а зарядження завершується. Зміна еквівалентного опору становить 15Ом -28 Ом.

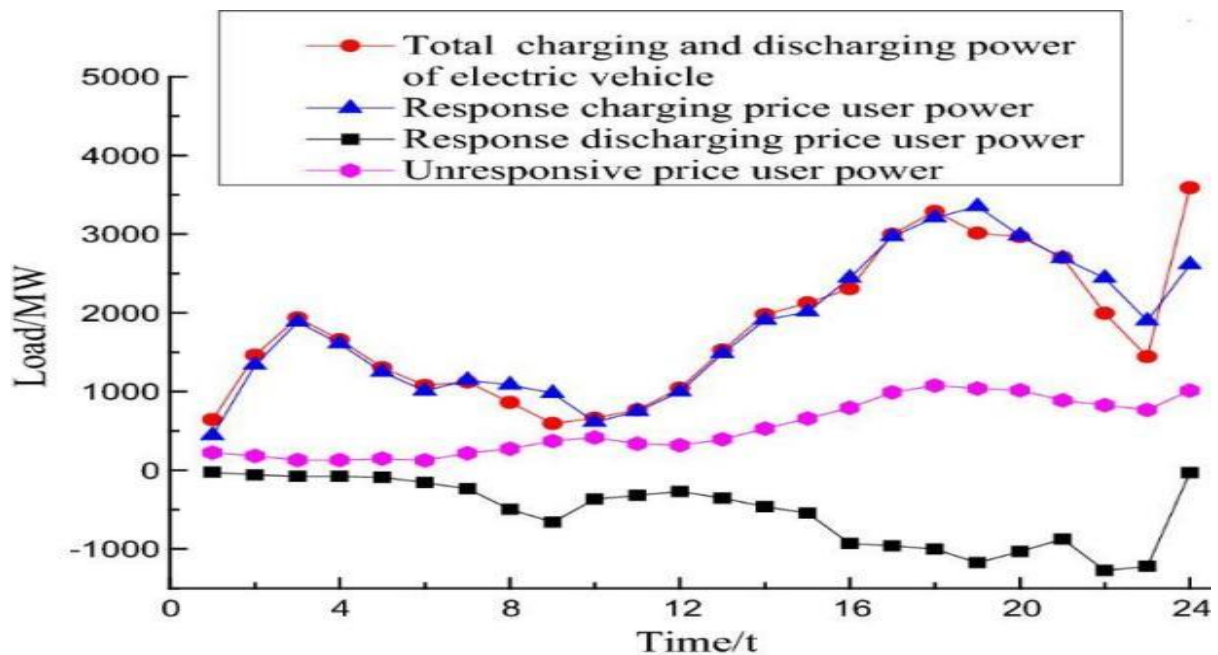


Рис. 3.2. Аналіз часу зарядження батареї технології бездротового зарядження [6]

Через аналіз у цьому дослідженні для того, щоб система працювала добре, вона повинна бути в стані. Необхідно зберігати фазовий кут системи більше нуля. Вимоги до потужності системи бездротового зарядження електромобіля, вивчені у цій статті, є відносно великими. Розглядаючи загальні втрати системи та мінімальний фазовий кут, у аналізі вибрано значення фазового кута  $20^\circ$ , щоб забезпечити безпечну та стабільну роботу системи. Робоча частота системи зростає зі збільшенням саморезонансної частоти  $f_1$ . Коли  $RL=3,6 \text{ Ом}$  і  $f_1=0,88 f_0$ , мінімальна робоча частота, необхідна для підтримки цільового фазового кута, становить 85 кГц. Коли  $RL=3,6 \text{ Ом}$  і  $f_1=1,08 f_0$ , максимальна робоча частота становить 90 кГц. Таким чином, можна розглянути встановлення рейтингового діапазону робочої частоти системи бездротового зарядження електромобіля від 75 кГц до 90 кГц. Для досягнення контролю старту з малим струмом початкова робоча частота системи повинна бути встановлена на рівні 90 кГц.

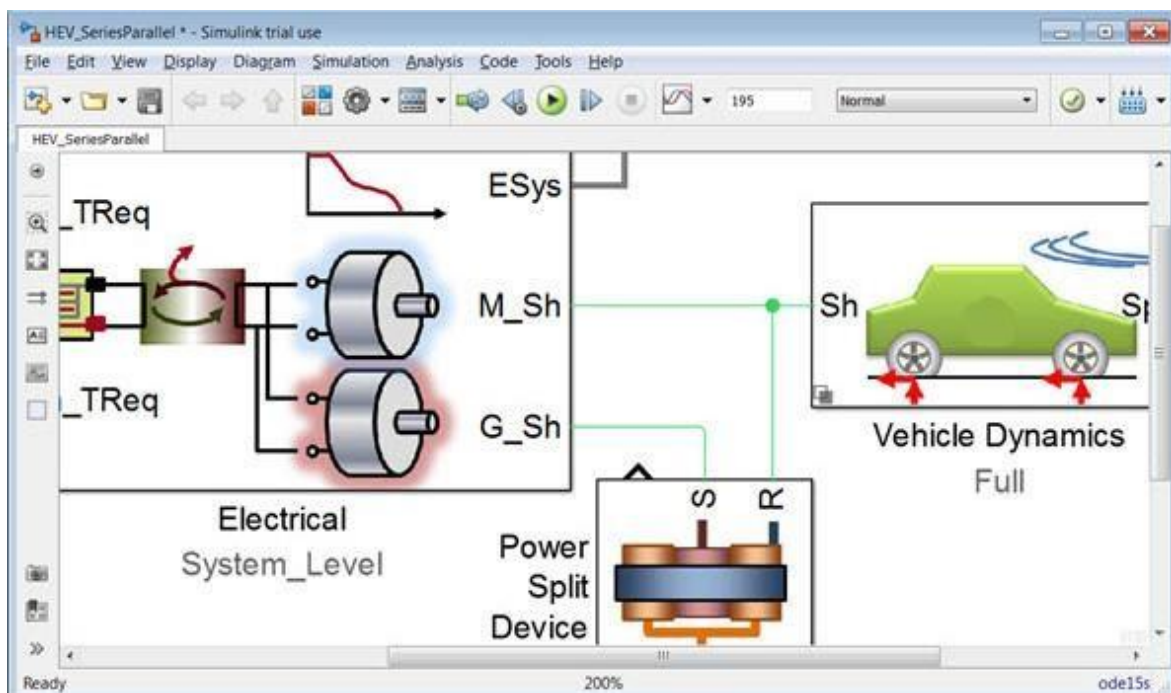


Рис. 3.3. Необхідний діапазон робочих частот для різних еквівалентних опорів [6]

Якщо почати з частоти вище 83 кГц, струм запуску системи підходить до нуля. У цей момент фазовий кут не може бути виявлений, що призводить до того, що система виходить з ладу і не може працювати нормально. Розглядаючи екстремальні умови, такі як коли положення паркування повністю відхиляється, що еквівалентно зникненню приймального кінця, розпочинайте зарядження системи на запропонованій початковій частоті. Струм в момент запуску не буде занадто великим, але струм буде повільно збільшуватися під час регулювання фазового кута до виникнення перенапруження, тому встановіть захист від перенапруження, щоб забезпечити достатній час передзахисту для можливих ситуацій перенапруження під час процесу налаштування після запуску системи з малим струмом.

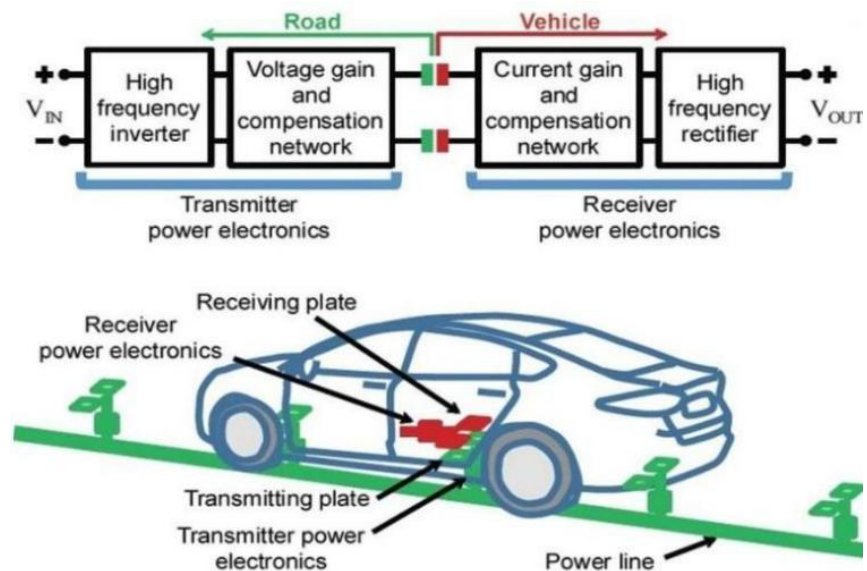


Рис. 3.4. Аналіз програмного моделювання заряджання батареї для технології бездротового заряджання [6]

Для заряджання батареї, яке є процесом управління з повільно змінним струмом і напругою, швидкість управління не є дуже високою. Водночас, враховуючи тривалий час бездротового заряджання електромобілів, час налаштування під час початкової фази порівняно невеликий. Вплив на це, але управління в початковій фазі може ефективно стримувати перевищення, запобігати проблемам перенапруження і відігравати важливу роль у захисті системи. З урахуванням того, що затримка управління важко уникнута, з цієї причини період управління встановлено на рівні 50 мс.

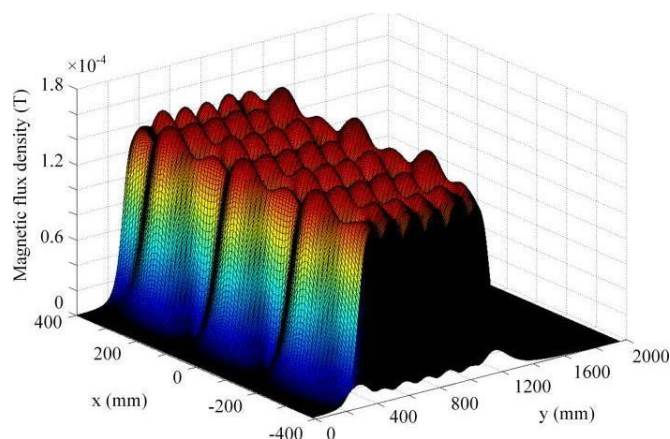


Рис. 3.5. Зображення аналізу програмного моделювання MATLAB заряджання батареї технології бездротового заряджання [7]

Враховуючи певний запас, обмежений діапазон налаштування для обмеження частоти одночасно встановлено від 75 кГц до 90 кГц. Шляхом створення MATLAB Simulink-моделі системи проведено симуляцію контролера початкової фази заряджання (початкова частота встановлена на рівні 85 кГц, а початкова напруга - 50 В). Ефект контролера в умовах задоволення невеликої величини перевищення та певної швидкості управління у фазі старту встановлено за допомогою коефіцієнтів пропорційності, інтегралу та диференціації контролера, що дорівнюють  $k_p=0,75$ ,  $k_i=0,25$ ,  $k_d=0,01$ , та інкрементальний метод контролера виведено за допомогою встановлення математичної моделі.

### 3.4. Аналіз схеми системи

У цьому пункті проводиться аналіз схеми для однонапрявленої системи. Модель схеми спрощена, а основний розділ схеми забезпечується альтернативним джерелом напруги. Крім того, для перетворення високочастотної напруги в постійну напругу, необхідну для зарядки батареї, використовується діодний мостовий випрямляч разом із конденсаторним фільтром.

Для зменшення індуктивності розсіювання та покращення зв'язку між котушками, конденсатори для компенсації додаються з обох сторін послідовно з індуктивностями.

Моделювання та аналіз схеми виконуються в середовищі Ansys Simplorer. Конструкція схеми на частоті 85 кГц отримано за допомогою рішення для електрострумів скидання.

Електрична схема симульованої системи, створена з використанням Ansys Simplorer, показана на Рис. 3.6. Модель передбачає синусоїдальний джерело як джерело вхідної напруги.

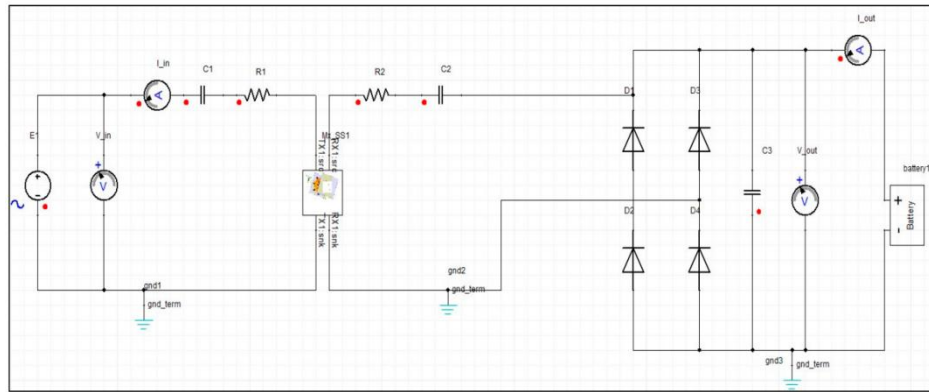


Рис. 3.6. Електрична схема системи з однією напрямленістю за допомогою Ansys Simplorer [7]

Значення ємності та опору, використані в схемі, визначаються за допомогою рівнянь. Крім того, номінальна напруга батарейного відсіку становить приблизно 48 В.

Після визначення параметрів системи використовується ANSYS Maxwell для моделювання системи з використанням розрахованих параметрів. Створена електрична схема, яка виконана в ANSYS Simplorer.

Ефективність системи визначає відношення отриманої потужності до переданої потужності при заданій частоті, і вона залежить від кількох факторів, таких як коефіцієнт зв'язку, зміни в навантаженні та основні параметри котушки.

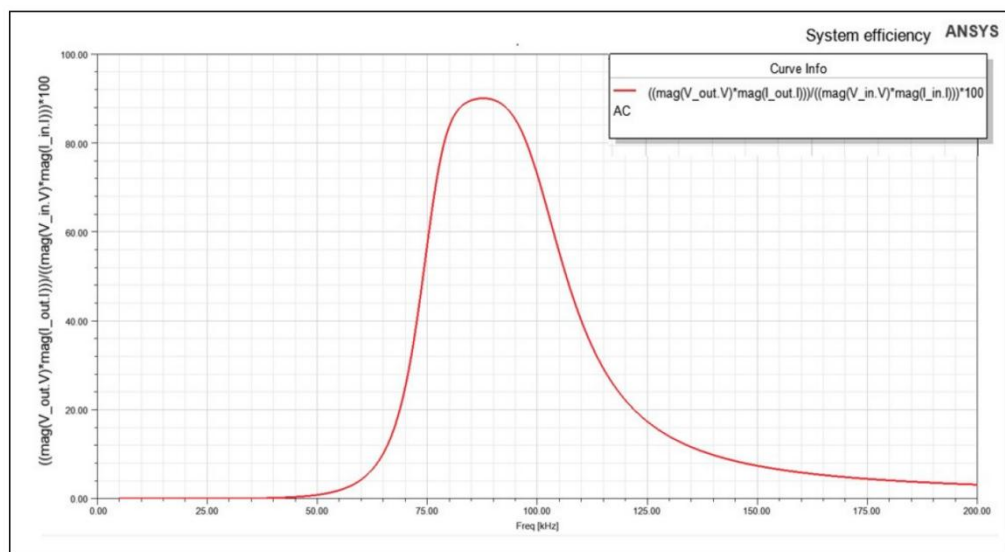


Рис. 3.7. Ефективність системи відносно частоти [7]

Симуляції охоплюють діапазон частот від 5 кГц до 200 кГц. Результати показують, що визначені розміри дозволяють системі досягти високої ефективності до 90,02% і імено на частоті 85 кГц. Ці результати відповідають аналізу, і очікуванню від даного дослідження. Очікується, що запропонований підхід спростить процес розробки зарядних площадок для використання в бездротових зарядних пристроях з різними рівнями потужності.

### 3.5. Висновки до розділу 3

У роботі проведено детальний аналіз системи бездротового заряджання для електромобілів, зосереджуючись на статичному режимі заряджання. Виявлено, що частота вище 83 кГц може призвести до втрат системи, оскільки струм запуску підходить до нуля, і фазовий кут не може бути виявлений. Запропоновано використовувати початкову частоту для екстремальних умов, але встановити захист від перенапруження для ефективного управління струмом та фазовим кутом.

Моделювання заряджання батареї показало, що управління змінним струмом і напругою визначається повільним процесом, і час налаштування у початковій фазі є невеликим. Контролер з коефіцієнтами пропорційності, інтегралу та диференціації ефективно стримує перевищення та грає ключову роль у захисті системи.

Досліджено електричну схему системи в середовищі Ansys Simplorer, а аналіз ефективності системи відносно частоти виявив оптимальну частоту на рівні 85 кГц з ефективністю до 90,02%. Результати симуляцій підтверджують доцільність запропонованого підходу для розробки зарядних площадок для електромобілів, що може спростити їхню реалізацію з різними рівнями потужності.

## РОЗДІЛ 4

## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

## 4.1. Охорона праці

Під час роботи з радіотехнічними системами враховано всі небезпечні фактори ризику (перевищений рівень шуму та вібрацій, електротравматизм, негативний вплив освітлення та інші), які би негативно впливали на рівень безпеки обслуговуючого персоналу в процесі експлуатації системи.

Оскільки система, живиться безпосередньо від електромережі, тому необхідно максимізувати рівень електробезпеки обслуговуючого персоналу шляхом адекватного дотримання правил роботи з електроприладами, зокрема системою. «Захисне заземлення. Занулення».

Із врахуванням вище сформульованого припущення, встановлена необхідність розроблення рекомендації по питанням охорони праці при роботі з радіотехнічною системою шляхом аналізу негативного впливу електричного струму на обслуговуючий персонал при роботі із системою, способів нормування та захисту від його дії.

Внаслідок дії електричного струму на організм обслуговуючого персоналу під час експлуатації блоку може виникнути загальна (електричний удар) або місцева електротравма (опіки, електричні знаки, електрометалізація шкіри, механічні пошкодження). Розрізняють три ступені впливу струму при проходженні через організм людини (змінний струм):

- відчутний струм – початок болісних відчуттів (до 0-1,5 мА);
- невідпускний струм – судоми і біль, важке дихання (10-15 мА);
- фібриляційний струм – фібриляція серця при тривалості діє струму 2-3с, параліч дихання (90-100 мА).

На рисунку 4.1 зображено основні фактори, які впливають на організм людини при ураженні електричним струмом.



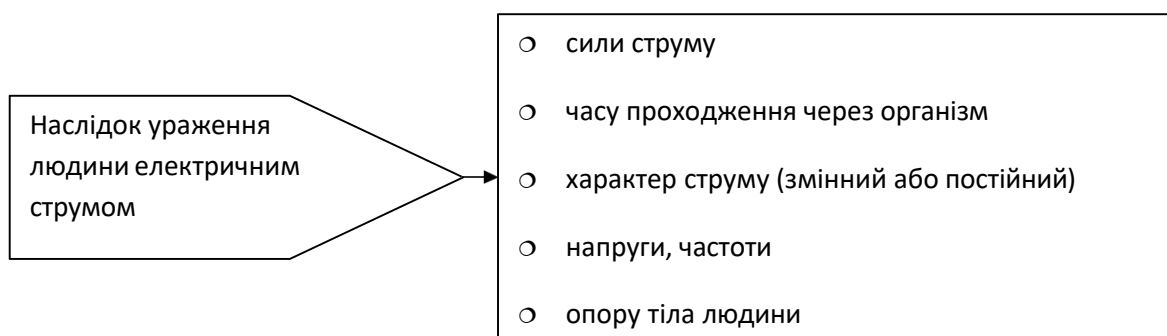


Рис. 4.1. Фактори впливу електричного струму на людину

Правильне визначення необхідних засобів та заходів обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом необхідно враховувати гранично допустимі значення напруг дотику та струмів, що проходять через тіло людини по шляху "рука - рука" чи "рука - ноги" (таблиця 4.1) .

Таблиця 4.1

**Гранично допустимі значення напруги дотику та сили струму, що проходить через тіло людини**

Вид струму	Нормоване значення	Тривалість струму, сек					
		0,1	0,2	0,5	0,7	1	Більше1
Змінний, 50 Гц	Напруги дотику, В (не більше)	500	250	100	70	50	36
	Сила струму, мА (не більше)	500	250	100	70	50	6

Основне завдання електробезпеки - мінімізувати можливість негативного впливу електричного струму на людину. Досягти цієї мети можна за допомогою таких заходів і засобів: 1) безпечною і надійною конструкцією елементів системи; 2) організаційними та технічними заходами щодо безпечної експлуатації системи та використання електричної енергії; 3) технічними засобами захисту.

У даному випадку це досягнуто шляхом конструктивного виконання складових системи класу I. Згідно класу I складові системи мають робочу ізоляцію

і виконаний таким чином, що підключити його до електричної мережі можна лише після під'єднання корпусу до заземлювача (нульового захисного провідника), а при від'єднанні від мережі - корпус відключається від заземлювача (нульового захисного провідника) в останню чергу.

Стан ізоляції струмопровідних частин відповідає правилам використання системи. Цими правилами передбачене періодичне випробування ізоляції 2 рази на рік у приміщеннях зі складними умовами, підвищеною вологістю і 1 раз на рік у приміщеннях з нормальним середовищем. Ізоляція створює великий опір, який перешкоджає протіканню через неї струму. Опір ізоляції складових системи становить не меншим 0,5 МОм. Якщо опір ізоляції знижується на 50% від початкового, мережу або ізоляцію необхідно замінити.

При роботі в приміщеннях без підвищеної небезпеки напруга складових системи повинна бути не більше 220 В. При роботі в приміщеннях з підвищеною небезпекою і за межами приміщень напруга складових системи повинна бути не більше 36 В. В особливих умовах дозволяється використовувати блок з напругою до 220 В, але при наявності захисного відключення або надійного заземлення корпусу з використанням захисних засобів (діелектричні рукавички, килимки, калоші).

Захисне заземлення - навмисне електричне з'єднання із землею металевих струмопровідних неструмоведучих частин, на яких може з'явитися напруга. Заземлення - це сукупність заземлювача і заземлювальних провідників. Заземлювачі можуть бути штучні (створені спеціально для заземлення блоку) і природні. Для штучних заземлювачів застосовують вертикальні і горизонтальні електроди. Вертикальні - зі сталевих прутів діаметром 10-12мм, кутової сталі розміром 40x40 мм або сталевих труб діаметром 30-50мм, довжиною 2,5-3 м. Вертикальні електроди з'єднують сталюю штабою розміром 4x12 мм або круглим дротом діаметром не меншеб мм. Опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 4-10 Ом (перевіряється щорічно).

Таким чином врахувавши вище сформульовані рекомендації по питанням охорони праці при експлуатації радіотехнічної системи буде забезпечено небезпечні умови праці обслуговуючого персоналу.

#### 4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Підприємство з випуску радіотехнічних систем є пожежонебезпечним, тому актуальним є забезпечення протипожежного захисту робітників та службовців, які на них працюють. Заходи протипожежного захисту здійснюються з дотриманням вимог глави 13 Кодексу цивільного захисту України від 02.10.2012 р. №5403-VI. [8]

Всі заходи організаційно-технічного характеру протипожежного захисту на виробництві на об'єкті можна підрозділити на організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні. [8]

Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої або іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств та підприємців. Це повинно бути відображено у трудових договорах (контрактах) та статутах підприємств.

Керівник підприємства з випуску ДРС повинен визначити обов'язки посадових осіб щодо забезпечення пожежної безпеки, призначити відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, діляниць, технологічного та інженерного устаткування, а також за утримання і експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту. Обов'язки щодо забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту мають бути відображені у відповідних посадових документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях тощо).

На кожному підприємстві з урахуванням його пожежної небезпеки наказом (інструкцією) повинен бути встановлений відповідний протипожежний режим, в тому числі визначені:

- можливість (місце) паління, застосування відкритого вогню та побутових нагрівальних приладів;

- порядок проведення тимчасових пожежо небезпечних (в тому числі зварювальних) робіт;
- правила проїзду та стоянки транспортних засобів;
- місця для зберігання і допустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно знаходитися у виробничих приміщеннях і на території (у місцях зберігання);
- порядок прибирання горючого пилу та відходів, зберігання промасленого спецодягу і шмаття, очищення повітроводів вентиляційних систем від горючих відкладень;
- порядок відключення від мережі електрообладнання у разі пожежі;
- порядок огляду і зачинення приміщень після закінчення роботи;
- порядок проходження посадовими особами навчання та перевірки знань з пожежної безпеки, а також проведення з працівниками протипожежних інструктажів та занять з пожежно-технічного мінімуму з призначенням відповідальних за їх проведення;
- порядок організації експлуатації і обслуговування наявних технічних засобів протипожежного захисту (протипожежного водопроводу, насосних станцій, вогнегасників тощо);
- дії працівників у разі виявлення пожежі.

Для об'єктів з перебуванням людей вночі інструкції мають передбачати два варіанти дій відповідно у денний та нічний час.

Усі працівники при прийнятті на роботу і за місцем здійснення професійної діяльності повинні проходити інструктаж з питань пожежної безпеки (вступний, первинний, повторний на робочому місці, позаплановий та цільовий). Посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично один раз на 3 роки мають проходити навчання і перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Отже, організаційні заходи пожежної безпеки передбачають: організацію пожежної охорони на об'єкті, проведення навчань з питань пожежної безпеки (включаючи інструктажі та пожежно-технічні мінімуми), застосування наочних

засобів протипожежної пропаганди та агітації, проведення перевірок, оглядів стану пожежної безпеки приміщень, будівель, об'єкта в цілому та ін.

До технічних заходів належать: суворе дотримання правил і норм, визначених чинними нормативними документами при реконструкції приміщень, будівель та об'єктів, технічному переоснащенні виробництва, експлуатації чи можливому переобладнанні електромереж, опалення, вентиляції, освітлення і т. п.

Заходи режимного характеру передбачають заборону куріння та застосування відкритого вогню в недозволених місцях, недопущення появи сторонніх осіб у вибухонебезпечних приміщеннях чи об'єктах, регламентацію пожежної безпеки при проведенні вогневих робіт тощо.

Експлуатаційні заходи охоплюють своєчасне проведення профілактичних оглядів, випробувань, ремонтів технологічного та допоміжного устаткування, а також інженерного господарства (електромереж, електроустановок, опалення, вентиляції).

#### 4.3. Висновки до розділу 4

У підрозділі з охорони праці розроблено рекомендації по питанням охорони праці при роботі з радіотехнічною системою шляхом аналізу негативного впливу електричного струму на обслуговуючий персонал при роботі із системою, способів нормування та захисту від його дії.

У підрозділі з безпеки в надзвичайних ситуаціях проаналізовано заходи організаційно-технічного характеру протипожежного захисту на виробництві радіотехнічної системи.

## ВИСНОВКИ

Загальний висновок з кваліфікаційної роботи полягає в тому, що технологія бездротового заряджання для електротранспорту, зокрема використання індуктивної конструкції та високочастотного змінного струму, є перспективною галуззю. Успішні випробування системи на короткому сегменті дороги підтверджують її стабільну роботу в різних умовах, включаючи погодні впливи.

Динамічне бездротове заряджання, що дозволяє отримувати електромобілям енергію під час руху, також розглядається як перспективна можливість, хоча існують виклики, такі як нерівномірний розподіл магнітного поля, які потребують подальших досліджень.

В контексті режимів заряджання виділяються статичний, стаціонарний і динамічний. Статичне заряджання вирізняється надійністю та зручністю, а стаціонарний режим дозволяє оптимізувати процес заряджання через використання різних матеріалів та конфігурацій котушок.

Робота також акцентує увагу на важливості визначення оптимальних параметрів системи, таких як частота змінного струму, матеріали котушок та розміри компонентів для ефективного та надійного заряджання.

Усі ці аспекти спільно вказують на те, що розробка технології бездротового заряджання може вирішити проблеми відсутності інфраструктури заряджання та підвищити придатність електромобілів в майбутньому. Дослідження вказує на важливість розвитку статичного режиму заряджання та визначення оптимальних параметрів системи для досягнення найвищої енергоефективності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хвостівський М.О., Дунець В.Л., Дедів І.Ю. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт магістра за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. 21 с.
2. Опис технології у Швеції [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: [https://elektrovesti.net/74340\\_u-shvetsii-pobuduvali-dorogu-z-bezdrotovoyu-zaryadkoyu-dlya-elektromobiliv-u-rusi](https://elektrovesti.net/74340_u-shvetsii-pobuduvali-dorogu-z-bezdrotovoyu-zaryadkoyu-dlya-elektromobiliv-u-rusi) . Дата доступу 10.10.2023.
3. Загальний принцип бездротової зарядки електромобілів [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://mezha.media/2022/02/23/bezdrotova-zariadka-vid-dorohy/> . Дата доступу 10.10.2023.
4. Країни які переходять виключно на електромобілі [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/novosti/zakhid-ierokhi-dvz-die-i-koli-povnistiu-zaboroniat-avtomobili-z-diziel-nimi-i-bienzinovimi-dvighunami> . Дата доступу 10.10.2023.
5. Зарядка під час руху [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://skinnonews.com/global/archives/6253> . Дата доступу 10.10.2023.
6. Методологія проектування та аналіз схем бездротових систем передачі енергії, що застосовуються до бездротових зарядних пристроїв електромобілів – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/2032-6653/14/5/117>. Дата доступу 10.10.2023.
7. Оптимальна конструкція та час заряджання за допомогою аналізу системи бездротової зарядки Ansys – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ansys.com/blog/reach-optimum-design-and-reduce-charging-time-with-ansys-wireless-charging-system-analysis>. Дата доступу 10.10.2023.
8. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «БЕЗПЕКА

В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., –156 с.

9. Бездротова зарядка від дороги – як шлях для зміни електромобілів загалом – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://mezha.media/2022/02/23/bezdrotova-zariadka-vid-dorohy/>. Дата доступу 10.10.2023.

10. Hwang, Y.J.; Kim, J.M. A Double Helix Flux Pipe-Based Inductive Link for Wireless Charging of Electric Vehicles. *World Electr. Veh. J.* 2020, 11, 33.

11. Olukotun, B.; Partridge, J.; Bucknall, R. Finite Element Modeling and Analysis of High Power, Low-Loss Flux-Pipe Resonant Coils for Static Bidirectional Wireless Power Transfer. *Energies* 2019, 12, 3534.

12. Zhang, X.; Zhu, C.; Song, H. *Wireless Power Transfer Technologies for Electric Vehicles; Key Technologies on New Energy Vehicles; Springer Nature: Singapore, 2022; ISBN 9789811683473.*

13. Bouanou, T.; El Fadil, H.; Lassioui, A.; Assaddiki, O.; Njili, S. Analysis of Coil Parameters and Comparison of Circular, Rectangular, and Hexagonal Coils Used in WPT System for Electric Vehicle Charging. *World Electr. Veh. J.* 2021, 12, 45.

14. Bouanou, T.; Fadil, H.E.; Lassioui, A. Analysis and Design of Circular Coil Transformer in a Wireless Power Transfer System for Electric Vehicle Charging Application. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT), Rabat, Morocco, 4–7 March 2020; pp. 1–6.*

15. Alsayegh, M.; Saifo, M.; Clemens, M.; Schmuelling, B. Magnetic and Thermal Coupled Field Analysis of Wireless Charging Systems for Electric Vehicles. *IEEE Trans. Magn.* 2019, 55, 1–4.

16. Liang, C.; Yang, G.; Yuan, F.; Huang, X.; Sun, Y.; Li, J.; Song, K. Modeling and Analysis of Thermal Characteristics of Magnetic Coupler for Wireless Electric Vehicle Charging System. *IEEE Access* 2020, 8, 173177–173185.

17. Vaka, R.; Keshri, R.K. Design Considerations for Enhanced Coupling Coefficient and Misalignment Tolerance Using Asymmetrical Circular Coils for WPT System. *Arab. J. Sci. Eng.* 2019, 44, 1949–1959.



18. Triviño-Cabrera, A.; González-González, J.M.; Aguado, J.A. *Wireless Power Transfer for Electric Vehicles: Foundations and Design Approach; Power Systems; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2020; ISBN 978-3-030-26705-6.*
19. Ahmad, A.; Alam, M.S.; Mohamed, A.A.S. Design and Interoperability Analysis of Quadruple Pad Structure for Electric Vehicle Wireless Charging Application. *IEEE Trans. Transp. Electrification*. 2019, 5, 934–945.
20. Yang, Y.; El Baghdadi, M.; Lan, Y.; Benomar, Y.; Van Mierlo, J.; Hegazy, O. Design Methodology, Modeling, and Comparative Study of Wireless Power Transfer Systems for Electric Vehicles. *Energies* 2018, 11, 1716.
21. Kalwar, K.A.; Aamir, M.; Mekhilef, S. A Design Method for Developing a High Misalignment Tolerant Wireless Charging System for Electric Vehicles. *Measurement* 2018, 118, 237–245.
22. Yang, Y.; Cui, J.; Cui, X. Design and Analysis of Magnetic Coils for Optimizing the Coupling Coefficient in an Electric Vehicle Wireless Power Transfer System. *Energies* 2020, 13, 4143.
23. Sallan, J.; Villa, J.L.; Llombart, A.; Sanz, J.F. Optimal Design of ICPT Systems Applied to Electric Vehicle Battery Charge. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2009, 56, 2140–2149.
24. Siroos, A.; Sedighizadeh, M.; Afjei, E.; Sheikhi Fini, A.; Yarkarami, S. System Identification and Control Design of a Wireless Charging Transfer System with Double-Sided LCC Converter. *Arab. J. Sci. Eng.* 2021, 46, 9735–9751.
25. Kim, H.; Song, C.; Kim, D.-H.; Jung, D.H.; Kim, I.-M.; Kim, Y.-I.; Kim, J.; Ahn, S.; Kim, J. Coil Design and Measurements of Automotive Magnetic Resonant Wireless Charging System for High-Efficiency and Low Magnetic Field Leakage. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 2016, 64, 383–400.
26. Lassioui, A.; Fadil, H.E.; Rachid, A.; El-Idrissi, Z.; Bouanou, T.; Belhaj, F.Z.; Giri, F. Modelling and Sliding Mode Control of a Wireless Power Transfer System for BEV Charger. *Int. J. Model. Identif. Control* 2020, 34, 171–186.

27. J2954 (WIP) Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-In/Electric Vehicles and Alignment Methodology—SAE International. Available online: <https://www.sae.org/standards/content/j2954/> (accessed on 7 September 2020).
28. Patil, D.; McDonough, M.K.; Miller, J.M.; Fahimi, B.; Balsara, P.T. Wireless Power Transfer for Vehicular Applications: Overview and Challenges. *IEEE Trans. Transp. Electrification*. 2018, 4, 3–37. Aditya, K. Design and Implementation of an Inductive Power Transfer System for Wireless Charging of Future Electric Transportation. Ph.D. Dissertation, University of Ontario Institute of Technology, Oshawa, ON, Canada, 2016.
29. Bentalhik, I.; Lassioui, A.; EL Fadil, H.; Bouanou, T.; Rachid, A.; EL Idrissi, Z.; Hamed, A.M. Analysis, Design and Realization of a Wireless Power Transfer Charger for Electric Vehicles: Theoretical Approach and Experimental Results. *World Electr. Veh. J.* 2022, 13, 121.
30. Onar, O.C.; Chinthavali, M.; Campbell, S.L.; Seiber, L.E.; White, C.P.; Galigekere, V.P. Modeling, Simulation, and Experimental Verification of a 20-KW Series-Series Wireless Power Transfer System for a Toyota RAV4 Electric Vehicle. In *Proceedings of the 2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Long Beach, CA, USA, 13–15 June 2018; pp. 874–880.
31. Covic, G.A.; Boys, J.T. Inductive Power Transfer. *Proc. IEEE* 2013, 101, 1276–1289.
32. Mude, K.N. Wireless Power Transfer for Electric Vehicle. Doctoral Dissertation, University of Padova, Padova, Italy, 2015.
33. Zhang, W.; White, J.C.; Abraham, A.M.; Mi, C.C. Loosely Coupled Transformer Structure and Interoperability Study for EV Wireless Charging Systems. *IEEE Trans. Power Electron.* 2015, 30, 6356–6367.
34. Budhia, M.; Covic, G.A.; Boys, J.T. Design and Optimization of Circular Magnetic Structures for Lumped Inductive Power Transfer Systems. *IEEE Trans. Power Electron.* 2011, 26, 3096–3108.

35. Jiao, C.; Xu, Y.; Li, X.; Zhang, X.; Zhao, Z.; Pang, C. Electromagnetic Shielding Techniques in the Wireless Power Transfer System for Charging Inspection Robot Application. *Int. J. Antennas Propag.* 2021, 2021, 9984595.
36. Cui, H.; Zhong, W.; Li, H.; He, F.; Chen, M.; Xu, D. A Study on the Shielding for Wireless Charging Systems of Electric Vehicles. In *Proceedings of the 2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, San Antonio, TX, USA, 4–8 March 2018; pp. 1336–1343.
37. Kim, H.; Cho, J.; Ahn, S.; Kim, J.; Kim, J. Suppression of Leakage Magnetic Field from a Wireless Power Transfer System Using Ferrimagnetic Material and Metallic Shielding. In *Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Pittsburgh, PA, USA, 6–10 August 2012; pp. 640–645.
38. ICNIRP|LF (1 Hz–100 KHz). Available online: <https://www.icnirp.org/en/frequencies/low-frequency/index.html> (accessed on 6 September 2020).
39. Wojda, R.P.; Kazimierczuk, M.K. Winding Resistance and Power Loss of Inductors With Litz and Solid-Round Wires. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2018, 54, 3548–3557.
40. Lee, S.-H.; Lorenz, R.D. Development and Validation of Model for 95%-Efficiency 220-W Wireless Power Transfer Over a 30-Cm Air Gap. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2011, 47, 2495–2504.
41. Moghaddami, M.; Sarwat, A. Time-Dependent Multi-Physics Analysis of Inductive Power Transfer Systems. In *Proceedings of the 2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Long Beach, CA, USA, 13–15 June 2018; pp. 130–134.
42. Kim, K.Y. (Ed.) *Wireless Power Transfer—Principles and Engineering Explorations*; InTech: London, UK, 2012; ISBN 978-953-307-874-8.
43. Wang, G.-S.; Covic, G.A.; Stielau, O.H. Power Transfer Capability and Bifurcation Phenomena of Loosely Coupled Inductive Power Transfer Systems. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2004, 51, 148–157.

ДОДАТОК А

Копія тези

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)  
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)  
Маріборський університет (Словенія)  
Технічний університет у Кошице (Словаччина )  
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)  
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)  
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

# **АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Збірник**  
тез доповідей

**XII Міжнародної науково-практичної  
конференції молодих учених та студентів**  
6-7 грудня 2023 року



**УКРАЇНА**  
**ТЕРНОПІЛЬ – 2023**

## СЕКЦІЯ: ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 621.372.632:621.365.5

Ю. Ю. Гудак, В. І. Яськів, докт. техн. наук., доц.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

### МОБІЛЬНА СИСТЕМА БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Y. Y. Hudak, V. I. Yaskiv, Dr., Assoc. Prof.

### MOBILE WIRELESS POWER TRANSMISSION SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLES

У зв'язку з ростом усвідомленості екологічних проблем та необхідністю переходу до стійких енергетичних рішень, електромобілі набувають популярності як ефективний засіб транспортування. Однак ефективність та зручність зарядки залишається важливим аспектом для прийняття цієї технології. У цьому контексті, мобільні пристрої безпроводної передачі електроенергії визначають новий етап у розвитку транспортних технологій.

Переваги безпроводної передачі електроенергії для електромобілів:

1) Зручність та ефективність зарядки - мобільні пристрої дозволяють водіям електромобілів заряджати свої автомобілі безпосередньо під час руху або стоянки, що робить процес зарядки більш зручним та ефективним.

2) Можливість автоматизованого процесу зарядки - інтеграція мобільних пристроїв із системами автоматичної зарядки дозволяє автоматизувати процес, забезпечуючи оптимальний рівень заряду та підтримуючи довгий термін служби батареї.

3) Зменшення потреби в інфраструктурі станцій заряджання - мобільні пристрої дозволяють ефективно використовувати енергію без потреби в створенні та обслуговуванні великої мережі станцій заряджання.

Сучасні технології, що базуються на магнітному резонансі та індукції, дозволяють ефективно передавати енергію без прямого фізичного контакту між пристроями, забезпечуючи високий ступінь ефективності. Розробка мобільних пристроїв повинна враховувати вплив на здоров'я та електромагнітну сумісність, забезпечуючи високий ступінь безпеки для користувачів та навколишнього середовища.

На рис. 1 показана еквівалентна схема бездротової системи заряду батареї електромобіля. В процесі заряджання передбачено високочастотне перетворення параметрів мережі змінного струму та взаємодію магнітних резонансних контурів.

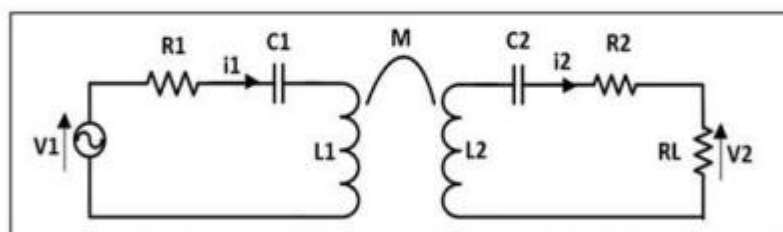


Рисунок 1. Еквівалентна схема бездротової системи заряду батареї електромобіля

Електрична схема системи безпроводної передачі електроенергії з однією напрямленістю зображена на рис. 2, побудована для симуляції процесу передавання електроенергії електромобілю під час руху. Електрична схема створена в програмі Ansys Simplorer.

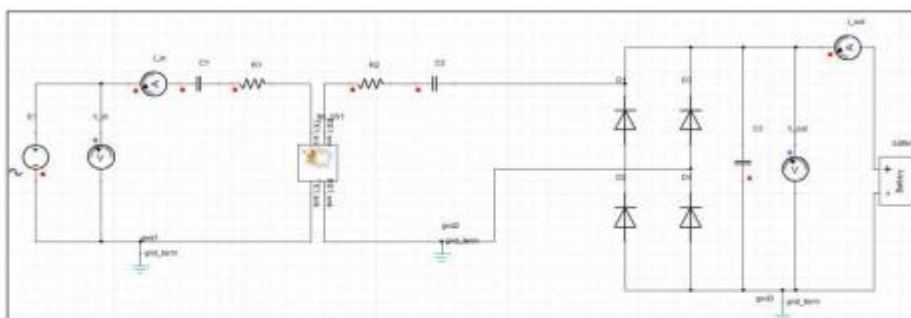


Рисунок 2. Електрична схема системи безпроводної передачі електроенергії з однією напрямленістю

З вище показаної електричної схеми, був побудований графік ефективності системи безпроводної передачі електроенергії відносно частоти, і зображено на рис. 3. З графіку можна побачити що ефективність близька до 90 %, що показує досить хороший результат.

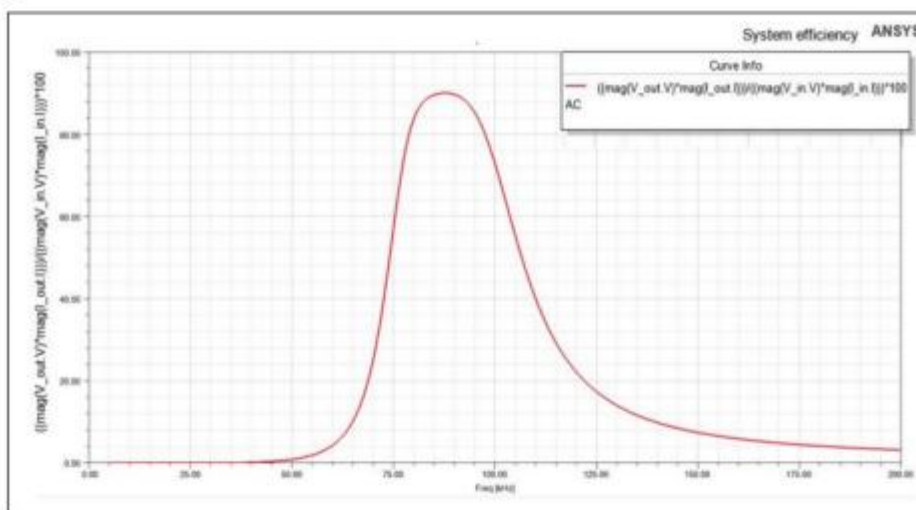


Рисунок 3. Ефективність системи безпроводної передачі електроенергії відносно частоти.

Мобільні пристрої безпроводної передачі електроенергії є перспективним рішенням для розвитку транспортних технологій, спрямованих на поліпшення зручності, доступності та сталості електромобільного транспорту. Розробка та впровадження цих технологій є ключовим етапом у створенні сталої та майбутньоорієнтованої транспортної системи, сприяючи розвитку ефективних та екологічно чистих рішень.

#### Література

1. Загальний принцип бездротової зарядки електромобілів [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://mezha.media/2022/02/23/bezdrotova-zariadka-vid-dorohy/>. Дата доступу 10.10.2023.
2. Зарядка під час руху [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://skinnonews.com/global/archives/6253>. Дата доступу 10.10.2023.