

Шифр «Заряджання»

**Дослідження ефективності роботи бездротової системи заряджання
електротранспорту в залежності від точності позиціонування**

2018

АНОТАЦІЯ

Шифр роботи «Заряджання». Структура роботи: 23 с., 12 рис., 22 джерела на 3 сторінках.

Актуальність. Потреби народного господарства в впровадженні ефективних та безпечних методів заряджання електротранспорту. Уніфікація зарядних станцій та підвищення їхньої електробезпеки.

Мета. Визначення залежності ефективності передачі енергії від величини зсуву між осями котушок з різними геометричними параметрами системи заряджання.

Завдання наукової роботи. Здійснити аналітичний огляд існуючих систем, що дозволяють заряджати електромобілі в автоматичному режимі бездротовим методом. Розробити математичну модель роботи бездротового модулю передачі енергії. Провести дослідження залежності ефективності передачі електромагнітної енергії бездротовим способом від співвісності системи.

Використана методика дослідження: бібліографічний аналіз літератури и матеріалів мережі Internet; математичне моделювання; аналіз отриманих даних.

Загальна характеристика наукової роботи. Проведено аналіз існуючих систем, що дозволяють заряджати електромобілі в автоматичному режимі бездротовим методом. Розроблено математичну модель роботи бездротового модулю передачі енергії. Визначено залежність ефективності передачі енергії від величини зсуву між осями котушок системи заряджання. Проведені дослідження, які показують, що практична реалізація систем бездротової зарядки збільшує експлуатаційні властивості транспортного засобу та знімає проблему сумісності заряджувального пристрою та електромобілів різних виробників.

Ключові слова: бездротове заряджання, співвісна система, розподіл магнітного поля, взаємна магнітна індуктивність.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Зарядні пристрої електромобілів	8
1.1 Вимоги до зарядних пристроїв	8
2 Математична модель бездротової зарядної станції	12
3 Практична реалізація модулю заряджання.....	16
Висновки	20
Список використаної літератури	21

ВСТУП

Актуальність роботи. Ринок електромобілів досить динамічно розвивається. За прогнозами Європейської комісії до 2020 року кількість електричних транспортних засобів тільки в Європі складе кілька мільйонів екземплярів [1]. Для їхньої підзарядки потрібні великі мережі зарядних станцій, що відповідають міжнародним стандартам, який визначає типи електричних рознімів і режими зарядки електромобілів. Цим стандартом визначено три типи електричних рознімів і чотири види режиму заряду акумуляторів електромобіля. Але створенню мережі зарядних станцій перешкоджає, серед інших причин, і невизначеність у стандартах. Кожний виробник використовує власні батареї, параметри зарядки й електричні рознімання [2].

Ще одним з головних недоліків електромобілів є спосіб накопичення енергії, що призводить до високої вартості акумуляторів та обмеження дистанції пробігу від однієї зарядки. Для того щоб вирішити цю проблему та зменшити залежність від акумуляторних систем, застосовують різноманітні методи. В роботах [3, 4] показано, що створення гібридних систем з застосуванням ДВЗ дозволяє об'єднати переваги використання ДВЗ та електромотору. Також пропонується методика розвитку різноманітних видів інфраструктури заряджальних станцій [5], а також встановлення пунктів підзарядки в місцях проживання [6]. Динамічна бездротова зарядка (DWC) для електромобілів - ще один перспективний метод використання інфраструктури для подолання проблем з батареями. DWC – це бездротова технологія передавання потужності (WPT), яка дозволяє заряджати електромобілі в час руху. Застосовуючи DWC можливо значно знизити залежність пробігу електромобілів від ємності акумуляторів, тому що вони отримують додаткове живлення від дорожнього полотна. Таким чином електротранспорт з використанням DWC технології отримують переваги в порівнянні з звичайними електромобілями, такі як зниження вартості транспортного засобу та скорочення часу заряджання в

наслідок зменшення необхідної ємності батареї [7 - 9]. Дослідженням процесів в роботі бездротових систем заряджання займаються досить велика кількість наукових колективів в світі. Практична реалізація переваг досягається при застосуванні технології DWC в будівництві спеціалізованих трас з вбудованим в дорожнє полотно обладнанням бездротового заряджання на автомагістралях [10].

При встановленні DWC в стратегічних місцях вздовж шосе, діапазон пересування електромобілів може бути розширено, що дозволяє скоювати поїздки на більші відстані [11].

Однак одним з основних недоліків цієї схеми DWC є зниження ефективності роботи, що з'являється при боковому зсуві приймальної котушки, що встановлено в транспортному засобі, та котушки, вбудованої під дорожнє полотно, що випромінює електромагнітну енергію джерела. Транспортний засіб повинен бути вирівняний в межах певного діапазона котушки джерела для досягнення високої потужності в котушки навантаження [12], що також підвищує дальність пересування транспортного засобу.

Проблемою використання даної технології на практиці є складність постійного дотримання вимог взаємного вирівнювання котушки навантаження транспортного засобу з котушкою джерела в час руху. Ця проблема актуальна навіть для опитних водіїв. Крім того, спроба зберегти транспортний засіб в відповідності з котушкою джерела може відволікати водія від зустрічного руху чи перешкод, що наприкінці може призвести до серйозних дорожніх аварій.

Щоб звести до мінімуму проблему з передачею потужності на котушку навантаження через бічний зсув в WPT була запропонована безліч методів для максимізації толерантності бічного зсуву. Деякі запропоновані методи містять у собі зміну геометрії котушки [13], розміщення декількох котушок в ортогональних конфігурація [14] або конфігураціях, що перекриваються, [15] і навіть об'єднання декількох котушок різної геометрії в одну одиницю [16]. Іншим популярним методом є використання феромагнітних матеріалів, де E-

образні або U-образні феритові сердечники [17,18] використовуються на котушках навантаження або джерела. Інші методи також включають схеми настроювання резонансної частоти активної котушки, щоб максимізувати бічну допуск [19,20]. Усі запропоновані методи, є працездатними, але їх реалізація в транспортних засобах може бути дуже обмеженою через обмежене місце установки транспортного засобу, обмежень ваги, а також динамічне середовище водіння.

Мета роботи: визначення залежності ефективності передачі енергії від величини зсуву між осями котушок з різними геометричними параметрами системи заряджання.

Задачі дослідження:

- здійснити аналітичний огляд існуючих систем, що дозволяють заряджати електромобілі в автоматичному режимі бездротовим методом;
- розробити математичну модель роботи бездротового модулю передачі енергії;
- провести дослідження залежності ефективності передачі електромагнітної енергії бездротовим способом від співвісності системи.

Об'єкт дослідження – бездротова зарядка.

Предмет дослідження – моделювання та статистичний аналіз взаємоіндуктивності некоаксіальних котушок навантаження та джерела.

Методи досліджень: використані загальні методи аналітичних досліджень. Теоретичні дослідження електромагнітних процесів виконані за допомогою математичного апарату теорії електромагнітного поля та ТОЕ.

Основні наукові та практичні результати, їх значення.

1. Розроблено математичну модель бездротової зарядної станції електромобілів.
2. Досліджено залежність коефіцієнту передачі від зсуву до осі симетрії.
3. Визначено діапазон взаємного зміщення котушок джерела та навантаження в якому досягається найбільша ефективність роботи системи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки України, затверджених Законом України № 2519-17 від 12.10.2010 р., з пріоритетними тематичними напрямками, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України № 942 від 07.09.2011 р. Робота базується на результатах науково-дослідних досліджень, що виконуються у ХНАДУ протягом 2017-2018 рр. Матеріали запропонованої роботи використано при виконанні науково-дослідної роботи № 66-01-17 від «1» лютого 2017 року «Дослідження та розробка автоматичної зарядної станції електромобілів».

Загальна характеристика наукової роботи. Робота складається із вступу, двох розділів і висновків. Загальний обсяг роботи становить 21 сторінки, у тому числі основний текст на 15 сторінках і список літератури з 22 найменувань на 3 сторінках.

1 ЗАРЯДНІ ПРИСТРОЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

1.1 Вимоги до зарядних пристроїв

В останні роки проблема запасу ходу, пов'язана з електричними транспортними засобами, була зм'якшена появою гібридних електромобілів і розробкою батарей високої ємності, здатних зберігати більше енергії в тому ж обсязі. Потрібно близько трьох хвилин, щоб заповнити бак бензином або дизелем на станції заправлення паливом, достатнім, щоб проїхати 500 км. Для того, щоб проїхати 500 км на невеликій пасажирській електромашині необхідно три повністю заряджені акумулятори ємністю 25 кВт/год. Низька вартість енергії є одним з основних переваг використання електротранспорту. На жаль для того, щоб помістити в акумулятор 25 кВт/год енергії на кожні 150 км за той же час (по 1 хв. на батарею), що потрібно для заправлення бензином, буде потрібно потужність в 1,5 МВт. Створення конструкцій, здатних забезпечувати такий потік потужності за одну хвилину не є дуже практичним, до того ж, батареї не здатні сприймати заряд з такою швидкістю. Крім того передача надвеликих потужностей з участю людини, не маючої електротехнічних навичок, в процесі під'єднання та роз'єднання рознімань практично виключається, бо це пов'язано з великим ризиком ураження електричним струмом. З іншого боку, можна заряджати батареї пасажирського електротранспорту малими порціями на протязі 24 год.

Таким чином стає завдання створення зарядних станцій потужністю рівня 15 – 30 кВт з мінімальним впливом людського фактора.

Розв'язок полягає в розробці зарядних пристроїв, мережі суспільних і приватних зарядних станцій з автентифікацією користувачів і системою рахунків, безпеки й планування, розробки міжнародних стандартів і побудови електричної мережі, здатної проводити заряджання бездротовим методом.

Розглянемо вимоги до транспортних засобів, яких необхідно дотримуватися, і батареї, які використовуються. Діапазон вимог до зберігання енергії досить широкий і становить від 0,5 до 50 кВт/год, а вимоги до струму становлять від 20 до 200 А, що вимагає відповідних зарядних пристроїв.

Зарядні пристрої забезпечують постійну напругу при живленні від джерела змінної напруги, від мережі загального призначення або від спеціально побудованої станції постійної напруги. Дуже важливими факторами є методи контролю заряду й захисту батареї від перевантаження по напрузі, струмі або температурі. Зарядні функції можуть бути інтегровані або відділені від батареї.

Зарядні пристрої для пасажирських автомобілів звичайно встановлюються усередині машини. Це робиться через те, що транспортний засіб може використовуватися далеко від будинку, на відстані, що перевищує прохідний за один заряд шлях. Із цієї причини зарядний пристрій установлюється в корпусі машини й акумулятор може бути заряджений поза будинком від звичайної домашньої розетки. Потужність цих зарядних пристроїв відносно мала, й зарядка може забирати значний час - 10 год або більше, залежно від ємності батареї. У випадку зарядки вночі це не є проблемою, але може бути, якщо машина далеко від будинку. Багато електромобілів мають спеціальні високопотужні зарядні пристрої, які можуть використовуватися на спеціальних станціях або потужних домашніх установках. У багатьох країнах більш високу потужність можна одержати у випадку підключення трифазної мережі.

Комерційні електромобілі вимагають більших батарей, яким будуть потрібні потужні зарядні станції для досягнення меншого періоду часу заряду, але для цього так само буде потрібно додаткове встаткування. Багато хто з них додержуються визначеному маршруту в обмеженому радіусі від бази й вертаються до неї ввечері. У цих випадках виключення зарядного пристрою із складу електромобіля дозволить заощадити вагу й простір. Такі конструкції так само можуть використовувати заміну батарей. Кожний електромобіль може мати дві батареї: одну використовувати, у той час як інша буде заряджатися. Під час

поїздок на далекі відстані обидві батареї можуть використовуватися. Електромобіль розряджає батарею кожну поїздку, одержуючи повністю заряджену на станції й залишаючи виряджену для зарядки на наступну поїздку. Ця система вимагає використання трьох батарей на транспортний засіб.

Розміщення зарядних функцій у станції заряду дозволяє заощадити на ціні електротранспорту, але робить станцію більш дорогою. Найбільшу ціну становить можливість використовувати потужність мережі. Оскільки вимоги до потужності електропостачання доходять до 240 кВт на станцію, вони не можуть приєднуватися до мережі в будь-якій місці. Звичайно їм потрібна окрема лінія для забезпечення високого потоку потужності.

У теперішній час немає єдиного світового стандарту для електричних і механічних інтерфейсів для зарядних станцій і електромобілів, і єдиної системи ідентифікації й оплати. Навіть якщо ми створимо єдиний фізичний інтерфейс, система може заблокувати зарядку через різні системи рахунків.

Нижче наведені розетки домашніх мереж у різних країнах, що використовуються для дротової зарядки рівня 1 (рисунок 1.1, 1.2).



Рисунок 1.1 - Роз'єми Меннекеса та SAE J1772



Рисунок 1.2 - Роз'єм Chademo та її монтаж на Nissan

Найбільшою проблемою є зарядка для жителів міст у будинках і на вуличних паркуваннях. У містах багато тисяч машин паркується на ніч на вулицях. Поки місцеві влади створюють станції зарядки, власники електромобілів повинні паркувати свої автомобілі на станціях зарядки і йти додому пішки. Вони так само будуть платити за паркування, яке є обов'язковим. Разом з ростом кількості електромобілів, буде більше причин для вкладання в зарядні станції, у той же час автомобільна індустрія розробить універсальний індустриальний і національні стандарти для широкого діапазону продуктів. Вирішення цих проблем дозволить прискорити продажі й залучити більше інвестицій.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БЕЗДРОТОВОЇ ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ

За схемою заміщення бездротової заряджальної станції модель розділяється на коло джерела та коло приймача потужності згідно рис. 2.1 [21].

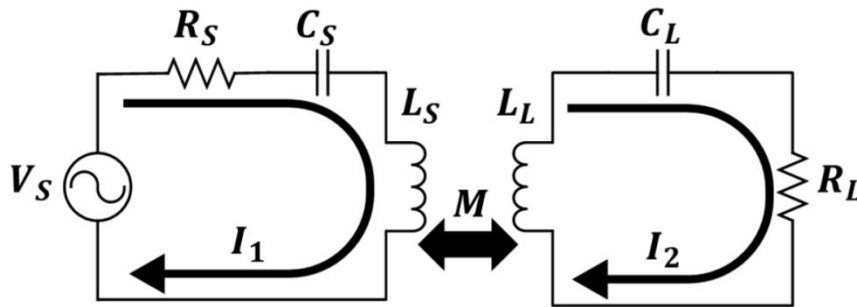


Рисунок 2.1 – Схема заміщення блоку бездротової станції

Ефективність роботи системи передавання потужності від котушки випромінювання P_S до приймальної котушки P_L бездротовим методом визначається як

$$\eta = \frac{P_L}{P_S} \quad (1)$$

З виразу (1) P_S та P_L відзначається як

$$P_S = I_1 V_S = \left(\frac{R_L + \frac{1}{j\omega C_L} + j\omega L_L}{j\omega M} I_2 \right) V_S$$

$$P_L = I_2 V_L = I_2^2 R_L = \left(\frac{j\omega M}{R_L + \frac{1}{j\omega C_L} + j\omega L_L} I_1 \right)^2 R_L$$

Взаємна індуктивність котушок джерела випромінювання та навантаження відзначається як

$$M = k\sqrt{L_S L_L}$$

На рис. 2.2 наведена тривимірна модель котушок.

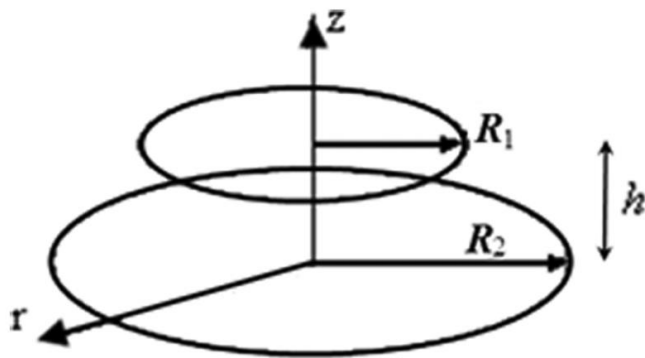


Рисунок 2.2 - Тривимірна модель котушок

Взаємна індуктивність двох коаксіальних витків зазначається виразом

$$M = \mu_0 \sqrt{R_1 R_2} \frac{2}{k} \left[\left(1 - \frac{k^2}{2} \right) K(k) - E(k) \right]$$

$$k = \sqrt{\frac{4R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2 + h^2}}$$

де $K(k)$ та $E(k)$ – еліптичні інтеграли першого та другого порядку, що наведено в [22].

Взаємне розташування котушок у просторі проілюстровано на рис. 2.3.

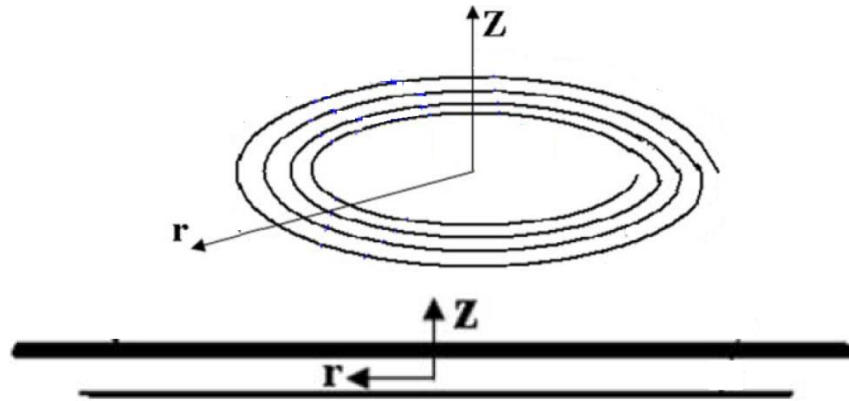


Рисунок 2.3 - Взаємне розташування котушок в просторі

Загальна картина розподілу напруги магнітного поля показана на рис 2.4.

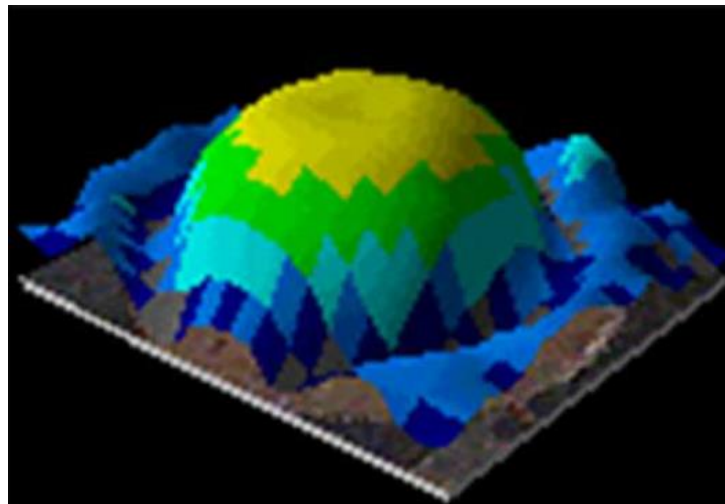


Рисунок 2.4 - Розподіл напруги магнітного поля біфілярної котушки

При зміщенні розташування котушок від центральної вісі симетрії ефективність системи зніжується за залежністю, що наведено на рис. 2.5.

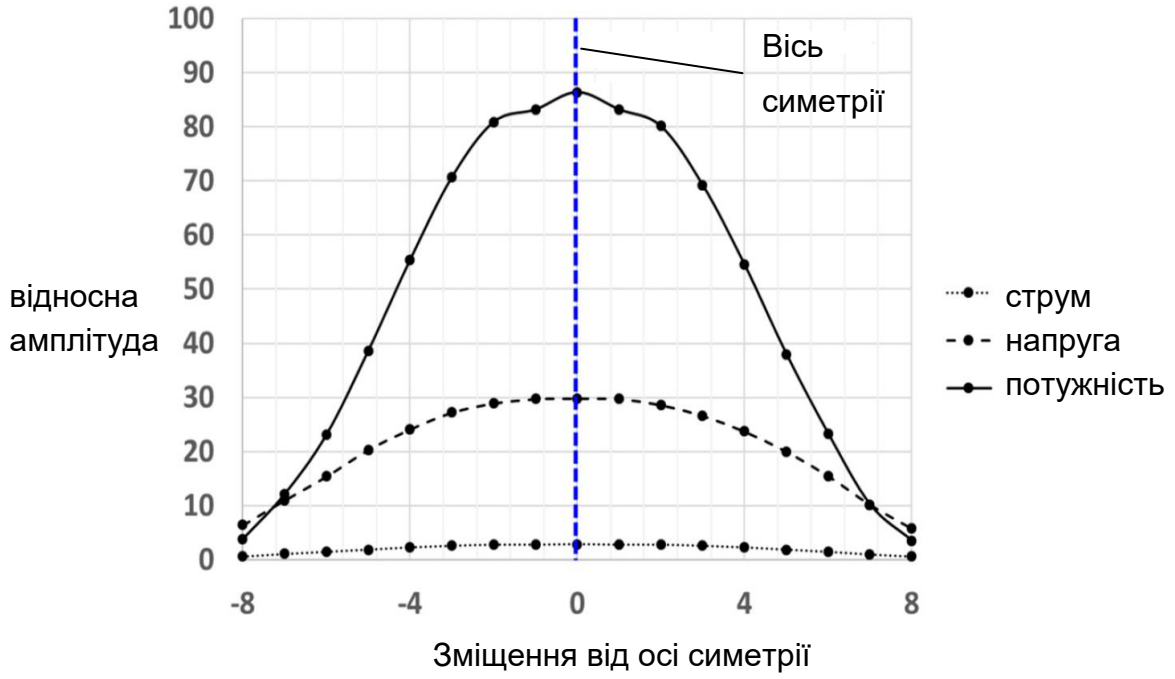


Рисунок 2.5 - Розподіл напруги магнітного поля біфілярної котушки

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДУЛЮ ЗАРЯДЖАННЯ

Зробимо аналіз перехідних процесів схеми. Ця форма аналізу найбільш повна, що дає багато інформації про схему. Закінчивши опис моделювання з аналізом перехідних процесів, інші форми аналізу будуть її доповнювати.

Щоб перевірити схему, ми повинні забезпечити її відповідним вхідним сигналом. Будемо використовувати генератор прямокутних імпульсів для нашого іспитового сигналу. Об'єкт генератор буде використовуватися для одержання необхідного сигналу.

Генератори розміщуються на схемі звичайним способом, з наступним з'єднанням їх провідниками або вилучивши його на вже наявний провідник. Якщо ви перетягнете генератор, то ISIS розв'яже, що ви прагнете від'єднати його, і не перетягне за ним провідник, як він робить це для елементів.

Розроблена модель створена за допомогою пакета програм схемотехнічного моделювання PROTEUS (рис. 3.1).

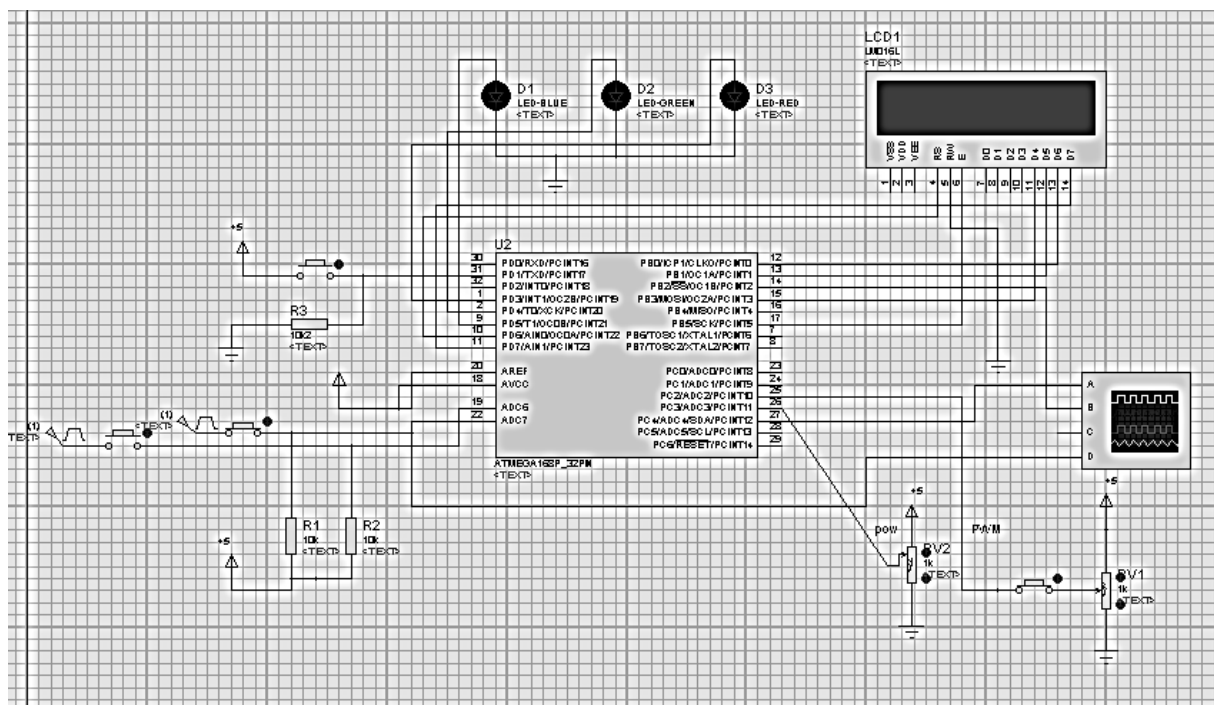


Рисунок 3.1 - Графічна модель розробленої системи

Застосування виртуального осцилографа дозволяє спостерігати електричні сигнали при роботі моделі (рис. 3.2).

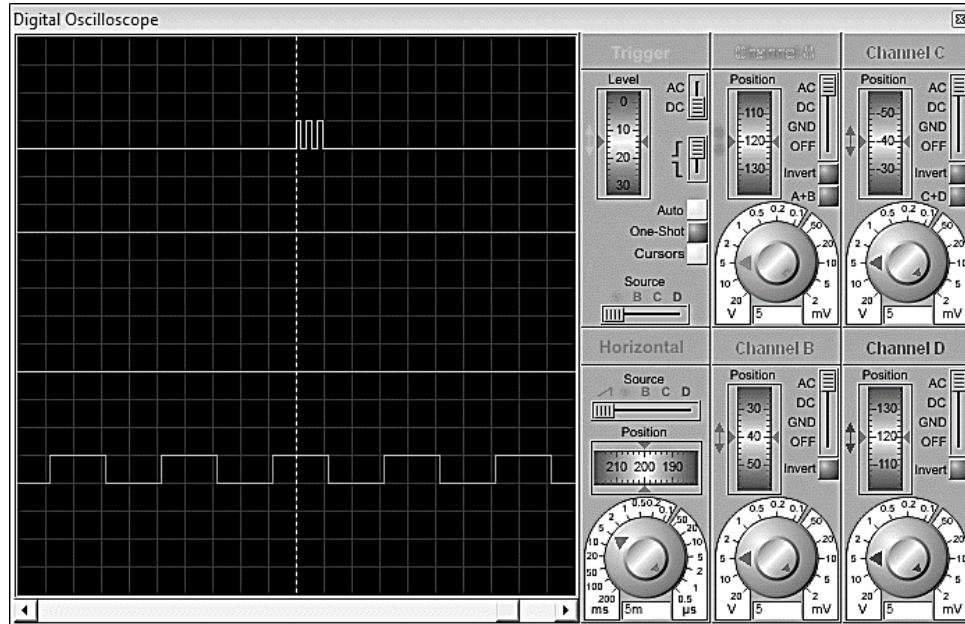


Рисунок 3.2 - Зовнішній вигляд виртуального осцилографа

Система заряджання застосовує широтно-імпульсну модуляцію для встановлення допустимого максимального струму (рис. 3.3).

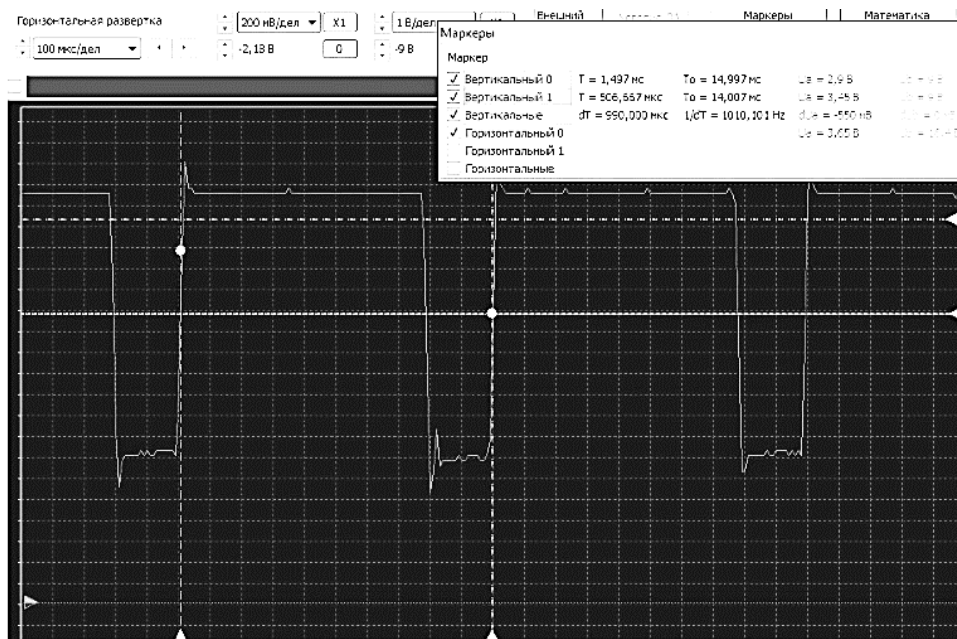


Рисунок 3.3 - Процес формування широтно-імпульсного сигналу

Перевірка роботи модулю захисту від відсутності заземлення проводилась на фізичній моделі. Осцилограми, отримані за допомогою осцилографу, що під'єднаний до ноутбука (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 - Осцилограма роботи системи сканування наявності заземлення

При під'єднанні зарядної станції до електромобіля за допомогою струмових кліщів було виміряно струм, що споживається (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 - Вимірювання споживаного електромобілем струму

Обрано необхідні захисні функції зарядних пристроїв.

Зазначено допоміжні сервісні можливості, що можливо застосовувати при експлуатації зарядного пристрою.

ВИСНОВКИ

У роботі був проведений аналіз схемних рішень побудови заряджальних станцій електромобілів.

Розроблено схему електричну принципову, програму керування та друковану плату пристрою.

Розроблено модуль зарядної станції, що дозволяє передавати енергію від електромережі до тягової акумуляторної батареї за бездротовою технологією.

Розробка бездротової зарядки має ряд переваг:

- найбільша перевага бездротової технології полягає в сумісності між зарядними пристроями й електромобілями від різних виробників;
- передається неіонізуюче випромінювання, яке не небезпечне для людей;
- бездротова технологія виключає фактор впливу людини при зарядці;
- усі з'єднання захищені від корозії;
- бездротовий передавач може бути виконано повністю герметичним, що визначає високу вандалостійкість.

Матеріали запропонованої роботи використано при виконанні науково-дослідної роботи № 66-01-17 від «1» лютого 2017 року «Дослідження та розробка автоматичної зарядної станції електромобілів».

Проведені натурні випробування розробленої зарядної станції з електромобілями Nissan LEAF та TESLA Model S85 підтвердили працездатність розробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексейчук Д.І., ст., Серіков Г.С., доц., к.т.н. / Електромобіль як засіб підвищення екологічної безпеки автомобільно-дорожнього комплексу / II Міжнародна науково-практична конференція студентів, магістрантів та аспірантів "Галузеві проблеми екологічної безпеки", 24 жовтня 2017, Харків.

2. Алексейчук Д.І., ст., Серікова І.О./ Тенденції розвитку бортових зарядних станцій електромобілів / Тенденції розвитку бортових зарядних станцій електромобілів / Міжнародна науково-практична конференція "Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології та методи підготовки фахівців", 19-20 жовтня 2017 р.

3. Бажинов О.В. Конверсія легкового автомобіля в гібридній. /БажиновО.В.,Двадненко В.Я., Хакім М., – Харків: ХНАДУ, 2014. – 200 с.

4. Бажинов О.В. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Двадненко В.Я., – Харків: ХНАДУ, 2011. – 236 с.

5. Aziz, M.; Oda, T.; Mitani, T.; Watanabe, Y.; Kashiwagi, T. Utilization of Electric Vehicles and Their Used Batteries for Peak-Load Shifting. *Energies* 2015, 8, 3720–3738.

6. Cao, C.; Wang, L.; Chen, B. Mitigation of the Impact of High Plug-in Electric Vehicle Penetration on Residential Distribution Grid Using Smart Charging Strategies. *Energies* 2016, 9, 1024.

7. Tan, L.; Liu, H.; Liu, Z.; Guo, J.; Yan, C.; Wang, W.; Huang, X. Power Stabilization Strategy of Random Access Loads in Electric Vehicles Wireless Charging System at Traffic Lights. *Energies* 2016, 9, 811.

8. Choi, S.Y.; Gu, B.W.; Jeong, S.Y.; Rim, C.T. Advances in wireless power transfer systems for roadway-powered electric vehicles. *IEEE J. Sel. Top. Power Electron.* 2015, 3, 18–36.

9. Shekhar, A.; Prasanth, V.; Bauer, P.; Bolech, M. Economic Viability Study of an On-Road Wireless Charging System with a Generic Driving Range Estimation Method. *Energies* 2016, 9, 76.

10. Nagendra, G.R.; Chen, L.; Covic, G.A.; Boys, J.T. Detection of EVs on IPT highways. *IEEE J. Sel. Top. Power Electron.* 2014, 2, 584–597.

11. Jang, Y.J.; Jeong, S.; Lee, M.S. Initial Energy Logistics Cost Analysis for Stationary, Quasi-Dynamic, and Dynamic Wireless Charging Public Transportation Systems. *Energies* 2016, 9, 483.

12. Chen, Z.; Jing, W.; Huang, X.; Tan, L.; Chen, C.; Wang, W. A Promoted Design for Primary Coil in Roadway-Powered System. *IEEE Trans. Magn.* 2015, 51, 8402004.

13. Chen, W.; Liu, C.; Lee, C.H.; Shan, Z. Cost-Effectiveness Comparison of Coupler Designs of Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Dynamic Charging. *Energies* 2016, 9, 906.

14. Chow, J.P.; Chen, N.; Chung, S.H.; Chan, L.L. An investigation into the use of orthogonal winding in loosely coupled link for improving power transfer efficiency under coil misalignment. *IEEE Trans. Power Electron.* 2015, 30, 5632–5649.

15. Choi, S.Y.; Jeong, S.Y.; Lee, E.S.; Gu, B.W.; Lee, S.W.; Rim, C.T. Generalized models on self-decoupled dual pick-up coils for large lateral tolerance. *IEEE Trans. Power Electron.* 2015, 30, 6434–6445.

16. Kalwar, K.A.; Mekhilef, S.; Seyedmahmoudian, M.; Horan, B. Coil Design for High Misalignment Tolerant Inductive Power Transfer System for EV Charging. *Energies* 2016, 9, 937.

17. Shin, J.; Shin, S.; Kim, Y.; Ahn, S.; Lee, S.; Jung, G.; Jeon, S.; Cho, D. Design and implementation of shaped magnetic-resonance-based wireless power transfer system for roadway-powered moving electric vehicles. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2014, 61, 1179–1192.

18. Kim, J.; Kim, J.; Kong, S.; Kim, H.; Suh, I.; Suh, N.; Cho, D.; Kim, J.; Ahn, S. Coil design and shielding methods for a magnetic resonant wireless power transfer system. *Proc. IEEE* 2013, 101, 1332–1342.

19. Gao, Y.; Farley, K.B.; Tse, Z.T.H. A Uniform Voltage Gain Control for Alignment Robustness in Wireless EV Charging. *Energies* 2015, 8, 8355–8370.

20. Hu, P.; Ren, J.; Li, W. Frequency-Splitting-Free Synchronous Tuning of Close-Coupling Self-Oscillating Wireless Power Transfer. *Energies* 2016, 9, 491.

21. Алексейчук Д.И., ст., Серикова И.А./ Структурная модель зарядной станции электромобилей с повышенным уровнем безопасности \ Автомобіль і Електроніка. Сучасні технології. Електронне наукове фахове видання (друкована версія) № 12/2017;

22. Калантаров П. Л., Цейтлин Л. А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. — 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. —488 с: ил.