ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора кафедри електричного транспорту Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова Далеки Василя Хомича на дисертаційну роботу **Багача Руслана Володимировича** на тему «Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 27 – Транспорт за спеціальністю 274 - Автомобільний транспорт.

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Електрифікація автомобільного транспорту в даний час є одним з основних трендів розвитку світової автомобільної галузі. Розробці електромобілів та зарядних станцій приділяється значна увага дослідниками та виробниками. Майже всі міжнародні автомобільні корпорації (BMW, Opel, Mercedes, Tesla, Nissan) інвестують суттєві кошти в розвиток електромобілебудування. Актуальність дисертаційної роботи визначається необхідністю вирішення науково-практичного завдання з удосконалення методів підвищення екологічності, енергоефективності, безпеки та зручності експлуатації зарядних станцій електромобілів з батареями літій-іонного типу. Таким чином, в дисертаційних дослідженнях було обрано напрямок вирішення проблеми підвищення енергоефективності системи зарядної станції електромобілів шляхом використання активних випрямлячів з режимами активної корекції коефіцієнта потужності.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, що формульовано у дисертації

Результати досліджень викладено у висновках до кожного розділу, а також у 4-х загальних висновках. Відносно обґрунтованості, достовірності та новизни кожного висновку зроблено зауваження.

Висновок перший. Інформує про розроблені автором наукові та технічні рішення, що дозволяють вирішити поставлені завдання. Зауважень немає.

Висновок другий. Інформує про розроблені автором наукові та технічні рішення, що дозволяють вирішити поставленні завдання. Свідчить про важливі результати, що отримані автором і стосуються побудови математичної моделі. Висновок вагомий, має наукову й практичну значимість. Зауваження - немає будь-яких чисельних показників.

Висновок третій. Підтверджує вірність визначеної робочої гіпотези автора про ефективність використання запропонованого активного випрямляча та спрямовує на розширення діапазону досліджень. Висновок також вагомий і свідчить про отримані автором важливі наукові результати. Зауважень немає.

Висновок четвертий. Інформує про результати, що отримано автором, і дає конкретну наукову інформацію для подальшого практичного використання. Дає важливу інформацію про результати експериментальної перевірки запропонованих автором науково-технічних рішень. Інформує про результат моделювання в програмному середовищі Matlab, яке дає наглядне підтвердження ефективності запропонованих дисертантом науково - технічних рішень. Висновок також вагомий і свідчить про отримані автором важливі наукові результати. Зауважень немає.

2. Наукова та практична цінність дисертаційної роботи

Цінним для науки є результати, що отримані автором:

Вперше :

- запропоновано структуру зарядних станцій для електромобілів на базі дворівневого активного чотириквадрантного випрямляча, яка дозволяє реалізувати заряд літієвих батарей в режимі «постійний струм-постійна напруга» (CC-CV), що на відміну від існуючих аналогів дозволить підвищити показники ККД системи зарядної станції та забезпечити вимоги електромагнітної сумісності згідно міжнародних стандартів IEEE-519, IEC 61000-3-2, IEC 61000-4-3, і двонаправлену передачу електричної енергії;

- розроблено аналітичний метод, що описує зарядно-розрядні характеристики літій-іонних тягових акумуляторних батарей для електромобілів, який на відміну від існуючих, враховує залежність напруги, струму та температури батареї від величини її розряду.

Удосконалено:

- метод синтезу регуляторів вихідної та вихідної напруги зарядної станції електромобілів з активними чотириквадрантними випрямлячами, що на відміну від існуючих дозволяє підвищити швидкодію регулювання вихідної напруги та струму.

Отримали подальшого розвитку:

- аналітичний метод визначення інтегрального значення ККД процесу передачі електроенергії при заряді батареї способом CC-CV, що на відміну існуючих дозволяє визначити ККД циклу заряду.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

Робота має теоретичне та практичне значення, результати дисертаційної роботи, (аналітичні співвідношення та комп'ютерні моделі) рекомендуються для практичного використання при модернізації та розробці нових перетворювальних агрегатів зарядних станцій електромобілів з метою підвищення якості електричної енергії та ККД.

Основні наукові положення дисертаційної роботи використані:

- у навчальному процесі ХНАДУ при підготовці бакалаврів та магістрів за освітньо-професійними програмами «Електромобілі та автомобільна електроніка» та «Електромобілі та енергозберігаючі технології»;

- у діяльність компанії «Elcars» використовуються науково-практичні методи підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту в міських умовах експлуатації та застосування енергоефективних технологій на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі;

- у ТОВ «АВТОДОМ ХАРКІВ» впровадження результатів дисертаційних досліджень дозволяють провести побудову зарядних станцій для електромобілів на базі дворівневого активного чотириквадрантного випрямляча;

- у компанії ТОВ «АКУТЕК» результати роботи впроваджені при розробці джерела безперебійного живлення ІБП60К, що містить літій-іонні накопичувачі та має систему автоматичного заряду.

3. Достовірність отриманих результатів підтверджується коректним використанням сучасних методів, теоретичних та експериментальних досліджень, а також – збігом результатів теоретичних та експериментальних досліджень, що отримано в дисертаційній роботі.

4. Оцінка змісту, завершеності та оформлення дисертаційної роботи

Дисертація є завершеною науковою роботою і може бути захищена привселюдно.

Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки і рекомендації, список використаних джерел та додатки.

У вступі відображено актуальність дисертаційної роботи та основні положення, що виносяться на захист.

Зауваження до вступу:

- зауважень немає.

У першому розділі:

- проведений аналіз науково-технічної літератури щодо тенденції розвитку зарядних станцій електромобілів;

- визначено, що існуючі топології зарядних станцій електромобілів зумовлюють багатоступінчасте перетворення електроенергії, що зумовлює втрати потужності на кожному етапі перетворення ;

- проведено аналіз схем напівпровідникових перетворювачів зарядних станцій ;

- виконано аналіз вимог вітчизняних та закордонних стандартів електромагнітної сумісності зарядних станцій з живлячими мережами.

Зауваження до першого розділу:

- в огляді сучасних літієвих акумуляторів можна було б додати огляд літій - титанатних акумуляторів, які мають високі показники швидкодії заряду.

У другому розділі:

- запропоновано структуру зарядної станції електромобілів, яка складається з вхідного трансформатора, трирівневого активного випрямляча та навантаження (еквівалентної моделі блоку літій-іонних батарей електромобіля TeslaModel S) ;

- представлено математичну модель зарядної станції на базі активного чотириквадрантного випрямляча напруги для симетричних та несиметричних робочих умов ;

- визначено, що існуючі математичні моделі літій-іонні акумулятори зумовлюють значні похибки при визначенні розрядних характеристик;

- на основі поліноміальної апроксимації зарядно-розрядних характеристик літій-іонних акумуляторів, розроблені математичні моделі ;

- проведено фізичне моделювання процесів заряду/розряду батареї NCR-18650b для підтвердження її параметрів, яка буде використовуватися в якості навантаження при моделюванні перетворювача для системи заряду електромобіля.

Зауваження до другого розділу:

– в другому розділі представлена математична модель літій-іонного акумулятора типу NCR-18650b, виробництва компанії Panasonic, яка використовується в Matlab / Simulink. Незрозуміло, чи буде ця математична модель працювати з іншими типами літій-іонних батарей чи тільки з тим, що вказаний;

– в описі математичної моделі літій-іонного акумулятора є термін «динамічна експоненціальна зона», але що це таке – не пояснюється.

У третьому розділі:

- для запропонованої схеми зарядної станції електромобілів на базі трифазного активного чотириквадрантного випрямляча виконано синтез системи керування та регулятора вихідного струму та вихідної напруги;

- визначено параметри ковзного регулятора, що виконує функції регулювання вихідної напруги, а також регулювання величини активної та реактивної потужності, що споживається з електричної мережі ;

- визначено параметри спостерігача напруги мережі з алгоритмом компенсації, що забезпечує точні результати з мінімальним коливанням ;

- проведено імітаційне моделювання системи керування регулятора активного випрямляча, заснованого на реалізації ковзного режиму при зміні опору навантаження та зі спостерігачем навантаження за допомогою програмного середовища Matlab / Simulink;

- визначено, що запропонований регулятор зумовлює величину регулювальної вихідної потужності < 3% ;

- визначено, що активний випрямляч забезпечує кращі показники якості електричної енергії з малим значенням коефіцієнта гармонічних спотворень, що не перевищує 4%, та коефіцієнтом потужності близьким до значення 0,99.

Зауваження до третього розділу:

- синтез регулятора вихідного струму та вихідної напруги реалізовано при використанні спостерігача вхідної напруги. Не зрозуміло навіщо це зроблено, адже значення вхідної напруги може бути безпосередньо виміряне.

У четвертому розділі:

- приведено методику розрахунку ККД процесу заряду розглянутої системи ;

- створено математичну модель розраховувача статичних та динамічних втрат енергії ;

- проведено аналіз параметрів якості електроенергії, складових втрат енергії та ККД зарядної станції на інтервалі повного заряду акумулятора при різних струмах заряду та частоті ШІМ ;

- розроблено імітаційну модель запропонованої зарядної станції в програмному середовищі Matlab ;

- проведені дослідження енергетичних показників зарядної станції на базі трирівневого активного випрямляча показали, що коефіцієнт потужності (PF) зарядної станції лежить в межах від 98,5 % до 99,3%. Коефіцієнт гармонічних спотворень (THD) в процесі заряду лежить в межах від 2,5 % до 11,8 %.

Зауваження до четвертого розділу:

- за результатами моделювання роботи зарядного перетворювача в кінці заряду ТНД вхідного струму зарядної станції погіршується та його значення зростає до 11,8 %. Необхідно було пояснити це явище;

- вольт-амперні характеристики та інші характеристики втрат потужності залежать від температури ключа. Треба було б привести для характеристик при якій температурі зроблено апроксимацію характеристик;

- на рис. 4.12 представлено Matlab-модель системи зарядної станції для електромобілів, але не описано принцип її дії та режими роботи.

6. Публікації

Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 19 наукових роботах, у тому числі: 1 монографія; 5 статей у наукових фахових виданнях України та інших держав (з них 1 – у виданнях, що включені до наукометричної бази Scopus (Quartiles – Q2)); 13 тез доповідей у збірниках доповідей на наукових конференціях.

Зміст анотації відповідає змісту дисертаційній роботі.

7. Загальний висновок до дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Багача Руслана Володимировича на тему «Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму» є закінченою науковою роботою, в якій отримані нові, науково обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують задачу створення нових методів підвищення екологічності, енергоефективності, безпеки та зручності експлуатації зарядних станцій електромобілів з батареями літій-іонного типу. За своїм змістом і оформленням дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. №261, п.п. 6, 7, 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44., а її автор, Багач Р.В. заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 274 - «Автомобільний транспорт».

Офіційний опонент
Доктор технічних наук, професор кафедри електричного транспорту Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова

03.07.2024 р. **Василь ДАЛЁКА**

Підпис В. Далека
Засвідчую:
Вчений секретар Хвацька
В.о. Коче - відд. кадрів
"____"

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
№ 26026