

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію «Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму»

здобувача **Багача Руслана Володимировича**,
поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань
27 - «Транспорт» за спеціальністю 274 - «Автомобільний транспорт»

Актуальність теми. Разом з ростом кількості електромобілів виникає питання про створення енергоефективних зарядних станцій та систем зарядних станцій електромобілів, що вимагає високого ККД, коефіцієнта потужності близького до одиниці, високих стандартів електромагнітної сумісності та можливості швидкого заряду. Тому актуальним є покращення показників енергоефективності зарядних станцій, зокрема зниження втрат потужності та емісії вищих гармонік, забезпечення високого коефіцієнта потужності та можливість працювати в режимі регульованого джерела струму та напруги для швидкого заряду.

Метою дисертаційної роботи є розробка методів підвищення енергетичних показників зарядних станцій для електротранспорту шляхом використання активних випрямлячів з корекцією коефіцієнта потужності, що дозволяє покращити характеристики електромагнітної сумісності перетворювачів зарядних станцій електромобілів з мережею електроживлення.

Вирішені наступні задачі для поставленої мети дисертаційної роботи:

1) проаналізовані недоліки та шляхи покращення існуючої топології зарядних станцій електромобілів, а також проведені аналізи вимог вітчизняних та міжнародних стандартів в області електромагнітної сумісності перетворювачів зарядних станцій електромобілів;

2) розроблена електрична схема та математична модель зарядної станції електромобілів на базі трифазного активного випрямляча напруги з широтно-імпульсною модуляцією, також розроблена уточнююча математична модель, яка описує зарядно-розрядні характеристики літій-іонних накопичувачів з урахуванням струму заряду та температури. Отримані вирази підтвердити фізичним дослідом;

3) проведений синтез регулятора вихідної напруги та вихідного струму активного випрямляча зарядної станції, що працює в ковзаючому режимі;

4) виконана розробка комп'ютерної моделі запропонованої топології активного випрямляча зарядної станції та проведенні дослідження енергоефективності та показників електромагнітної сумісності.

Об'єкт дослідження є електромагнітні та енергетичні процеси в перетворювальному агрегаті зарядної станції для електромобілів.

Предмет дослідження є підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, результатів і висновків дисертаційна робота виконана на кафедрі автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Робота виконана відповідно Закону України № 3715-VI від 08.09.2011р. «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», Розпорядженню від 30.05.2018р. № 430-р м. Київ «Про схвалення національної транспортної стратегії України на період до 2030 р.» і є складовою частиною науково-дослідної роботи кафедри автомобільної електроніки. Обґрунтованість та достовірність наукових положень дисертаційної роботи забезпечена коректним використанням сучасних методів теоретичних та експериментальних досліджень; узгодженістю та кореляцією одержаних результатів з результатами теоретичних досліджень та результатами, що отримано іншими авторами у даному напрямку.

Наукова новизна результатів дослідження полягає у наступному:
вперше :

- 1) запропоновано структуру зарядних станцій для електромобілів на базі дворівневого активного чотириквadrантного випрямляча, яка дозволяє реалізувати заряд літєвих 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;
- 2) 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:

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

набув подальшого розвитку:

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

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. Апробація і впровадження зазначених результатів дисертаційних досліджень дозволяє створювати нові силові перетворювачі для зарядних станцій електромобілів з підвищеним ККД;

– у ТОВ «АВТОДОМ ХАРКІВ» впровадження результатів дисертаційних досліджень дозволяють провести побудову зарядних станцій для електромобілів на базі дворівневого активного чотириквadrантного випрямляча. Це забезпечить дотримання вимог електромагнітної сумісності згідно міжнародних стандартів і двонаправлену передачу електричної енергії в зарядній станції.

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

Теоретичну основу дослідження складають наступні положення:

1. Проведений аналіз науково-технічної літератури щодо тенденції розвитку зарядних станцій електромобілів показав, що даний вид перетворювачів перебуває на етапі його розвитку і потребує як вдосконалення, так і розробки нових рішень та методів, що забезпечать його енергоефективність. Проведено аналіз схем напівпровідникових перетворювачів зарядних станцій, який показав, що питання покращення енергоефективності зарядних станцій електромобілів є актуальним і потребує подальшого вдосконалення. Виконано аналіз вимог вітчизняних та закордонних стандартів електромагнітної сумісності зарядних станцій з живлячими мережами, які обмежують коефіцієнт гармонійних спотворень спожитого з мережі струму $< 5\%$.

2. Запропоновано структуру зарядної станції електромобілів, яка складається з вхідного трансформатора, трирівневого активного випрямляча та навантаження (еквівалентної моделі блоку літій-іонних батарей електромобіля TeslaModel S), що забезпечує відносно відомих технічних рішень зарядних станцій покращення параметрів ККД, коефіцієнта потужності та коефіцієнта гармонічних спотворень.

3. Для запропонованої схеми зарядної станції електромобілів на базі трифазного активного чотириквadrантного 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.

4. Приведено методику розрахунку ККД процесу заряду розглянутої системи. На основі поліноміального наближення енергетичних залежностей IGBT-модулів 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. В програмному середовищі Matlab розроблено імітаційну модель запропонованої зарядної станції.

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 положення дисертації представлені на національних та міжнародних конференціях та повністю **опубліковані у фахових виданнях та виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз.**

1. Panchenko, A., Smyrnov, O., Nechaus, A., Trunova, I., Borysenko, A., Sokhin, P., & Bagach, R. (2021). Establishing patterns in the compatible electromagnetic and electromechanical transition processes when the starter is powered by a supercapacitor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(5), 19–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232423> (Scopus, Quartiles – Q2);

2. Гнатов, А. В., Аргун, І. В., Багач, Р. В., Гнатова, Г. А., Тарасова, В. В., & Ручка, О. О. (2021). Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання*, (20), 17–26. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.02>;

3. Нерубацький, В. П., Плахтій, О. А., Гордієнко, Д. А., Філіп'єва, М. В., & Багач, Р. В. (2023). Підвищення точності моделювання перехідних процесів і розрахунку втрат потужності напівпровідникових перетворювачів у програмному середовищі NI Multisim. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, (2), 22–35. <https://doi.org/10.18664/ikszt.v28i2.283312>;

4. Багач, Р. (2023). Дослідження акумуляторних блоків електромобілів та зарядних станцій на основі активного трифазного випрямляча струму. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (24), 62–71. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2023.24.0.2>;

5. Багач, Р. (2024). Підвищення електромагнітної сумісності і енергоефективності зарядної станції електромобілів. *Автомобіль і*

6. Багач Р. (2024). Синтез математичної моделі зарядної станції для електромобілів. *Стале виробництво та споживання у ланцюгах створення вартості : монографія. За заг. ред. А. В. Павличенка та Л. Л. Палехової. Дрезден, 2024.*(с. 205-238);

7. Hnatov, A., Arhun, S., Hnatova, H., Bagach, R., Patlins, A., & Zabasta, A. (2021). Implementation of the double degree master's program on the example of the Erasmus project CybPhys. *Proceedings of the 2021 IEEE 62nd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University* (pp. 277-282). Riga, Latvia: Riga Technical University; Piscataway: IEEE. ISBN 978-1-6654-3805-6, e-ISBN 978-1-6654-3804-9. doi:10.1109/RTUCON53541.2021.9711716;

8. Plakhtii, O., Prokhorova, V., Bagach, R., Zhuchenko, O., Yermilova, N., & Perets, K. (2023). Research of Accumulator Blocks of Electric Vehicles and Charging Station Based on Current Source Rectifier. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)* (pp. 1-6). IEEE. doi:10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312968;

9. Багач, Р.В. (2020). Загальні питання стосовно опалення електромобіля. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології [Збірка матеріалів VII Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції] (23-24 листопада 2020 р., м. Харків) ХНАДУ, 2020.* 36–38;

10. Hnatova, A., Bagach, R., & Sokhin, P. (2021). Economic and environmental impact of electric vehicles. *Proceedings of the Fourth International Scientific and Practical Conference "Automotive Transport and Infrastructure"* (pp. 215-217). Kyiv;

11. Bagach, R. V. (2021). Community safety issues of modern Electric Vehicles in Ukraine. *KhNAHU. Студентство. Наука. Іноземна мова: Збірник наукових праць студентів, аспірантів та молодих науковців* (Vol. 13, No. 2, pp. 125-128). Харків: ХНАДУ;

12. Багач, Р.В. (2021). Перспективи подальшого вдосконалення акумуляторних батарей для електромобілів. Міжнародна науково-практична конференція присвячена 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету "Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців" (pp. 346-349). Харків: ХНАДУ;

13. Багач, Р.В., & Гнатов, А.В. (2022). Енергозбереження у секторі міського електротранспорту. *Тринадцята Міжнародна науково-практична конференція "Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО-2022"* (с. 105–108). Херсон: ХДМА;

14. Багач, Р.В., Ульянець, О.А., Stella Hadjistassou, Irina Ciornei, & Lenos Hadjidemetriou. (2022). Сучасні технології мобільних зарядних станцій для електромобілів. *Збірка матеріалів VIII Міжнародної науково-технічної*

Інтернет-конференції (с. 56–59). ХНАДУ. https://dl2022.khadi-kh.com/pluginfile.php/416773/mod_resource/content/1/%D0%97%D0%B1;

15. Багач, Р.В. (2023). Використання зарядних станцій для електромобілів у Харківській області. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: 14-а Міжнародна науково-практична конференція* (с. 323–327). Херсон: Херсонська державна морська академія;

16. Багач, Р.В. (2023). Загальні проблеми енергетичного забезпечення робототехнічних пристроїв. *XIX міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору”: тези доповідей, 12–13 квітня 2023 року* (с. 527–528). Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба;

17. Багач, Р.В., & Кальченко, О.О. (2023). Перспективи та розвиток літєвих акумуляторів в Україні. *Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., Харків, 25–27 жовт. 2023 р.* (с. 31–34). Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова;

18. Багач, Р.В., Гнатов, А.В., & Аргун, Щ.В. (2024). Використання трифазних активних випрямлячів напруги з функцією рекуперації енергії. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: 15-а Міжнародна науково-практична конференція, 13–15 березня 2024 р.* (с. 128–132). Херсон: Херсонська державна морська академія;

19. Bahach, R. (2024). Study of the efficiency of a charging station for electric vehicles using an active rectifier in a micro-grid system. *A. Pavlychenko & L. Paliekhova (Eds.), Sustainable production and consumption in industry: Challenges and opportunities. Collection of scientific articles* (с. 126–133). Dresden.

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній системі Unicheck) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

Дисертація Багача Р.В. на тему «Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму» відповідає вимогам «Порядку присудження ступеню 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. Дисертація оформлена згідно з вимогами освітньо-наукової програми автомобільний транспорт, яка реалізовується в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті і не суперечить вимогам Наказу МОН України від 17.01.2017 року №40.

Висновок

Дисертація Багача Р.В. на тему «Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму» за рівнем теоретичної обґрунтованості, новизною та практичним значенням її результатів є завершеною самостійно виконаною працею, а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 27- «Транспорт» за спеціальністю 274 - «Автомобільний транспорт».

Рецензент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула
Харківського національного автомобільно-дорожнього
університету

 Олексій САРАЄВ

Підпис Сарасєва О.В. підтверджую
Проректор з НПР  