

зарядних пристроїв електромобілів для реалізації технології V2X. Наведені відомості дозволяють здійснити вибір схеми перетворювача залежно від бажаних вихідних даних: величини напруги тягової акумуляторної батареї, робочого струму перетворювача у різних режимах роботи, коефіцієнту корисної дії, питомої потужності перетворювача, коефіцієнту підвищення напруги, частоти комутації та кількості напівпровідникових ключів. Обрана схема перетворювача потребує подальших досліджень з метою визначення оптимальних параметрів компонентів схеми, вибору методу керування, оцінки якості напруги на вході та виході, а також умов роботи окремих елементів.

Література

1. **Tong Y. et al.** Bidirectional DC-DC Converter Topologies for Hybrid Energy Storage Systems in Electric Vehicles: A Comprehensive Review. *Energies*. 2025. Vol. 18, no. 9. 2312. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18092312>.
2. **Sharma P., Palwalia D., Sharma A.** A REVIEW: BI-DIRECTIONAL DC-DC CONVERTER TOPOLOGIES. *International Journal of Technical Research & Science*. 2024. Vol. 9. P. 27–35. DOI: <https://doi.org/10.30780/specialissue-ISET-2024/029>.
3. **Farajdadian S., Hajizadeh A., Soltani M.** Recent developments of multiport DC/DC converter topologies, control strategies, and applications: A comparative review and analysis. *Energy Reports*. 2024. Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.12.054>.
4. **Leontiev D. et al.** Regarding the efficiency of using solar panels of low power to obtain maximum charging current for batteries vehicle. *AIP Conf. Proc.* 5 June 2025; 3238 (1): 050009. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0248928>

УДК 621.314

ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОЛЬОВАНИХ ДВОНАПРАВЛЕНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ГІБРИДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Нечаус Андрій Олександрович, канд. техн. наук, доцент каф. АЕ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: nehaus@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8833-0802

Сербінов Іван Андрійович, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: Zawdizel@gmail.com

Для реалізації технології V2X, тобто використання тягової акумуляторної батареї електромобіля як накопичувача електричної енергії, яка може бути використана для живлення зовнішніх споживачів, силова електроніка електромобіля повинна бути побудована з можливістю передачі електричної енергії у двох напрямках – споживання з мережі та передачі у мережу. При цьому перетворювачі бортових зарядних пристроїв називають двонаправленими.

Двонаправлені перетворювачі знаходять використання не тільки у бортових гібридних електричних системах електромобілів [1], а й у сучасних системах електропостачання, заснованих на відновлюваних джерелах та електрохімічних накопичувачах електричної енергії [2]. Зважаючи на те, що одним з напрямів підвищення енергоємності та зменшення зарядного струму тягової акумуляторної батареї є збільшення величини напруги, більш прийнятними для застосування у електромобілях слід вважати, так звані, ізольовані схеми двонаправлених перетворювачів. Використання високочастотного трансформатора у схемі забезпечує гальванічну розв'язку, що відповідає вимогам електробезпеки, а також значно розширює діапазон відмінності номіналів напруги первинного та вторинного кіл перетворювача.

Згідно класифікацій ізольованих двонаправлених перетворювачів, наведених у літературі [1, 2], розрізняють чотири класичні схеми: зворотногоходовий перетворювач (flyback), двотактний перетворювач (push-pull), інвертуючий імпульсний перетворювач (Cuk), прямоходовий перетворювач (forward); та чотири новітні схеми: двоактивний перетворювач (DAB), двоактивний півмостовий перетворювач (DHB), півмостовий-повномостовий перетворювач (HFB), багатополюсний двоактивний мостовий перетворювач (MDAB).

Порівняти перетворювачі для визначеного застосування можливо за декількома критеріями, серед яких можна виділити: кількість силових ключових елементів, конструкція високочастотного трансформатора, потреба у додаткових реактивних елементах – котушках індуктивності та конденсаторах, тощо. Крім особливостей побудови, різні схеми мають ряд особливостей робочих характеристик, які визначають переважні області їх застосування.

Наприклад, зворотногоходовий перетворювач має просту будову, але при цьому вхідний струм має значні пульсації, його рекомендовано застосовувати при невеликих потужностях; двотактний перетворювач має високу ефективність при симетричному керуванні, однак це підвищує вимоги до системи керування, його рекомендовано застосовувати при середніх потужностях; інвертуючий імпульсний перетворювач має низький рівень пульсацій по входу та по виходу, при цьому кількість складових прийнятна; прямоходовий перетворювач забезпечує високий ККД, при цьому має обмеження щодо робочого циклу силових ключів; двоактивний перетворювач має високу ефективність у широкому діапазоні напруг, його рекомендовано застосовувати при великих потужностях.

Також, на ефективність роботи двонаправленого перетворювача впливає метод керування. Розглянуто особливості та рекомендації щодо застосування наступних методів: керування фазовим зсувом (PSC), розширене керування фазовим зсувом (EPSC), потрійне керування фазовим зсувом (TPSC), керування реактивною потужністю, модельно-прогнозне керування (MPC); керування режимом пікового струму (PCMC); керування режимом ковзання (SMC); комутація при нульовій напрузі/струмі (ZVS/ZCS); просторово-векторна модуляція (SVM); частотна модуляція.

PSC забезпечує м'яке перемикання ключів, зменшуючи втрати на перемикання та підвищуючи загальну ефективність, мінімізує електромагнітні перешкоди. ZVS/ZCS мінімізують втрати на комутацію, значно підвищують ефективність та зменшують теплове навантаження на силові ключі, що дозволяє підвищити питому потужність перетворювача.

Таким чином, задача вибору схеми двонаправленого перетворювача для силової електроніки електромобіля перетинається з задачею вибору методу керування, що обумовлює невизначеність у остаточному технічному рішенні і служить підґрунтям подальших досліджень.

Висновки

Двонаправлені силові напівпровідникові перетворювачі є ключовим елементом бортових зарядних систем електромобілів, які дозволяють реалізувати технології V2X. Зважаючи на певні переваги ізольованих схем двонаправлених перетворювачів стосовно електромобілів, основна увага дослідження спрямована саме на них. Визначено переваги та недоліки окремих схем перетворювачів з точки зору параметрів передаваної електричної енергії, складності схем та їх впливу на масо-габаритні показники бортового зарядного пристрою. Наведені відомості дозволяють визначити шляхи подальшого вдосконалення та покращення характеристик ізольованих двонаправлених перетворювачів.

Література

1. **Tong Y. et al.** Bidirectional DC-DC Converter Topologies for Hybrid Energy Storage Systems in Electric Vehicles: A Comprehensive Review. *Energies*. 2025. Vol. 18, no. 9. 2312. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18092312>.
2. **Sharma P., Palwalia D., Sharma A.** A REVIEW: BI-DIRECTIONAL DC-DC CONVERTER TOPOLOGIES. *International Journal of Technical Research & Science*. 2024. Vol. 9. P. 27–35. DOI: <https://doi.org/10.30780/specialissue-ISET-2024/029>.
3. **Leontiev D. et al.** Regarding the efficiency of using solar panels of low power to obtain maximum charging current for batteries vehicle. *AIP Conf. Proc.* 5 June 2025; 3238 (1): 050009. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0248928>