

Modes for Electric Vehicles. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 68. 10.1109/TIE.2020.3042162.

4. Basu, Arka & Mukherjee, Subhajyoti. (2021). Analysis and Design of a Multiport Converter based Integrated On-board Charger for Electric Vehicle Powertrains. 1661-1668. 10.1109/ECCE47101.2021.9595435.

5. Mukherjee, Subhajyoti & Rallabandi, Vandana. (2025). Integrated Multiport Conductive and Wireless Architecture for Electric Vehicle Charging. 1-6. 10.1109/ITEC63604.2025.11098068.

Науковий консультант Нечаус А.О., доцент кафедри автомобільної електроніки, канд. техн. наук

Кушнаренко Максим Євгенович, ст. гр. АЕ-42-22
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
astral2057@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕІЗОЛЬОВАНОГО ДВОНАПРАВЛЕНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ СИСТЕМИ V2X

У зв'язку з швидким поширенням електромобілів та розвитком технологій у їх виробництві до систем їх заряду ставляться все більш суворі вимоги, однією з яких є забезпечення можливості їх роботи за технологією V2X. Основним елементом зарядної системи електромобіля є перетворювач постійного струму (DC-DC). Доступні публікації щодо досліджень схемних рішень двонаправлених перетворювачів постійного струму залишаються відносно обмеженими. Зокрема, досліджень, що стосуються вторинно-підвищувальних та гібридних двонаправлених перетворювачів постійного струму досить мало, що свідчить про значні можливості для подальших досліджень у цій галузі.

Серед сучасних схемних рішень неізольованих двонаправлених перетворювачів постійного струму розрізняють чотири схеми, які вважаються класичними, та чотири схеми, які відносять до новітніх. Кожна з цих схем має унікальні характеристики, які задовольняють вимоги різних галузей застосування. Однак їх практична реалізація супроводжується проблемами, пов'язаними з ефективністю, щільністю потужності, вартістю та адаптивністю.

У таблиці 1 наведено порівняння різних типів неізольованих двонаправлених перетворювачів постійного струму.

Методи керування двонаправлених перетворювачів постійного струму:

- керування фазовим зсувом (PSC);
- розширене керування фазовим зсувом (EPSC);
- потрійне керування фазовим зсувом (TPSC);
- керування реактивною потужністю;
- модельно-прогнозуюче керування (MPC);
- керування у режимі максимального струму (PCMC);
- керування у режимі ковзання (SMC);

- перемикання при нульовій напрузі (ZVS);
- перемикання при нульовому струмі (ZCS);
- просторова векторна модуляція (SVM);
- частотна модуляція.

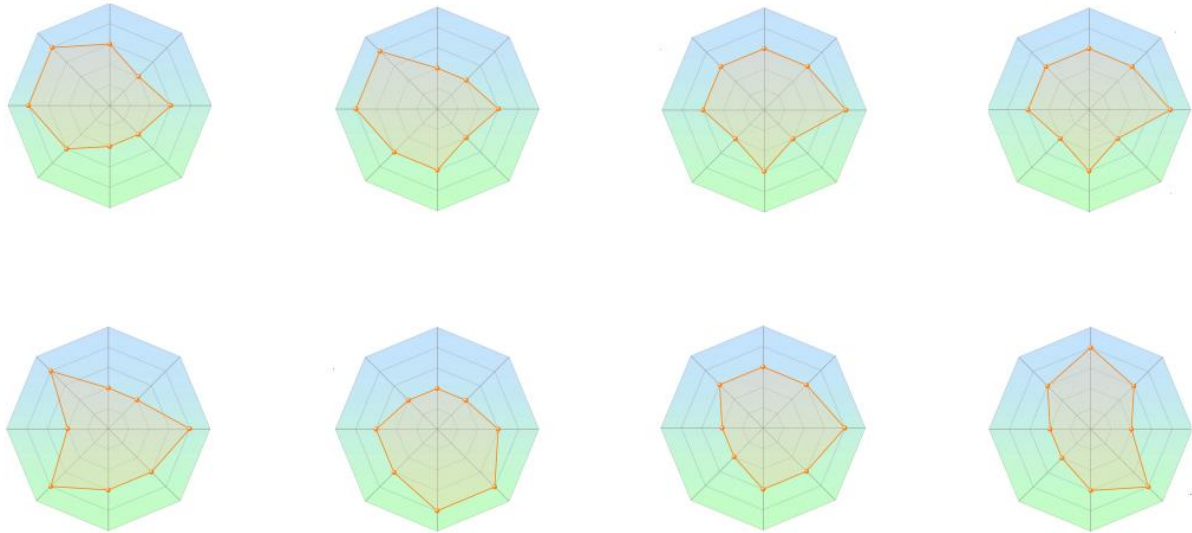
Критерії оцінки двонаправлених перетворювачів служать орієнтирами для оцінки переваг та недоліків різних схем, особливо у гібридних системах. Ці системи висувають суворі вимоги до продуктивності двонаправлених перетворювачів, причому показники оцінки охоплюють кілька аспектів, включаючи теплові характеристики, швидкість динамічної реакції, коефіцієнт перетворення напруги, пульсації вхідного струму, навантаження елементів схеми по напрузі та по струму, ефективність перетворення, щільність потужності, кількість елементів, коефіцієнт перетворення напруги та наявність спільної точки заземлення.

Таблиця 1.2 – Порівняння неізолюваних двонаправлених перетворювачів постійного струму

Схема	Коефіцієнт передачі	Індуктивності	Конденсатори	Вентилі	Особливості
Buck & Boost	$1/(1-d)$	1	2	2	Проста конструкція та експлуатація; Переривчастий вхідний струм
Buck-Boost	$-d/(1-d)$	2	2	2	Забезпечує як підвищення, так і пониження напруги; Створює інвертовану вихідну напругу
Ćuk	$-d/(1-d)$	2	3	4	Згладжує вхідний та вихідний струм; Зменшує пульсації
SEPIC/Zeta	$d/(1-d)$	2	3	2	Неінвертована вихідна напруга; Мінімізує пульсації вхідного та вихідного струму
Interleaved	$1/(1-d) \ n=2$	n	2	$2n=4$	Зменшує пульсації струму та струмове навантаження на елементи; Підходить для застосувань з високою потужністю
Three-Level	$2/(1-d)$	1	3	4	Компактна конструкція без індуктивностей; Забезпечує власне балансування напруги
Cascaded	$1/(1-d)$	1	2	4	Високий коефіцієнт посилення напруги; Зниження струмового навантаження на елементи
Switched-Capacitor	2	0	3	4	Компактний та легкий; Потребує точного керування зарядом конденсатора

Ці показники не лише відображають практичні експлуатаційні характеристики перетворювачів, але й безпосередньо впливають на стабільність, ефективність та надійність системи. На основі цих критеріїв оцінки обрано вісім найбільш впливових факторів для комплексної оцінки продуктивності різних схемних рішень у практичних застосуваннях, що визначає основу для проектування та вибору двонаправлених перетворювачів у гібридних системах. Важливо підкреслити, що переваги та недоліки різних схемних рішень є відносними – жодна схема не має найвищих значень всіх

показників оцінювання. Радарні діаграми, наведені на рисунку 1 відображають властивості восьми типів неізольованих двонаправлених перетворювачів постійного струму за відповідними критеріями оцінки.



1 – напруга; 2 – струмове навантаження; 3 – ефективність перетворення;
4 – щільність потужності; 5 – діапазон підсилення напруги; 6 – частота перемикання;
7 – кількість компонентів; 8 – наявність спільного заземлення;
а – Buck & Boost; б – Buck-Boost; в – Ćuk; г – SEPIC/Zeta; д – Interleaved; е – Three-Level;
ж – Cascaded; з – Switched-Capacitor

Рисунок 1 – Радарні діаграми властивостей неізольованих двонаправлених перетворювачів постійного струму

Висновки

Проведено аналіз двонаправлених неізольованих DC-DC-перетворювачів для систем заряду електромобілів з реалізацією технології V2X.

Проведено аналіз сучасних методів керування двонаправленими неізольованими DC-DC-перетворювачами. Наведено перелік методів та пояснення доцільності їх застосування для різних схем перетворювачів.

Застосування наведеної інформації дозволяє окреслити основні напрямки роботи щодо проектування двонаправлених неізольованих DC-DC-перетворювачів для систем заряду електромобілів з реалізацією технології V2X.

Література

1. Tong, Y., Salhi, I., Wang, Q., Lu, G., & Wu, S. (2025). Bidirectional DC-DC Converter Topologies for Hybrid Energy Storage Systems in Electric Vehicles: A Comprehensive Review. *Energies*, 18(9), 2312. <https://doi.org/10.3390/en18092312>.
2. Sharma, Piyush & Palwalia, Dheeraj & Sharma, Ashok. (2024). A REVIEW: BI-DIRECTIONAL DC-DC CONVERTER TOPOLOGIES. *International*

3. Farajdadian, Shahriar & Hajizadeh, Amin & Soltani, Mohsen. (2024). Recent developments of multiport DC/DC converter topologies, control strategies, and applications: A comparative review and analysis. Energy Reports. 11. 10.1016/j.egy.2023.12.054.

Науковий консультант Нечаус А.О., доцент кафедри автомобільної електроніки, канд. техн. наук

Лосєв Владислав Сергійович, студент гр. АЕ-42-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРНЕТУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Концепція Інтернету акумуляторних батарей ІоВ (від англ. Internet-of-batteries (IoB)) для електромобілів нещодавно з'явилася та пропонує великий потенціал для контролю та оптимізації використання акумуляторних батарей в електромобілях. Ця концепція, яка поєднує аспекти Інтернету речей ІоТ (від англ. Internet of Things (IoT)) та штучного інтелекту, з найновішими досягненнями в технологіях акумуляторів та хмарних обчисленнях, може надати безліч нової інформації про стан та ефективність акумуляторних батарей електромобілів. Цю інформацію можна використовувати для покращення управління акумуляторами кількома способами, включаючи безперервний прогноз стану акумуляторів в батареї та покращене управління.

Інтернет акумуляторних батарей ІоВ здійснює збір даних у режимі реального часу з акумуляторів електромобілів, таких як напруга, струм та температура. Потім ці дані передаються на хмарний сервер, де використовуються передові хмарні обчислення та машинне навчання для:

- оцінки стану та аналіз фізико-технічного стану батарей, включаючи визначення рівня заряду SOC (від англ. State of Charge (SOC)), залишкової енергії SOE (від англ. State of Energy (SOE)), загального технічного стану SOH (від англ. State of Health (SOH)), доступної потужності SOAP (від англ. State of Available Power (SOAP)) тощо;

- прогнозування залишкового терміну служби RUL (від англ. Remaining Useful Life (RUL)) акумулятора та виявлення моделей деградації [1], перш ніж вони призведуть до його виходу з ладу та інша прогнозна аналітика;

- діагностики несправностей [2] акумуляторних батарей електромобілів, тому що раннє виявлення потенційних ризиків для безпеки, таких як тепловий вихор або внутрішні короткі замикання є критично важливою проблемою;

- інтелектуального управління та оптимізації протоколів заряджання та розряджання для подовження загального терміну служби та ефективності акумуляторної батареї.