

2. **Rajendran G. et al.** Bridging Innovation and Sustainability: The Strategic Role of High-Efficiency Motors in Advancing Industry 5.0. *Energies*. 2026. Vol. 19. 1003. DOI: <https://doi.org/10.3390/en19041003>.

3. **Samanta P. et al.** A comparative review of radial and axial Flux PMSMs: Innovations in topology, design, and control. *Franklin Open*. 2025. Vol. 12. 100341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fraope.2025.100341>.

4. **Patterson D. et al.** A comparison of radial and axial flux structures in electrical machines. *2009 IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC '09)* : [conference paper]. 2009. P. 1029–1035. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEMDC.2009.5075331>.

5. **Bhuvaneshwari V., Carounagarane C.** Characteristic Stability Analysis of Axial Flux Motors in Comparison with Radial Flux Motors Subjected to EV Application. *2023 IEEE 3rd International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SeFeT)*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/PESGRE58662.2023.10404745>.

УДК 621.314

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ПИТОМОЇ ПОТУЖНОСТІ ТЯГОВИХ ІНВЕРТОРІВ 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

Божко Артем Вадимович, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: artem.bozhko39@gmail.com

Питома потужність напівпровідникових перетворювачів силових установок електромобілів визначає як масо-габаритні показники самої силовій установки, так і технічні характеристики електромобіля в цілому [1]. Як показує аналіз наукової періодики, переважна увага у покращенні питомих характеристики перетворювачів приділяється конденсатору ланки постійного струму високовольтної тягової батареї, який призначений для зменшення пульсацій напруги, і займає близько 30 % загального об'єму перетворювача. Зменшення об'єму конденсатора пропонується вирішувати двома шляхами. Перший напрямок передбачає використання багатофазних схем інверторів [2 – 4], другий – використання, так званих, сегментованих інверторів [5, 6].

Багатофазний інвертор дозволяє розподілити перетворювану потужність між декількома фазами живлення тягового двигуна, при цьому зменшується величина струму у кожній фазі порівняно з традиційними трифазними системами, що при різних схемах дозволяє зменшити об'єм конденсатора на 10 % або 25 %. Сегментований інвертор, являє собою інвертор у якому кожна фаза розщеплена на дві паралельні гілки, що також зменшує струми у кожному окремому колі, і дозволяє зменшити об'єм конденсатора на 50 %, а, при застосуванні спеціальних методів керування [6], ще додатково на 38 %.

Більш привабливими з точки зору технічної реалізації та розробленості можна виділити класичну мостову схему шестифазного інвертора та інвертора з дев'ятьма ключами. Остання використовує меншу кількість силових транзисторів, що обумовлює її економічні переваги. Однак, при цьому виникають додаткові проблеми, пов'язані з гармонійним складом напруг та струмів. Крім того, при використанні цих схем, можливе застосування різних методів керування, які у більш загальному вигляді поділяють на широтно-імпульсну модуляцію на основі несучої та просторово-векторну широтно-імпульсну модуляцію.

Сегментований інвертор, порівняно з класичною схемою, містить подвійний набір силових ключів, які можуть керуватися синфазно або окремо для формування оптимальних фазних напруг інвертора у векторному просторі, що забезпечує додаткове зменшення пульсацій.

Таким чином, вибір схемної реалізації тягового інвертора, а також методу його керування, вимагає проведення додаткових досліджень, на підставі яких можливо обґрунтувати застосування конкретних рішень для визначених застосувань. Крім визначення пульсацій напруги шини постійного струму високовольтної тягової батареї та її гармонійного складу, що визначає вимоги до конденсатора, розглядаються питання максимально допустимої потужності навантаження для різних схем інверторів.

Складність методів керування визначає обчислювальне навантаження системи керування та її апаратну і програмну побудову. Зменшення струмів окремих гілок перетворювача покращує умови роботи силових вентилів, підвищуючи надійність їх роботи, зменшуючи втрати та вимоги до систем охолодження. При цьому, важливим є питання електромагнітної сумісності електронних компонентів, яка також підвищується порівняно з традиційними схемами. Також, зменшення струмів дозволяє зменшити перерізи проводів, що має технічний та економічний вплив на вихідні характеристики інвертора, за рахунок зменшення витрат провідникових матеріалів.

Висновки

Наведено результати комп'ютерного моделювання шестифазного інвертора, інвертора з дев'ятьма ключами та сегментованого інвертора. Для керування багатофазними інверторами застосовано широтно-імпульсна модуляція на основі несучої та просторово-векторна широтно-імпульсна модуляція. Для керування сегментованим інвертором застосовано традиційне керування та просторово-векторна модуляція сегментів. Отримані результати дозволяють оцінити варіанти побудови силової схеми інвертора та методу керування для конкретних застосувань.

Література

1. **Бороденко Ю. М., Гнатов А. В., Аргун Ш. В.** Мехатронні системи автомобіля : підручник. Харків : ХНАДУ, 2023. Ч. 1 : Силовий привід. 300 с.
2. **Taha W. et al.** Multiphase Traction Inverters: State-of-the-Art Review and Future Trends. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 4580–4599. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3141542>.

3. **Medina-Sánchez M. et al.** Carrier Phase-Shift PWM With Minimum Stator Current-Ripple RMS for Symmetrical Six-Phase Induction Motor Drives With Nearly Sinusoidal Winding Distribution. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2025.3565805>.
4. **Butt O. et al.** Simulative Study to Reduce DC-Link Capacitor of Drive Train for Electric Vehicles. *Energies*. 2022. Vol. 15. 4499. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15124499>.
5. **Su G.-J. et al.** A High-Power Density Segmented Traction Drive Inverter. *2023 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*. 2023. P. 1825–1830. DOI: <https://doi.org/10.1109/ECCE53617.2023.10361985>.
6. **Xue L., Su G.-J., Ozpıneci B.** DC-Ripple-Energy Adaptive-Minimization (DREAM) Modulation Scheme for a High Power Density Inverter. *2021 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*. 2021. P. 186–191. DOI: <https://doi.org/10.1109/APEC42165.2021.9487324>.

УДК 621.314

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО БОРТОВОГО ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

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

Журавльов Євген Ігорович, студент, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, e-mail: evgeniy.zhuravlev2312@gmail.com

Використання бортових зарядних пристроїв у електромобілях значно знижує їх залежність від наявності спеціальної інфраструктури зарядних станцій. У випадку можливості заряду від однофазної побутової електричної мережі, бортовий зарядний пристрій повинен мати напівпровідниковий коректор потужності та ізольований перетворювач постійного струму, який, своєю чергою, складається з двох однофазних мостових інверторів та трансформатора [1–3]. У даній схемі загальна кількість напівпровідникових ключів дорівнює дванадцяти, що відповідає такій же кількості ключів двох трифазних інверторів. Тобто, якщо мова йде про інтегрований бортовий зарядний пристрій, коли використовуються окремі елементи тягової силової електроніки у складі зарядного пристрою, його можна побудувати шляхом перепідключення елементів силових інверторів двомоторного електромобіля. Подібні рішення, не є новими і розглядаються у проаналізованій літературі [2 – 5].

До розгляду прийнято традиційну трифазну мостову схему тягового інвертора, яка складена з шести ключів. Хоча сучасні дослідження орієнтовані на багатофазні системи, у рамках визначеної задачі, проектування системи керування інтегрованим зарядним пристроєм значно спрощується. Відповідно, пропонується дві фази першого інвертора, тобто чотири ключі, використовуюва-