

23. Мигаль, В. Д., Аргун, Щ. В., Гнатов, А. В., Гнатова, Г. А., & Сохін, П. А. (2022). Інтелектуальне діагностування транспортних засобів. 72–80. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.5>.
24. Gnatov, A., Argun, S., & Ulyanets, O. (2017, May). Joint innovative double degree master program «Energy-saving technologies in transport». In 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) (pp. 1203-1207). IEEE.
25. Gnatov, A., Argun, S., & Rudenko, N. (2017, May). Smart road as a complex system of electric power generation. In 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) (pp. 457-461). IEEE.
26. Hnatov, A., Patlins, A., Arhun, S., Kunicina, N., Hnatova, H., Ulianets, O., & Romanovs, A. (2020, September). Development of an unified energy-efficient system for urban transport. In 2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon) (pp. 248-253). IEEE.
27. Migal, V., Arhun, S., Hnatov, A., Dvadnenko, V., & Ponikarovska, S. (2019). Substantiating the criteria for assessing the quality of asynchronous traction electric motors in electric vehicles and hybrid cars. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 36(10), 989-999.
28. Hnatov, A., Arhun, S., Ulyanets, O., & Ponikarovska, S. (2018, April). Ultracapacitors electrobus for urban transport. In 2018 IEEE 38th international conference on electronics and nanotechnology (ELNANO) (pp. 539-543). IEEE.
29. Bogajevskiy, A., Arhun, S., Hnatov, A., Dvadnenko, V., Kunicina, N., & Patlins, A. (2019, October). Selection of methods for modernizing the regulator of the rotation frequency of locomotive diesels. In 2019 IEEE 60th international scientific conference on power and electrical engineering of Riga technical university (RTUCON) (pp. 1-6). IEEE.

Науковий консультант: д.т.н., проф. Гнатов А.В., зав. каф. Автомобільної електроніки.

Журавльов Євген Ігорович, ст. гр. АЕ-46-22
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
evgeniy.zhuravlev2312@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО БОРТОВОГО ЗАРЯДНОГО ПРИБОРУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Так звані, інтегровані зарядні пристрої використовують існуючі компоненти енергетичної установки електромобіля (електродвигун та інвертор) у системі заряду тягового акумулятора замість окремого зарядного кола. При цьому обмотки двигуна використовуються як індуктивності фільтрів та/або як обмотки трансформатора, який забезпечує гальванічну розв'язку. Силові

вентилі тягового інвертора використовуються як ключові елементи двонаправленого перетворювача напруги (струму).

Ефективність інтегрованих зарядних пристроїв обумовлюється деякими технічними вимогами, які включають зменшення кількості перекомутуючих елементів, виключення виникнення крутного моменту двигуна, забезпечення якості напруги на вході та виході системи. Задоволення цих вимог значною мірою залежатиме від типу двигуна, кількості фаз та використовуваного перетворювача.

Запропонована схема інтегрованого бортового зарядного пристрою наведена на рисунку 1. Дана схема повторює схему енергетичної установки електромобіля, при цьому на ній вказано призначення окремих груп вентилів як складових бортового зарядного пристрою. Також схема доповнена високочастотним трансформатором (T) та індуктивністю L перетворювача постійного струму DC/DC. Перемикачі K_1 та K_2 призначені для перекомутації схеми при переводі силової електроніки у режим заряду.

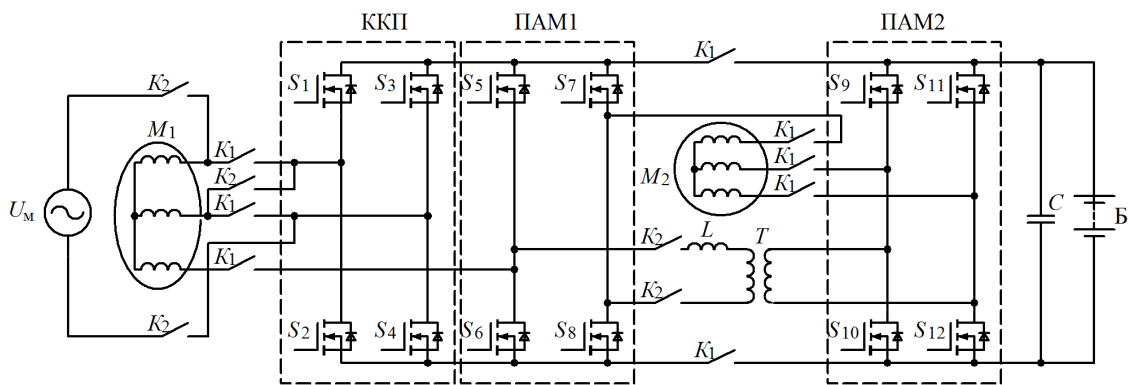


Рисунок 1 – Схема гібридна силової електроніки

Традиційно перетворювачі зі складу зарядної системи електромобіля будуються на основі IGBT-транзисторів, тоді як тяговий інвертор будується на основі потужних MOSFET-транзисторів. Крім того, система керування цих окремих перетворювачів ґрунтується на різних робочих частотах. В такому разі як задачу дослідження сформульовано порівняння характеристик роботи різних силових вентилів у складі напівпровідникового перетворювача.

Дослідження проведене у програмному середовищі MATLAB/SIMULINK. Для проведення досліду створена простіша модель на основі блоку Converter. Схема моделі наведена на рисунку 2.

Основним елементом моделі є блок Converter, який було обрано через можливість програмної заміни у ньому типу силового напівпровідникового ключового елементу.

У дослідженні поставлена задача порівняння напівпровідникових перетворювачів напруги на базі різних силових вентилів. Блок Converter дозволяє шляхом перемикання здійснювати відповідні заміни.

Також центральною підсистемою створеної моделі є система керування вентилями Control. Підсистема містить блоки DC-DC Voltage Controller та PWM Generator з бібліотеки елементів SIMULINK.

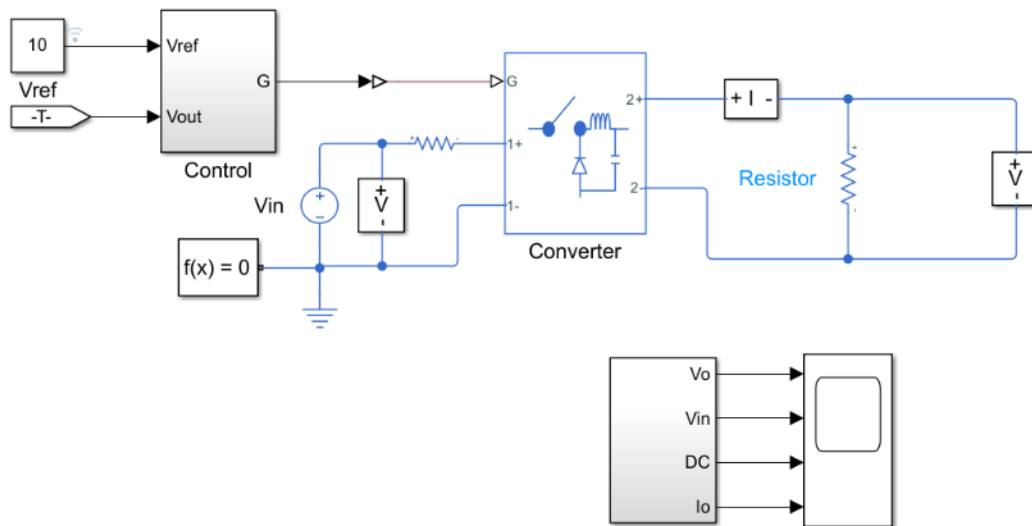


Рисунок 2 – Схема дослідної моделі у програмному середовищі MATLAB/SIMULINK

Методика дослідження полягала у визначенні впливу величини коефіцієнта перетворення на перехідний процес вмикання перетворювача на навантаження до виходу на номінальний режим роботи для коефіцієнтів перетворення 0,9, 0,5 та 0,1, а також визначенні впливу несучої частоти системи керування при зменшеній, номінальній та збільшеній частоті. Досліди були проведені для перетворювача на основі IGBT-транзисторів у традиційному виконанні та для перетворювача на основі MOSFET-транзисторів у випадку їх використання для системи заряду електромобіля.

Результати досліджень наведено у вигляді осцилограм напруги, наведених на рисунках 3 – 4.

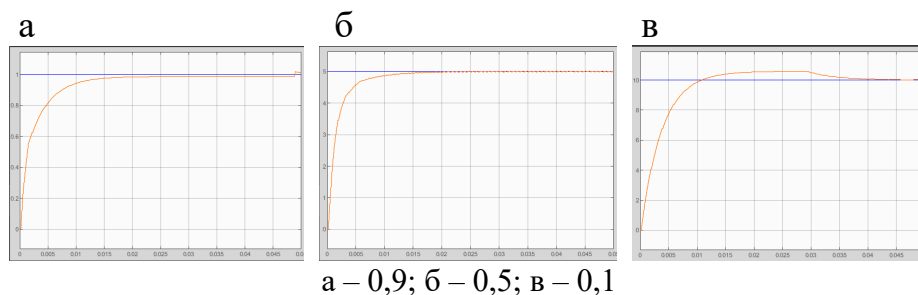
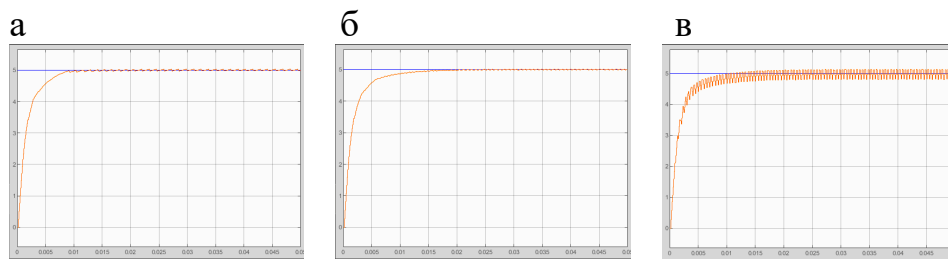


Рисунок 3 – Перехідний процес вмикання перетворювача на основі IGBT при різних коефіцієнтах перетворення

З рисунку 3 видно, що кращий перехідний процес має місце при коефіцієнті перетворення 0,5. При більших значеннях перехідний процес затягується у часі, а при менших – має місце пере регулювання та ще більше затягування перехідного процесу.



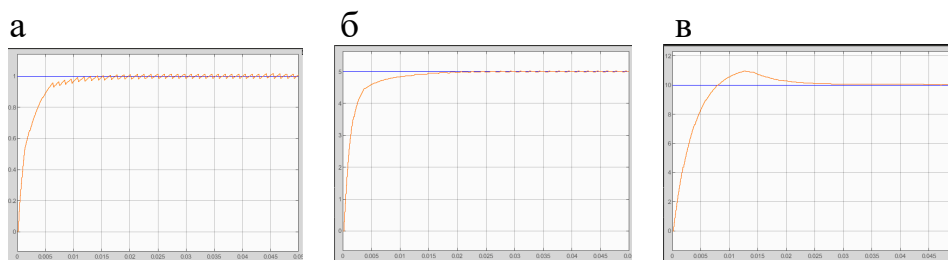
а – вища; б – номінальна; в – нижча

Рисунок 4 – Перехідний процес вмикання перетворювача на основі IGBT при різних величинах несучої частоти

З рисунку 4 видно, що кращий перехідний процес має місце при завищені несучій частоті, при цьому час перехідного процесу скорочується. При заниженій частоті – спостерігається погіршення якості напруги як у ході перехідного процесу, так і після його завершення.

Як проміжний висновок можна відмітити, що вищу якість напруги перетворювач на основі IGBT-транзисторів має при коефіцієнтах перетворення близьких до 0,5. Покращити властивості перетворювача можна шляхом збільшення несучої частоти.

Аналогічні дослідження для перетворювача на основі MOSFET-транзисторів наведені на рисунках 5 – 6.



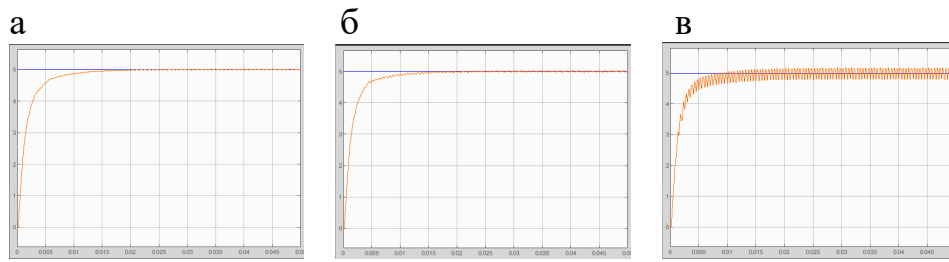
а – 0,9; б – 0,5; в – 0,1

Рисунок 5 – Перехідний процес вмикання перетворювача на основі MOSFET при різних коефіцієнтах перетворення

Як і для перетворювача на основі IGBT-транзисторів можна зробити проміжний висновок. Вищу якість напруги перетворювач забезпечує при коефіцієнтах перетворення близьких до 0,5, при вищих коефіцієнтах якість напруги погіршується, а при нижчих – настає пере регулювання, і подовження перехідного процесу. Покращити властивості перетворювача можна шляхом збільшення несучої частоти ШІМ-регулятора.

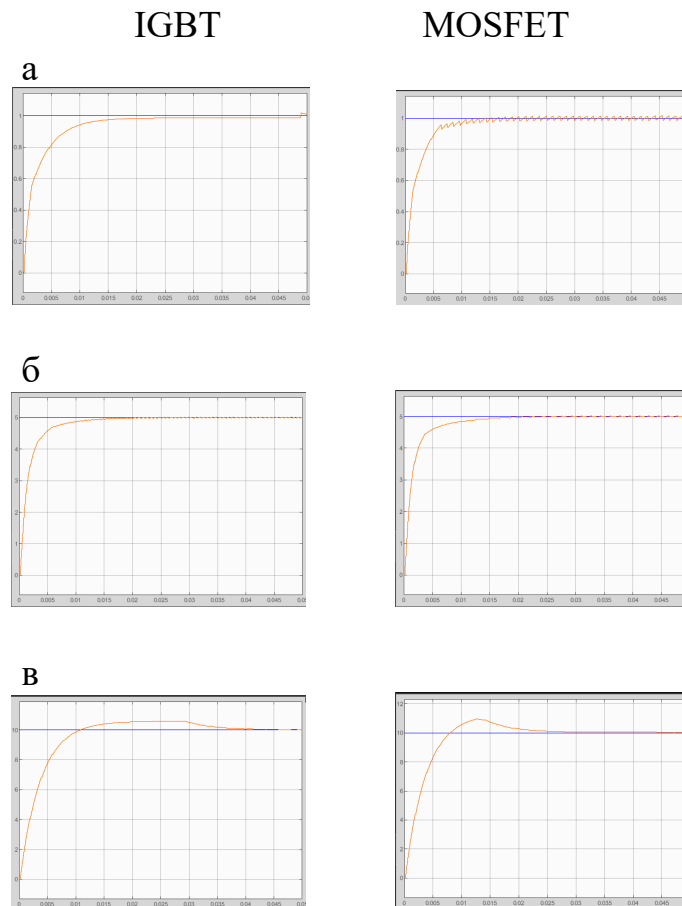
Порівняння властивостей перетворювачів наведено на рисунку 7 та рисунку 8.

З рисунку 7 видно, що перетворювач на базі MOSFET-транзисторів поступається перетворювачу на базі IGBT-транзисторів як за якістю вихідної напруги, так і за тривалістю перехідного процесу, за виключенням випадку роботи з малими коефіцієнтами перетворення.



а – вища; б – номінальна; в – нижча

Рисунок 5 – Перехідний процес вмикання перетворювача на основі MOSFET при різних величинах несучої частоти

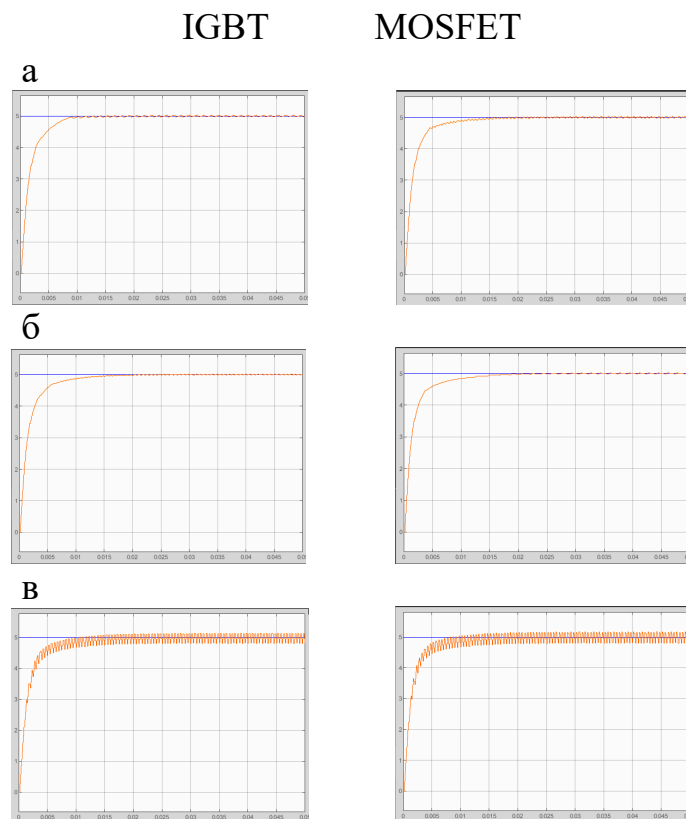


а – 0,9; б – 0,5; в – 0,1

Рисунок 7 – Перехідний процес вмикання перетворювачів при різних коефіцієнтах перетворення

З рисунку 8 видно, що перетворювач на базі MOSFET-транзисторів поступається перетворювачу на базі IGBT-транзисторів як за тривалістю перехідного процесу, так і за якістю вихідної напруги.

Тобто переведення напівпровідникового перетворювача на іншу елементну базу повинне супроводжуватися як зміною параметрів системи фільтрації напруги, так і зміною параметрів системи керування.



а – вища; б – номінальна; в – нижча

Рисунок 8 – Перехідний процес вмикання перетворювачів при різних величинах несучої частоти

Висновки

Впровадження та технічна реалізація інтегрованого зарядного пристрою електромобіля передбачає введення у систему додаткових комутуючих елементів, а також ускладнення системи керування.

Різні типи напівпровідникових ключів мають різний вплив на параметри перехідних процесів, які відбуваються при зміні режимів роботи напівпровідникових перетворювальних пристроїв, а також на параметри якості напруги на виході перетворювача.

Для компенсації відхилень у роботі перетворювача у різних функціональних за стосунках потрібні як корегування у налаштуваннях системи керування, так і застосування додаткових фільтруючих елементів. Остаточні висновки щодо запропонованих технічних рішень повинні ґрунтуватися не тільки на імітаційному математичному моделюванні, а також на результатах дослідження макетів та дослідних зразків електронної частини силової установки електромобіля.

Література

1. Бороденко, Ю. М. Мехатронні системи автомобіля : підручник / Ю. М. Бороденко, А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків : ХНАДУ, 2023. – Ч. 1 : Силовий привід. – 300 с.

2. Metwly, Mohamed & Abdel-majeed, Mahmoud & Abdel-Khalik, Ayman & Hamdy, Ragi & Hamad, Mostafa & Ahmed, Shehab. (2020). A Review of Integrated On-Board EV Battery Chargers: Advanced Topologies, Recent Developments and Optimal Selection of FSCW Slot/Pole Combination. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2020.2992741.

3. Valente, Mauro & Wijekoon, Thiwanka & Freijedo, Francisco & Pescetto, Paolo & Pellegrino, Gianmario & Bojoi, Radu. (2021). Integrated On-Board EV Battery Chargers: New Perspectives and Challenges for Safety Improvement. 349-356. 10.1109/WEMDCD51469.2021.9425666.

4. Kougioulis, Ioannis & Pal, Anirban & Wheeler, Patrick & Ahmed, Md. (2023). An Isolated Multiport DC-DC Converter for Integrated Electric Vehicle On-board Charger. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. PP. 1-1. 10.1109/JESTPE.2023.3276048.

5. Mukherjee, Subhajyoti & Rallabandi, Vandana & Chowdhury, Shajjad & Onar, Omer. (2025). Integrated On-Board Charger for Dual Motor Based Electric Vehicle Power Train. 1-5. 10.1109/ITEC63604.2025.11098117.

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

Іванов Артем Геннадійович, студент гр. АЕ-41-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ДОСЛІДЖЕННЯ КООПЕРАТИВНОГО АДАПТИВНОГО КРУЇЗ-КОНТРОЛЯ ДЛЯ ГРУПИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Сучасні удосконалені та інтелектуальні системи допомоги водієві ADAS (англ. Advanced Driving Assistance Systems, ADAS) підвищують безпеку та мобільність транспорту, а також зменшують вплив на навколишнє середовище та економічні витрати завдяки зменшенню помилок водія. Однією з головних систем безпеки ADAS є система круїз-контроля, яка підтримує бажану швидкість транспортного засобу без втручання водія.

Системи адаптивного круїз-контроля ACC (англ. Adaptive Cruise Control, ACC) регулюють швидкість автомобіля, щоб підтримувати безпечну дистанцію до автомобіля попереду. Впровадження зв'язку між транспортними засобами та між транспортним засобом та інфраструктурою V2X (англ. Vehicle-to-Everything, V2X) [1] до систем адаптивного круїз-контроля ACC групи транспортних засобів призводить до створення систем кооперативного адаптивного круїз-контроля CACC (англ. Cooperative Adaptive Cruise Control, CACC), де кожен транспортний засіб має дані про траєкторію всіх інших транспортних засобів на тій самій смузі. Системи кооперативного адаптивного круїз-контроля CACC пропонують переваги над звичайними системами адаптивного круїз-контроля ACC у збільшенні пропускну здатності та середньої швидкості.

Принцип роботи адаптивного круїз-контроля наведений на рисунку 1 [2].