

Аналітичні дослідження та імітаційне моделювання у пакеті *MATLAB* показало наступне: у ВК трифазного інвертора напруги слід застосовувати чотириквADRантні ключі на *IGBT*, що знімає обмеження діапазону регулювання тривалості імпульсів вихідної напруги; перший варіант топології інвертора напруги має суттєво вищу надійність реалізації м'якої комутації у порівнянні з другим при використанні доопрацьованої схеми живлення ВК; реалізація режиму м'якої комутації у ключах з ВК суттєво покращує масогабаритні показники, енергетичну ефективність тягових перетворювачів та підвищує надійність їх роботи.

- [1] Статичні перетворювачі тягового рухомого складу: Навч. посібник/ Ю.П. Гончаров, М.В. Панасенко, О.І. Семененко, М.В. Хворост/ За ред. Гончарова Ю.П. – Харків, НТУ „ХПІ”, 2007. – 192 с.
- [2] Семененко А.И. Улучшение характеристик бортовых систем питания электроподвижного состава. Дис. канд. техн. наук: 05.22.09. – Харьков, 2003. –179 с.
- [3] He N, Zhu Y, Xu D. Zero-voltage-switching SPWM method for three-phase four-wire inverter. In: Proceedings of IEEE applied power electronics conference, Tampa, USA, 26-30 March 2017, pp. 3436-3443.
- [4] Deng J, Shi K, Zhao A et al. A universal zero-voltage-switching technique for multi-phase AC/DC converter. In: Proceedings of IEEE applied power electronics conference, USA, 17–21 March 2019, pp. 1204–1211.
- [5] Семененко О.І. Реалізація м'якої комутації в силових ключах тягових перетворювачів електрорухомого складу/ О.І. Семененко, М.М. Одегов, Ю.О. Семененко, О.Д. Супрун //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: 32-а міжнародна науково-практична конференція 2019 р.– Харків: УкрДУЗТ. – 2019. – №4 (Додаток). – С. 66-68.

УДК 629.4-592

**СТРАТЕГІЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ
РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ
ТЯГИ**

**STRATEGY OPTIMAL USE OF ENERGY OF REGENERATIVE BRAKING IN
ELECTRIC TRACTION NETWORK**

*А.М. Сидоренко, канд. техн. наук С.І. Яцько,
канд. техн. наук Я.В. Ващенко*

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*A. Sydorenko, S. Yatsko, PhD (Tech.),
Y. Vashchenko, PhD (Tech.)*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

На даний час основним інструментом скорочення тягових енерговитрат міського та приміського електричного транспорту є запровадження ефективного використання рекуперативного гальмування. За різними підрахунками його безбар'єрне використання, дозволяє досягти економії електроенергії від 15% до 40% загальних витрат на тягу (рис. 1, 2) [1].

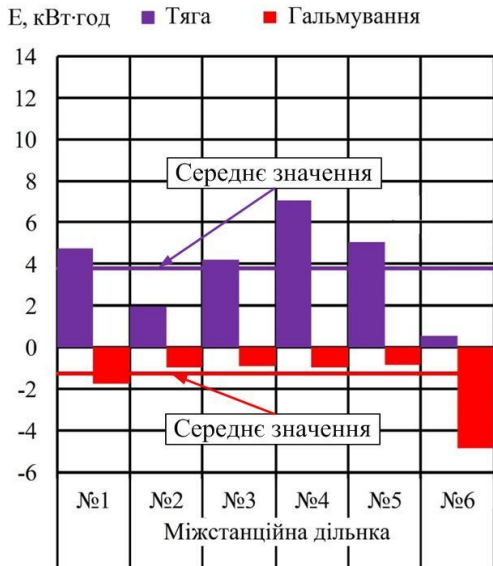


Рис. 1 Енергетична діаграма роботи поїзду метро з асинхронним тяговим електроприводом

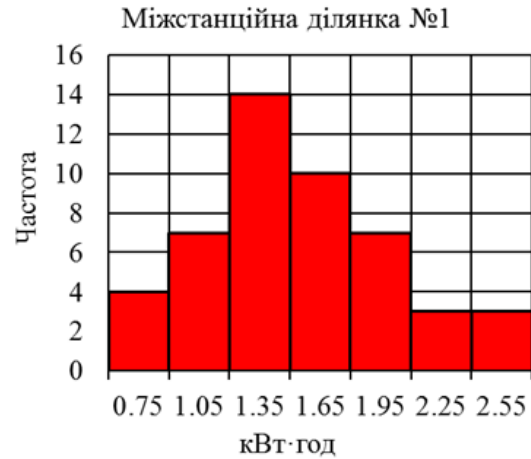
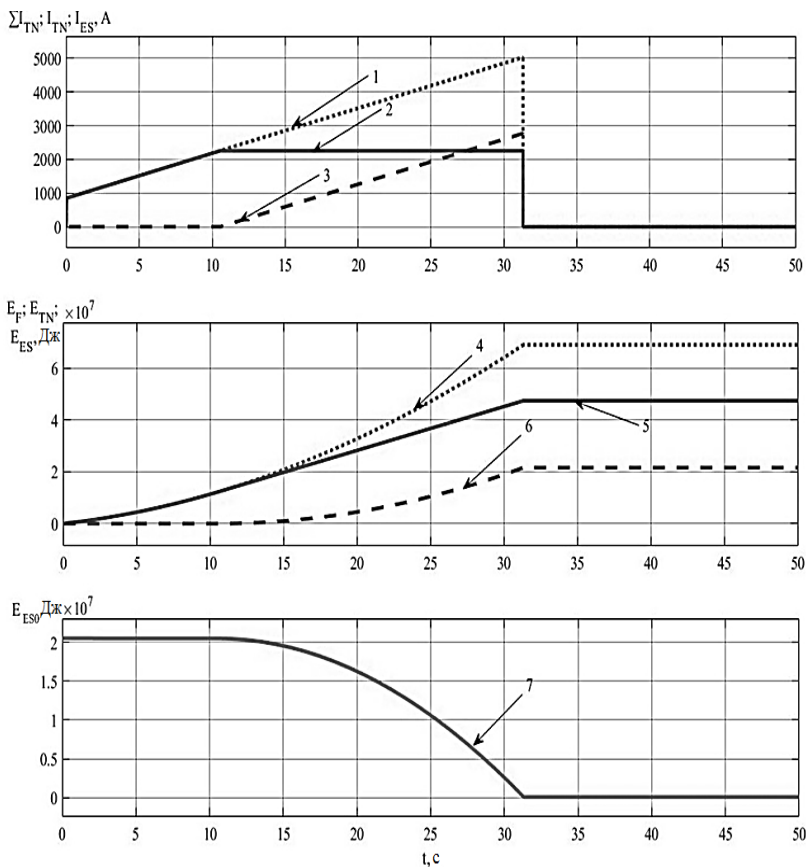


Рис. 2 Гістограма розподілу частот значень енерговідновлення тяговим рухомих складом поїзда метро на міжстанційній ділянці №1

Одним з основних технічних підходів підвищення енергоефективності застосування електричного гальмування, в комплексі, є використання накопичувачів енергії. Інтеграція ємнісного накопичувача енергії в тяговий електропривод рухомого складу дозволяє за рахунок локальної буферизації енергії електричного гальмування виключити вплив нерівномірності величин генерованої та споживаної потужності тяговими навантаженнями на енергоефективність електричного гальмування та досягти зменшення нерівномірності тягового енергоспоживання [2, 3].

Концептуально дана стратегія оптимального використання енергії рекуперативного гальмування передбачає підвищення енергетичних показників роботи системи електричної тяги за рахунок узгодженої роботи тягового електроприводу від двох джерел живлення. Де накопичувач енергії виконує функцію керуваного джерела для стабілізації вхідного струму тягового перетворювача I_{TN} (рис. 3), в моменти реалізації режиму тяги.



1 – Струм споживання тяговим рухомим складом ΣI_{TN} ; 2 – Струм тягової мережі I_{TN} ; 3 – Струм бортового накопичувача енергії, як додаткового джерела живлення тягового електроприводу I_{ES} ; 4 – Енергія, що споживається тяговим електроприводом для забезпечення руху транспортного засобу E_F ; 5 - Частка енергії, що споживається тяговим електроприводом з тягової мережі для забезпечення руху транспортного засобу E_{TN} ; 6 - Енергія, що споживається тяговим електроприводом з додаткового джерела живлення тягового електроприводу під-час оптимізації транзиту потужності з тягової мережі E_{ES} ; 7 - Залишок енергії в бортовому накопичувачі E_{ES0}

Рис. 3 Осцилограми протікання оптимізації транзиту потужності через контактну мережу за рахунок бортового накопичувача енергії

Ступінь її ефективності визначається трьома складовими, а саме: збалансованістю значення енергоємності накопичувача, шириною зони невизначеності прогнозу тягового енергоспоживання та адекватністю математичної моделі накопичувача у фазі зберігання накопиченої енергії в межах одного циклу «заряд-розряд». Результати статистичного аналізу продемонстрували, що у зв'язку з присутністю випадкових факторів впливу на значення тягового енергоспоживання та енерговідновлення, ми можемо лише з певною ймовірністю прогнозувати протікання тягового енергоспоживання. Тобто можлива присутність хибних рішень про початок оптимізації транзиту потужності.

[1] S. Yatsko, A. Sidorenko, Ya. Vashchenko, B. Lyubarskyi, B. Yeritsyan, "Method to Improve the Efficiency of the Traction Rolling Stock with Onboard Energy Storage", *International Journal of Renewable Energy Research*, vol.9, No.2, June, 2019;

[2] А. Сидоренко «Моделювання тягового-енергетичних процесів у системі електричної тяги» Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2020. вип. 35

[3] S. Yatsko, B. Sytnik, Y. Vashchenko, A. Sidorenko, B. Liubarskyi, I. Veretennikov, and M. Glebova, "Comprehensive approach to modeling dynamic processes in the system of underground rail electric traction," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, no. 9 (97), pp. 48–57, Jan. 2019;