УДК 621.33(075)

Олександр ПАЯНОК[1]
Олена НАНАКА[1]

ВДОСКОНАЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РОЗПОДІЛОМ ТА ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ГАЛЬМУВАНЬ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

[1]Вінницький Національний Технічний Університет

Анотація

Проведено аналіз режимів розподілу та використання енергії електричних (рекуперативних) гальмувань засобів рухомого складу міського електричного транспорту. Подані результати експериментального дослідження в контактній мережі міського електричного транспорту міста Вінниці. Проведено узагальнення та поширення отриманих результатів вимірювань на всю систему тягової електромережі. Встановлено, що значення випрямленої напруги на деяких тягових підстанціях міста Вінниці перевищують нормативне значення навіть за умови відсутності рекуперативних режимів роботи ЗРС. Запропоновано та узагальнено критерії оцінки енергоефективності режимів електричного гальмування з метою підвищення ефективності використання енергії електричних гальмувань.

Ключові слова: міський електричний транспорт, тягові підстанції, рекуперативне гальмування, контактна мережа, накопичувачі енергії, вимірювання, експериментальні дослідження.

Abstract

The analysis of the modes of distribution and use of energy of electric (regenerative) braking of rolling stock of urban electric transport is carried out. The results of an experimental study in the contact network of urban electric transport of Vinnytsia are presented. The obtained measurement results are generalized and distributed to the entire traction power grid system. It is established that the values of rectified voltage at some traction substations of Vinnytsia exceed the standard value even in the absence of regenerative modes of operation of the AC. The criteria for assessing the energy efficiency of electric braking modes are proposed and generalized in order to increase the efficiency of using the energy of electric braking.

Key words: urban electric transport, traction substations, regenerative braking, catenary network, energy storage devices, measurements, experimental research.

Вступ

Беззаперечно актуальним питанням як світової енергетики, так і енергетичної системи нашої країни є помірковане зниження електроспоживання всіх електроприймачів. В складних реаліях сьогодення нашої країни, в умовах періодичних вимушених відключень ділянок енергосистеми та повсякчасного здорожчання енергоносіїв, вагому частку яких складає саме електрична енергія, питання пошуку та впровадження механізмів ощадливого, ефективного використання споживаної електричної енергії та пошуку додаткових джерел електричної енергії набуває особливої гостроти.

Важливим та відповідальним споживачем електроенергії є міський електричний транспорт. Щороку в салони, наприклад, вінницького транспорту загального користування заходить понад 150 млн. пасажирів, 70% з яких перевозить саме пасажирський електротранспорт. Для господарства міського електричного транспорту, в якому енергетична складова в даний час складає 30 - 50 % від

загальних витрат комунальних підприємств в цілому, питання зниження енерговитрат шляхом створення та вдосконалення високотехнологічних зразків транспортних засобів і впровадження енергоефективних режимів їх роботи ніколи не втрачало своєї актуальності.

Одним із основних напрямків зменшення споживання електроенергії міським електричним транспортом є, так би мовити, «вторинне» використання потенційно запасеної кінетичної енергії під час електричних гальмувань засобів рухомого складу шляхом повернення її в мережу або передачу в накопичувачі енергії (НЕ) [1]. При такому гальмуванні тролейбус/трамвай може повертати до 30% спожитої ним енергії із одночасним істотним зниженням зносу механічних гальмівних пристроїв

Мета роботи полягає у проведенні детального аналізу режимів рекуперативного гальмування ЗРС МЕТ, узагальнення та поширення отриманих експериментальних результатів вимірювань в системі електропостачання МЕТ КП «ВТК» міста Вінниці та розробка критеріїв оцінки енергоефективності режимів електричного гальмування електротехнічного комплексу «система тягового електропостачання – МЕТ».

Об'єктом дослідження є електротехнічний комплекс «система тягового електропостачання – МЕТ».

Предметом дослідження є отримання та узагальнення результатів експериментального дослідження в контактній мережі міського електричного транспорту міста Вінниці.

Основна частина

Тривалий час проблема ефективності електропостачання електричного транспорту залишається предметом досліджень великого кола вчених та інженерів. Проблеми передачі енергії в тягову мережу у випадку електричного гальмування електротранспорту розглядалися неодноразово [2-3], проте по сьогодення вирішені частково. Відсутність можливості синхронізувати процеси регенерації електричної енергії та її умовно одночасне споживання різними засобами рухомого складу (ЗРС) потребує пошуку технічних та організаційних рішень щодо підвищення ефективності використання енергії електричних гальмувань.

Виходячи із закону збереження енергії, запасену під час руху ЗРС кінетичну енергію завжди можна перетворити на інший вид енергії. Реалізація режимів регенеративного гальмування в умовах електропостачання міського електричного транспорту залежить від особливостей експлуатації його. Тягові мережі та підстанції МЕТ працюють в суттєво відмінних умовах на відміну від стаціонарного силового електричного обладнання. Окремі фідерні ділянки та лінії контактної мережі системи електропостачання МЕТ характеризуються нерівномірністю навантажень. Причинами цього є:

- нерівномірність споживання потужностей МЕТ, обумовлена чергуванням режимів прискорення, вибігу та гальмування;
- різноманітність та зміна в широких межах швидкостей руху засобів рухомого складу, відповідно, зміна споживаної електричної енергії в широких межах;
- залежність навантажень тягових підстанцій від місця розташування ЗРС на ділянці контактної мережі;
- кількість та різноманіття типів ЗРС, які використовуються в комунальному підприємстві;
- одночасне суміщення на одній ділянці контактної мережі різних типів ЗРС (різні типи тролейбусів і трамваїв);
- інтенсивність руху ЗРС та характер графіку (розкладу) руху;
- техніка керування ЗРС та іншими факторами [4].

До вище вказаних особливостей варто додати, що в трамвайно-тролейбусному господарстві зокрема міста Вінниці одночасно експлуатується декілька типів ЗРС, кожен з яких характеризується своїми електричними та динамічними показниками.

Спостереження різкозмінних навантажень тягових підстанцій міського електричного транспорту дозволили отримати підтвердження зміни випрямленої напруги різних ділянок контактної мережі в досить широких, а в окремих випадках, недопустимих межах. Приклад осцилограми форми кривої

випрямленої напруги для однієї з досліджуваних ТП, за умови перебування на секціонованій ділянці контактної мережі одночасно декількох одиниць електричного транспорту, приведений на рис. 1.

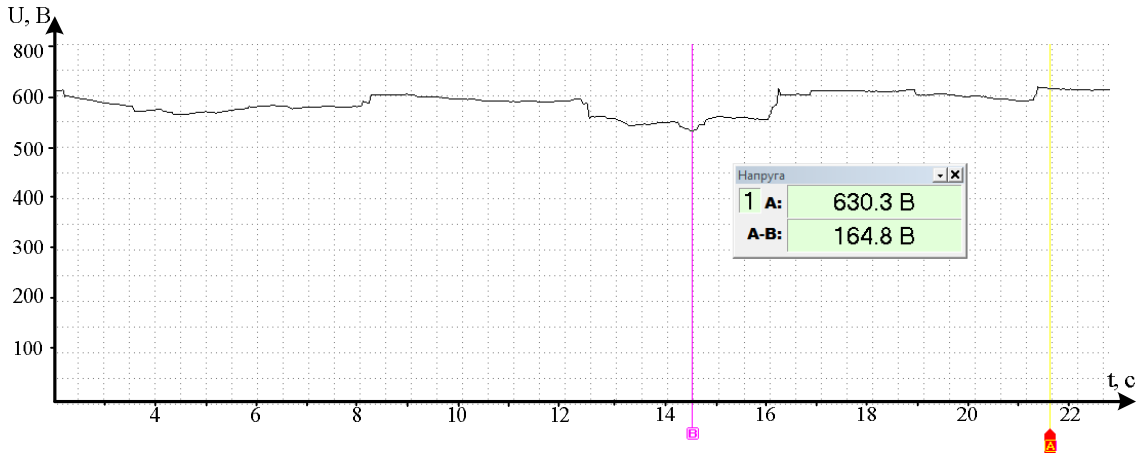


Рис. 1. Приклад осцилограми випрямленої напруги ТП

Приклад збільшення тягового навантаження та характер зміни при цьому випрямленої напруги в контактній мережі тягової підстанції приведений на рис. 2.

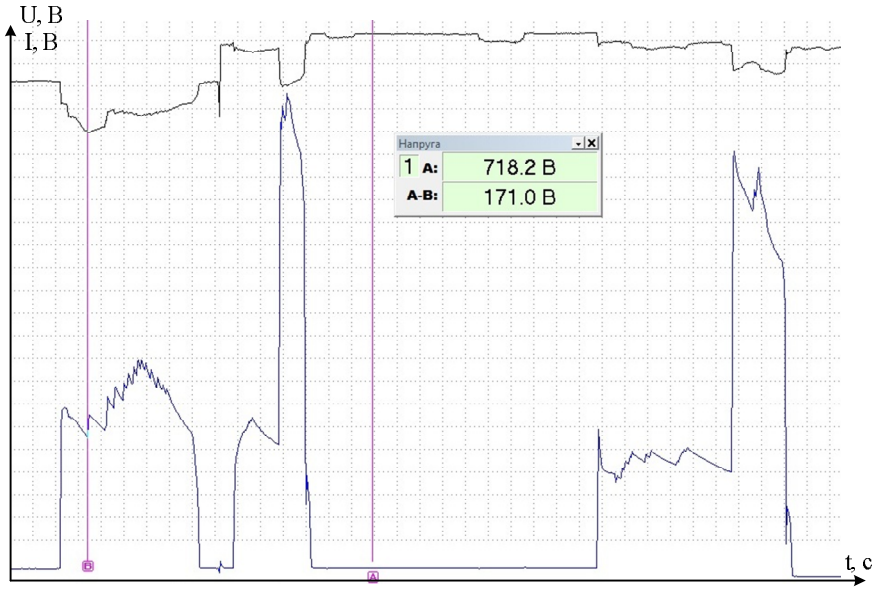


Рис. 2. Приклад осцилограми зміни навантаження та випрямленої напруги ТП

Під час вимірювань та аналізу отриманих даних використовувався метод практичного аналізу отриманих осцилограм та метод аналізу, заснований на застосуванні спеціальних приладів-аналізаторів [5]. Окремим та важливим етапом дослідження було проведення вимірювань вздовж ділянки контактної мережі шляхом розташування вимірювального обладнання безпосередньо на одному із ЗРС.

Аналізуючи приведені графіки перехідних процесів можна чітко простежити особливість системи електропостачання, яка характеризується неперервною зміною місць прикладення електричних навантажень у відповідності до руху ЗРС вздовж лінії. Вимірюваннями встановлено, що рівень випрямленої напруги в контактній мережі більшості ТП під час роботи в найбільш навантажені та «холості» години доби коливається в межах від 430 до 640 В.

Дослідженнями підтверджено, що значення випрямленої напруги на деяких тягових підстанціях КП «ВТК» міста Вінниці перевищують встановлене нормативне значення навіть за умови відсутності рекуперативних режимів роботи ЗРС і подекуди досягають 720-730 В (рис. 3).

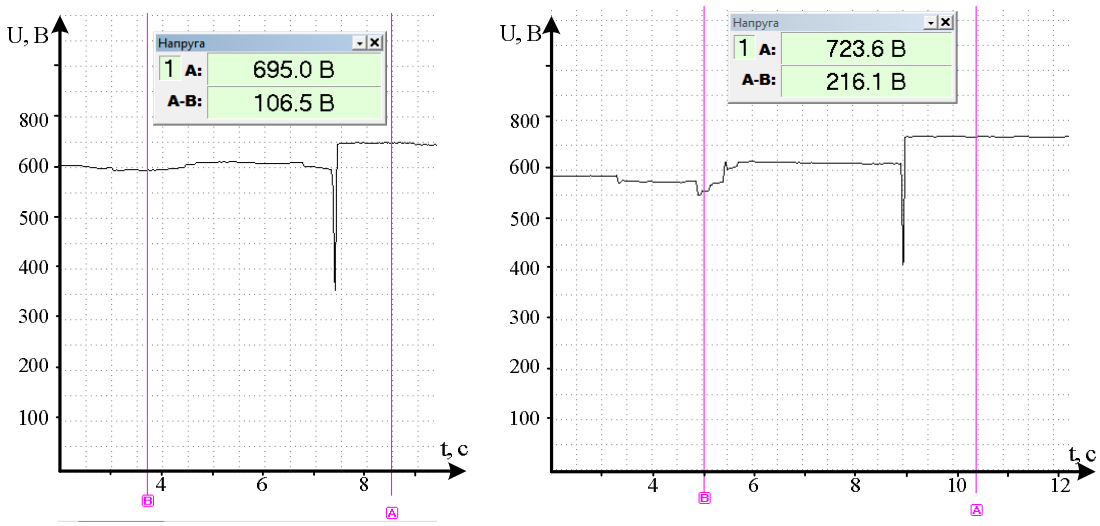


Рис. 3. Осцилограми зареєстрованих перевищень нормованих значень напруги ТП

Запропоновані графіки додатково ілюструють особливість побудови контактної мережі міського електричного транспорту, яка полягає в секціонуванні (розділенні) її ділянок за допомогою ізоляторів по всій довжині лінії. Слід відзначити, що в умовах КП «Вінницька транспортна компанія» серед множини існуючих підстанцій є такі, що виконують електропостачання тільки трамвайних або тролейбусних (одноагрегатні ТП) маршрутів та одночасно тролейбусних і трамвайних маршрутів МЕТ (дво- або трьохагрегатні ТП). Це, в свою чергу, накладає додаткові вимоги до розрахунку та проведення режимів рекуперативного/регенеративного гальмування за умов наявності на ділянках контактної мережі декількох різнотипних ЗРС.

Висновки

Проведено аналіз режимів розподілу та використання енергії електричних гальмувань ЗРС МЕТ, узагальнення та поширення отриманих результатів вимірювань на всю систему тягової електромережі. Під час досліджень отримано підтвердження того, що значення випрямленої напруги на деяких тягових підстанціях міста Вінниці перевищують встановлене нормативне значення навіть за умови відсутності рекуперативних режимів роботи ЗРС, що ускладнює використання режимів рекуперативного гальмування на окремих ділянках контактної мережі МЕТ. Сформовано та узагальнено критерії оцінки енергоефективності режимів електричного гальмування електротехнічного комплексу «система електропостачання – електротранспорт міста».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паянок О.А. Використання накопичувачів енергії в системі тягового електропостачання [Электронный ресурс] / О.А. Паянок // Матеріали XLIX регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області. Електронне наукове видання матеріалів конференції: тези допов. – м. Вінниця, 2020. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2020/paper/view/9094/7495.
2. Босий Д. О. Баланс електричної енергії тягової підстанції постійного струму за різних рівнів несиметрії напруги системи зовнішнього електропостачання / Д. О. Босий, Д. Р. Земський // Східно-Європейський журнал передових технологій. Энергосберегающие технологии и оборудование. — 2014. — № 2/8 (68). — С. 52—57.
3. Сиченко В. Г. Якість електричної енергії у тягових мережах електрифікованих залізниць : монографія / В. Г. Сиченко, Ю. Л. Саєнко, Д. О. Босий ; Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. — Дніпропетровськ : Стандарт-Сервіс, 2015. — 344 с.
4. Паянок О.А. Дослідження гармонічного складу напруг в контактній мережі постійного струму тягових підстанцій міста / О.А. Паянок // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008. — №1. — С. 84 — 89.
5. Мокін Б.І. Регулювання спектра напруги тягових підстанцій електротранспорту : [монографія] / Б.І. Мокін, О.А. Паянок. - Вінниця: ВНТУ. – 2017. – 116 с. – ISBN 978-966-641-691-2.

Паянок Олександр Анатолійович – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, ел. пошта: oapayanok@gmail.com.
Нанака Олена Миколаївна – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, ел. пошта: e_nanaka@ukr.net.

Payanok Oleksandr Anatoliyovych – PhD, Associate Professor of the Department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia national technical university, e-mail: oapayanok@gmail.com.
Nanaka Olena Mykolaivna – PhD, Associate Professor of the Department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia national technical university, e-mail: e_nanaka@ukr.net.