

УДК 629.421; 629.405

ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНУ

М.І. Шпіка, к. т. н., В.П. Андрійченко, к. т. н., А.І. Бесараб, інженер

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА

Н.И. Шпика, к. т. н., В.П. Андрейченко, к. т. н., А.И. Бесараб, инженер IMPROVEMENT OF TECHNICAL EFFICIENCY AND POWER INDEXES OF SYSTEM OF HAULING ELECTROMECHANIC OF SURFACE-CAR

Shpika Nicolay, PhD, Andrejchenko Vladimir, PhD, Besarab Andrey, engineer

В статті виконано аналіз систем тягового електроприводу трамвайних вагонів, що експлуатуються. Запропонована нова структура та алгоритми керування системи

тягового електроприводу з імпульсними перетворювачами. Приведено порівняльні характеристики систем тягового електроприводу з точки зору технічних та енергетичних показників.

Ключові слова. Система тягового електроприводу, імпульсний перетворювач, тяговий електродвигун, трамвайний вагон, технічна ефективність, енергетичні показники.

В статті виконаний аналіз систем тягового електропривода трамвайних вагонів, которые експлуатуються. Предложена новая структура и алгоритмы управления системы тягового электропривода с импульсными преобразователями. Приведены сравнительные характеристики систем тягового электропривода с точки зрения технических и энергетических показателей.

Ключевые слова. Система тягового электропривода, импульсный преобразователь, тяговый электродвигатель, трамвайный вагон, техническая эффективность, энергетические показатели.

The analysis of the systems of hauling electromechanic of surface-cars that is exploited is executed in the article. A new structure and algorithms of management of the system of hauling electromechanic offer with impulsive transformers. Comparative characteristics of the traction electric drive systems in terms of technical and energy performance. In the improved system of electric traction significantly increased the level of technical efficiency imported electrical equipment type "TV Progress" company ALSTOM. In addition, the proposed system of electric traction has better energy performance than the imported one. This system meets modern requirements and reduces operating costs. Such a system of electric traction can be used for modernization of tramcars T3.

Keywords. System of hauling electromechanic, impulsive transformer, hauling electric motor, surface-car, technical efficiency, power indexes.

1. Вступ

Забезпечення конкурентної спроможності міського електричного транспорту з другими видами міського транспорту пов'язано з впровадженням електрорухомого складу, що відповідає сучасним вимогам, та одночасним зниженням експлуатаційних затрат.

2. Постановка проблеми в загальному виді та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями

Серед основних технічних вимог, які пред'являються до сучасного рухомого складу міського електричного транспорту, таких як підвищення провізної спроможності, забезпечення комфортних умов для пасажирів, важливе значення набули зниження енергетичних затрат та підвищення технічної ефективності. Нині діючий електрорухомий склад в більшості своїй не відповідає цим вимогам, морально та фізично застарів, в значній мірі зношений.

В цій роботі проведено аналіз систем тягового електроприводу трамвайних

вагонів, що експлуатуються в різних містах України, з точки зору енергозбереження, надійності роботи та затрат на обслуговування з метою покращення цих показників за рахунок удосконалення структури та алгоритмів керування.

3. Аналіз останніх досягнень та публікацій

Питанням вдосконалення систем тягового електроприводу міського електротранспорту приділялась значна увага, що відображалось в ряді робіт, серед яких слід відмітити [1-5].

В [1,2] пропонувалось для покращення енергетичних показників систем тягового електроприводу тролейбусів та трамвайних вагонів впроваджувати замість електромеханічних контролерів з пусковими реостатами імпульсні перетворювачі вітчизняного виробництва.

В [3] вирішувалось питання енергозбереження в системі тягового електроприводу метрополітену.

В [4,5] показано покращення енергетичних показників систем тягового

електроприводу тролейбусів та трамвайних вагонів в деяких містах України до 35% за рахунок впровадження електричного обладнання типу “TV Progress” на базі імпульсного перетворювача фірми ALSTOM.

4. Визначення мети та задачі досліджень

Метою роботи є вдосконалення структури та алгоритмів керування системи тягового електроприводу трамвайного вагону з імпульсними перетворювачами для покращення технічних та енергетичних показників.

5. Основна частина досліджень

На сьогоднішній день на трамвайних вагонах, що експлуатуються, використовуються в основному три види систем тягових електроприводів з тяговими електродвигунами постійного струму послідовного збудження, які відрізняються пристроями живлення електродвигунів.

В перших живленнях тягових електродвигунів відбувається через електромеханічний контролер з пусковими реостатами, як, наприклад, в трамвайних вагонах ТЗ чеського виробництва [6]. До недоліків такої системи слід віднести не тільки низькі енергетичні показники, за рахунок пускових резисторів, та наявність значної кількості контактної апаратури, що знижує надійність схеми та потребує великих експлуатаційних затрат. Ця схема має ще один суттєвий недолік – живлення обох груп електродвигунів забезпечується одним електромеханічним контролером, вихід з ладу якого унеможливує рух

трамвайного вагону. У зв'язку з суттєвими втратами енергії в пускових реостатах та значними експлуатаційними затратами, такі вагони в даний час потребують негайної модернізації.

В електроприводах другого виду контролер з пусковими реостатами замінений на імпульсний перетворювач постійного струму, в якому постійна напруга мережі живлення перетворюється в імпульсну, що дозволяє плавно регулювати струм і відповідно момент тягових електродвигунів. Використання імпульсного перетворювача суттєво підвищило ККД електроприводу. Електроприводи другого виду використовуються на трамвайних вагонах ТЗМ чеського виробництва [7].

До їх недоліків слід віднести наявність контактної апаратури, що знижує надійність схеми, послідовне включення кількох силових напівпровідникових приборів, що погіршує енергетичні показники системи електроприводу, ступінчате ослаблення поля тягових електродвигунів, застаріла елементна база та відсутність резервування в імпульсних перетворювачах.

В електроприводах третього виду [8] використовується імпортоване електричне обладнання типу “TV Progress” фірми ALSTOM. Структурно силова схема електроприводу складається з двох груп тягових електродвигунів М1,М2 та М3,М4, які підключені до двох індивідуальних контейнерів з імпульсними перетворювачами (рис. 1).

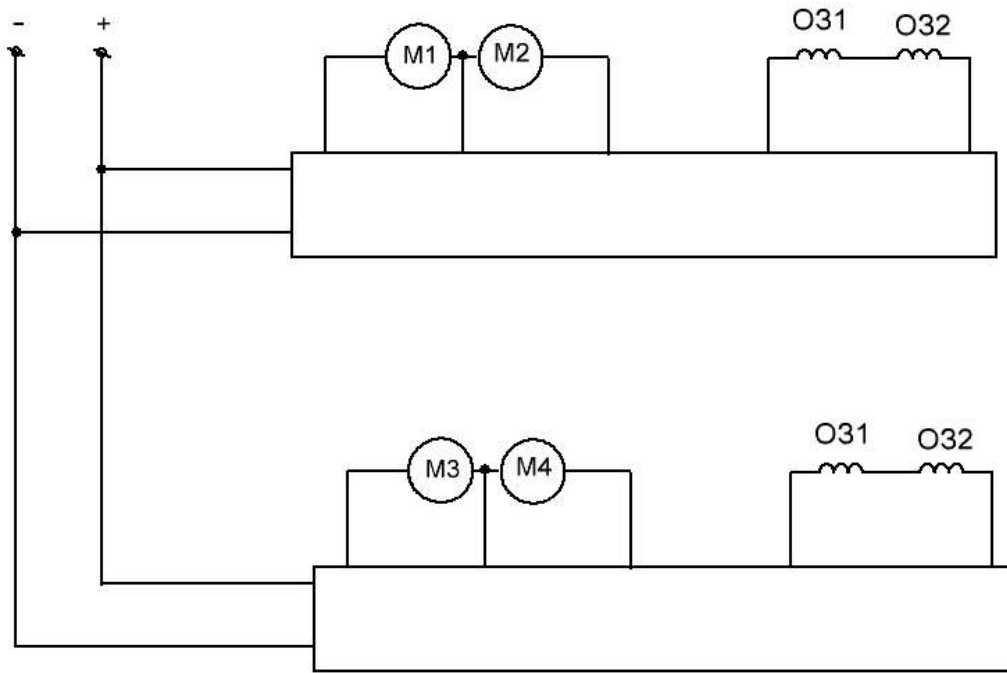


Рис. 1– Силова схема трамвайного вагону Т3 з електричним обладнанням типу “TV Progress”

В кожному контейнері розміщені тяговий та резервний імпульсні перетворювачі, спрощена схема яких приведена на рис. 2. Тяговий перетворювач забезпечує реверс напрямку обертання електродвигунів та регулювання струмів якоря і збудження, а резервний – обмеження напруги живлення тягового перетворювача та струму короткого замкнення в режимі тяги, а також обмеження напруги на вхідному фільтрі при рекуперації енергії в

мережу. Таке технічне рішення має переваги перед попередніми.

В той же час значна кількість послідовно з'єднаних силових напівпровідникових приборів, що працюють постійно в кожній групі електродвигунів в тяговому режимі, суттєво знижує енергетичні показники та надійність системи тягового електроприводу [9, 10]. Крім того, необхідні значні фінансові затрати в валюті на закупку такого обладнання.

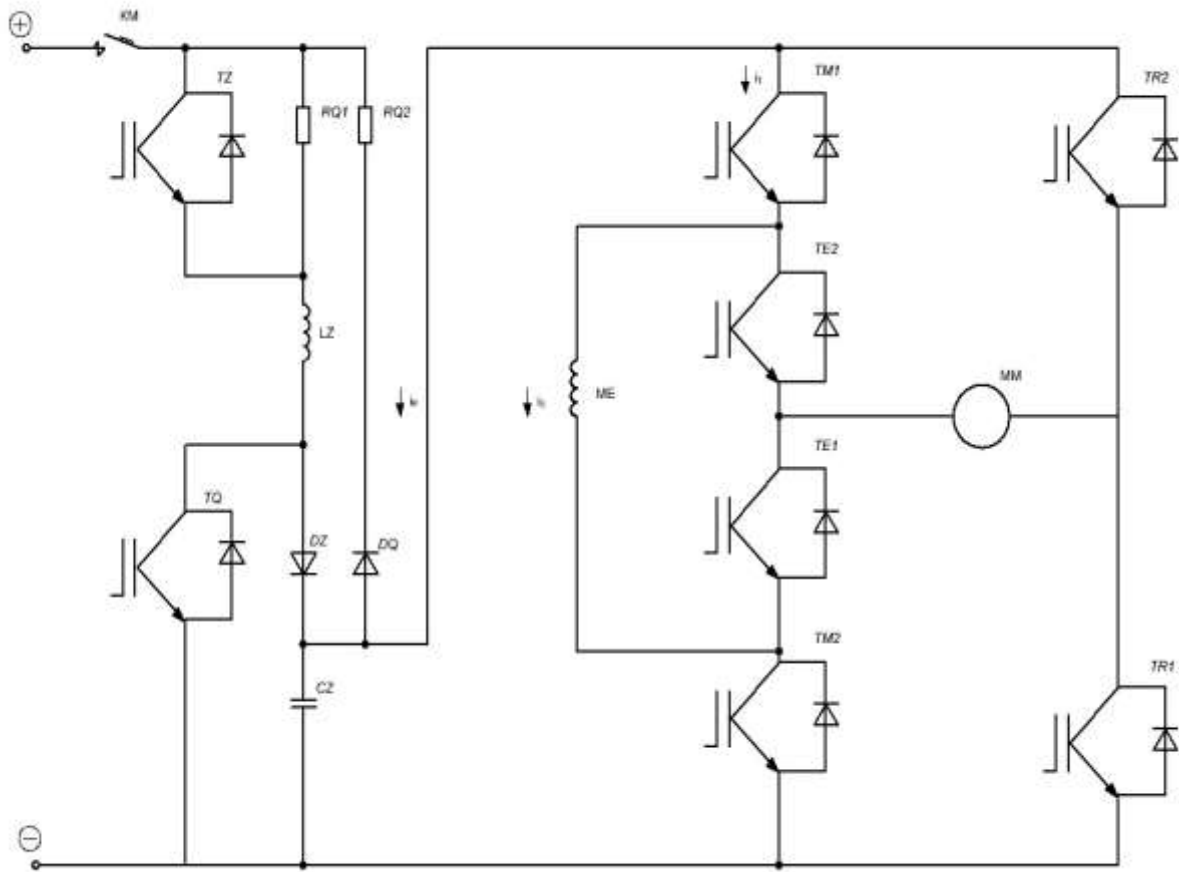


Рис.2 – Спрощена схема тягового та резервного імпульсних перетворювачів фірми ALSTOM

Тому розроблена нова силова схема тягового електроприводу з вдосконаленою структурою, яка приведена на рис. 3.

Нововведенням такої схеми є те, що запропонована нова структура системи керування тяговими електродвигунами послідовного збудження і алгоритми керування. Імпульсний перетворювач забезпечує регулювання величини струму тягових електродвигунів на заданому рівні, реверс напрямку руху трамвайного вагону без використання контактної апаратури, плавне

ослаблення поля тягових електродвигунів, обмеження напруги на тягових електродвигунах на рівні номінальної, електричне реостатне гальмування транспортного засобу, а також має резервне обладнання, для забезпечення роботи електроприводу при відмові основного. При цьому використовується значно менше напівпровідникових елементів ніж в обладнанні "TV Progress".

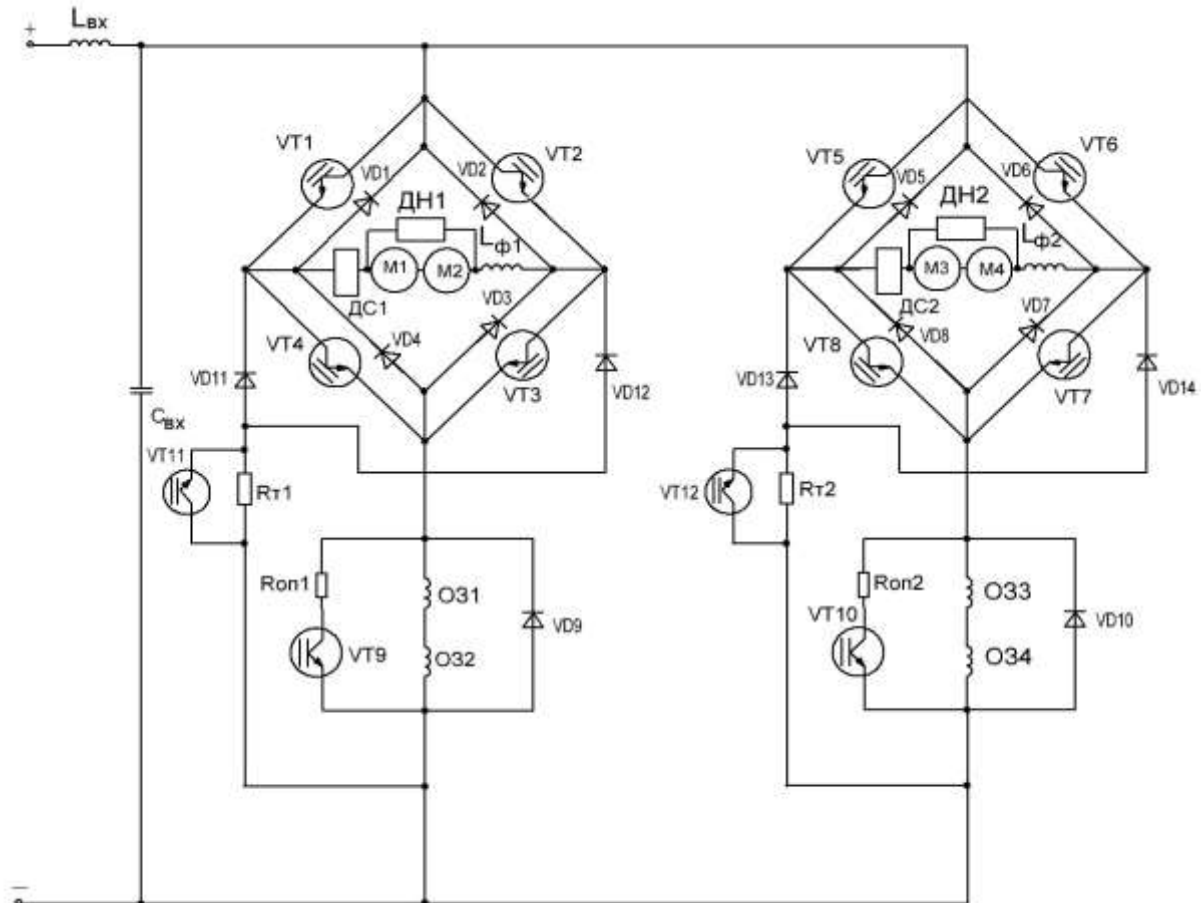


Рис.3 – Вдосконалена силова схема тягового електроприводу

Для забезпечення реверсу напрямку руху трамвайного вагону без використання контактної апаратури імпульсні перетворювачі виконані по схемі однофазного транзисторного мосту зі зворотними діодами. В діагональ кожного мосту включені послідовно з'єднані два якоря електродвигунів з індивідуальним датчиком струму, якоря електродвигунів зашунтовані датчиками напруги.

В режимі тяги працюють попарно два транзистори, причому, наприклад, транзистори VT2 і VT6 виконують функції ключів, а транзистори VT4 і VT8 працюють в режимі широтно-імпульсної модуляції, забезпечуючи протікання заданого по величині струму через обмотки електродвигунів до виходу їх на природну характеристику. Для ослаблення поля електродвигунів

вступають в режим широтно-імпульсної модуляції транзистори VT9 і VT10.

Якщо напруга мережі живлення перевищує номінальне значення, то робота транзисторів VT4 і VT8 в режимі широтно-імпульсної модуляції продовжується, що обмежує середнє значення напруги на якорях електродвигунів на рівні номінальної, і починають працювати в режимі широтно-імпульсної модуляції транзистори VT9 і VT10.

Режим електричного гальмування забезпечується транзисторами VT11 і VT12, які працюють в режимі широтно-імпульсної модуляції, а також транзисторами VT3 і VT7, які виконують функції ключів.

В разі відмови транзистора VT4 або VT8, наприклад його пробоем, транзистор VT2 або VT6 автоматично переводиться в режим широтно-імпульсної модуляції для регулювання величини струму тягових електродвигунів з видачею відповідного сигналу про відмову.

Запропонована система тягового електроприводу має кращі енергетичні показники ніж у імпортного електричного

Автоматизовані системи електричного транспорту

обладнання типу “TV Progress” фірми ALSTOM. На рис.4 показано втрати потужності в імпульсному перетворювачі в пусковому режимі при використанні різних системах тягового електроприводу.

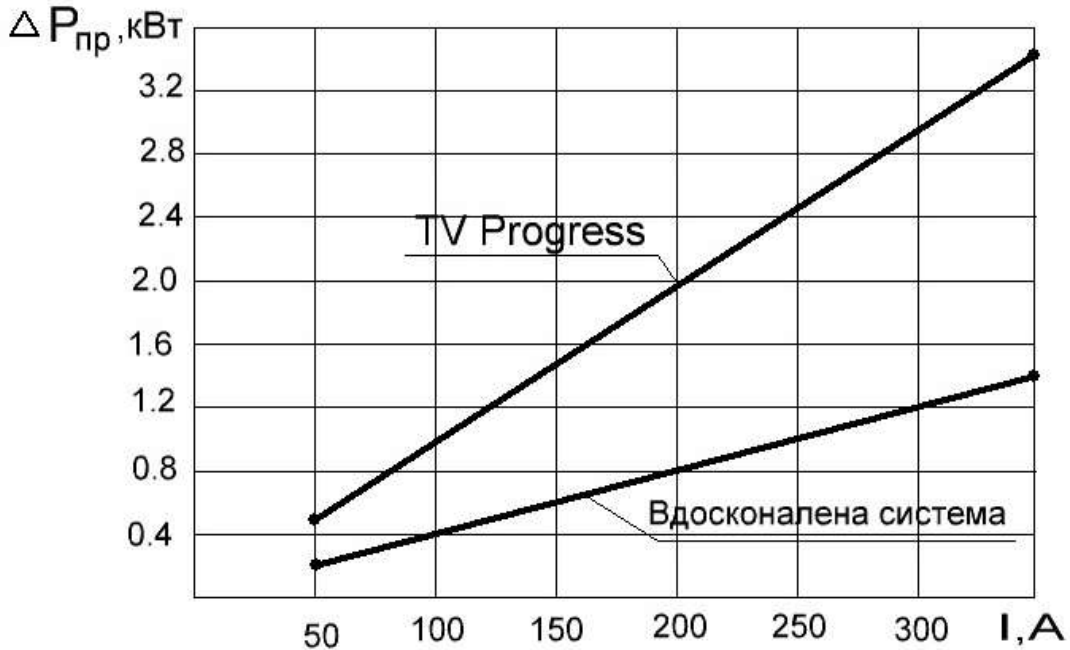


Рис. 4 – Втрати потужності при різних системах тягового електроприводу

Економія електроенергії при використанні вдосконаленої системи тягового електроприводу за зміну дорівнює:

$$A_{\text{пр}} = (\Delta P_{\text{пр1}} - \Delta P_{\text{пр2}}) \times t, \quad (1)$$

де: $\Delta P_{\text{пр1}}$ – втрати потужності в імпульсному перетворювачі в пусковому режимі при використанні електричного обладнання типу “TV Progress” фірми ALSTOM;

$\Delta P_{\text{пр2}}$ – втрати потужності в імпульсному перетворювачі в пусковому режимі при використанні вдосконаленої системи тягового електроприводу;

t – час роботи імпульсного тягового електроприводу на перетворювача в пусковому електрорухомому складі з двох вагонів за рік режимі за зміну. дорівнює:

Економія електроенергії при використанні вдосконаленої системи

$$A_{\Sigma} = A_{\text{пр}} \times n \times m, \quad (2)$$

де: n – кількість імпульсних перетворювачів на електрорухомому складі;

m – кількість робочих днів за рік.

Якщо прийняти, що $t = 5$ годин, $n = 4$, $m = 350$ днів, то економія електроенергії при використанні вдосконаленої системи складе 8400 кВт год.

У порівнянні з системою тягового електроприводу трамвайного вагону ТЗМ, у вдосконаленій системі суттєво підвищена технічна ефективність до рівня імпортного електричного обладнання типу “TV Progress” фірми ALSTOM.

6. Висновки з досліджень та перспективи, подальший розвиток в даному напрямку

В той же час вдосконалена система тягового електроприводу має кращі енергетичні показники ніж у імпортного

електричного обладнання типу “TV Progress”
фірми ALSTOM.

Тому така система тягового
електроприводу може бути використана для
модернізації трамвайних вагонів ТЗ.

Список літератури

1. Забарский Л.В. и др. Результаты испытаний опытных образцов тиристорных регуляторов типа РТ 300/700 на подвижном составе. // Наука и техника в городском хозяйстве. – №33 – К.: Будівельник. – 1976 – С.13-19.
2. Шпика Н.И., Донец А.В. К вопросу модернизации тяговых электроприводов городского электротранспорта. Коммунальное хозяйство городов/ Научно-технический сборник. – Выпуск 76. – Серия: технические науки и архитектура. – Киев: “Техніка”. – 2007. – с. 354-359.
3. Хворост Н.В. Анализ расхода электроэнергии и энергосбережение на Харьковском метрополитене / Н.В. Хворост, В.И. Ляхов, М.В. Ляхов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті –2005. –№4. – С. 87–90.
4. Черны М., Качимов В. Внедрение энергоэффективного оборудования и технологий на подвижном составе городского электротранспорта Украины. Коммунальное хозяйство городов/ Научно-технический сборник.- Выпуск 88.- Серия: технические науки. – Киев. – “Техніка”. – 2009. – С. 354-359
5. Черны М., Качимов В. Внедрение энергоэффективного оборудования и технологий на подвижном составе городского электротранспорта Украины.// Сталий розвиток міст. Електричний транспорт – перспективи розвитку та кадрове забезпечення: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: ХНАМГ. – 2009. – С. 58-59.
6. Корягина Е.Е., Коськин О.А. Электрооборудование трамваев и троллейбусов. Учебник для техникумов городского транспорта. – М.: Транспорт, 1982. – 296 с.
7. Электрооборудование трамвайного вагона Т6В5 (ТЗМ). Издатель:ЧКД Прага,1982, 310с.
8. Электрическое оборудование «ALSTOM TV PROGRESS» для транспортных средств. Каталог продукции – Прага: ALSTOM Industry, 2006. – 24 с.
9. Korotkov S., Meleshin V., Nemchinov A., Fraidlin S. Small-Signal Modeling of Soft-Switched Asymmetrical Half Bridge DC/DC Converter. APEC'95, 1995.
10. Meleshin V., Yakushev V., Fraidlin S. Full-Bridge Isolated Current Fed Converter. APEC, 2000.

Шпика Николай Иванович, Кандидат технических наук, доцент, Доцент кафедры Электрического транспорта, Харьковский национальный университет городского хозяйства им.А.Н.Бекетова, ул. Революции, 12, г. Харьков, 61002, Контактный тел.: (057) 707 33 15, E-mail: niset53@yandex.ru

Андрейченко Владимир Павлович, Кандидат технических наук, доцент, Доцент кафедры Электрического транспорта, Харьковский национальный университет городского хозяйства им.А.Н.Бекетова, ул. Революции, 12, г. Харьков, 61002, , Контактный тел.: (066) 254 25 10, E-mail: andreychenko-vp@mail.ru

Бесараб Андрей Иванович, Инженер, старший преподаватель кафедры Электрического транспорта, Харьковский национальный университет городского хозяйства им.А.Н.Бекетова, ул. Революции, 12, г. Харьков, 61002, Контактный тел.: (057) 706 15 36

Шпика Микола Іванович, Кандидат технічних наук, доцент, Доцент кафедри Електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М.Бекетова, вул. Революції, 12, м. Харків, 61002, Контактний тел.: (057) 707 33 15, E-mail: niset53@yandex.ru

Андрійченко Володимир Павлович, Кандидат технічних наук, доцент, Доцент кафедри Електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М.Бекетова, вул. Революції, 12, м. Харків, 61002, Контактний тел.: (066) 254 25 10, E-mail: andreychenko-vp@mail.ru

Бесараб Андрій Іванович, Інженер, старший викладач кафедри Електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М.Бекетова, вул. Революції, 12, м. Харків, 61002, Контактний тел.: (057) 706 15 36

Автоматизовані системи електричного транспорту

Shpika Nicolay, Professor, Professor of the Department of Electrical Transport, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Str. Revolution, 12, Kharkov, 61002

Contact tel.: (057) 707 33 15

E-mail: niset53@yandex.ru

Andrejchenko Vladimir, Professor, Professor of the Department of Electrical Transport, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Str. Revolution, 12, Kharkov, 61002, Contact tel.: (066) 254 25 10,

E-mail: andrejchenko-vp@mail.ru

Besarab Andrey, Engineer, a senior lecturer in electrical transport, Kharkiv National University of urban im.A.N.Beketova, Str. Revolution, 12, Kharkov, 61002, Contact tel.: (057) 706 15 36

Стаття поступила 20.05.2015