

УДК 621.314

doi:10.20998/2413-4295.2020.04.05

СИСТЕМА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТРОЛЕЙБУСА З ВИСОКОВОЛЬТНИМ АКУМУЛЯТОРОМ

І. А. МАРТЮХІН*, Є. В. ВЕРБИЦЬКИЙ

Кафедра електронних пристроїв та систем, факультет електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Київ, УКРАЇНА

* e-mail: margigoand@ukr.net

АНОТАЦІЯ Громадському транспорту у містах за останні роки приділяється більша увага задля підвищення комфорту життя в мегаполісах. Економічні та екологічні показники міст можна покращити за рахунок ефективного підключення ресурсів у сфері громадського транспорту та підвищення мобільності транспортних засобів. За останні два десятиліття у країнах, що розвиваються, спостерігається величезний приріст населення. Зростання чисельності населення спричинило зростання попиту на мобільність. Якщо транспортна інфраструктура не здатна задовольнити вимоги, це спричиняє збільшення тривалості очікування громадського транспорту та заторів на вулицях. Громадський транспорт може бути більш привабливим, забезпечуючи мобільність «від дверей до дверей», а розвиток транспортних послуг є важливим фактором для життя у мегаполісах. Стійкість транспорту, екологічні умови місцевості, охорона здоров'я та економічний стан мешканців можна підвищити шляхом переходу до більш мобільного громадського транспорту. Простими словами, мобільність за допомогою громадського транспорту надає можливість зменшити несприятливий вплив використання автомобілів на стан навколишнього середовища та здоров'я. Рівень мобільності міста можна покращити, забезпечивши добре організовану транспортну систему. Отже, доступність зупинок громадського транспорту, сполученість видів громадського транспорту та мобільність системи повинні розглядатися для забезпечення зручної для користувачів системи громадського транспорту. Тому в статті було розглянуто режими руху троллейбуса та на основі цих даних було запропоновано систему електроживлення з використанням акумуляторної батареї. Такий вид живлення транспортного засобу підвищить мобільність троллейбуса за рахунок використання силової батареї, що в свою чергу корисно при заторах, транспортних пригодах, а також при відсутності мережі. Показано розрахунок інверторів необхідних для роботи такої системи. Контроль буде відбуватися за допомогою релейного керування, що дозволить троллейбусу автономно рухатися, а також дасть змогу накопичувати енергію до акумуляторної батареї.

Ключові слова: троллейбус; система живлення; силовий акумулятор; релейне керування; режими руху; перетворювач з двостороннім передаванням енергії

TROLLEYBUS POWER SUPPLY SYSTEM WITH HIGH VOLTAGE BATTERY

I. MARTIUKHIN*, I. VERBITSKY

Department of Electronic Devices and Systems, Faculty of Electronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Public transport in cities in recent years has received more attention to increase the comfort of life in megacities. The economic and environmental performance of cities can be improved by efficiently connecting public transport resources and increasing vehicle mobility. Over the last two decades, there has been a huge increase in population in developing countries. Population growth has led to an increase in demand for mobility. If the transport infrastructure is not able to meet the requirements, it leads to an increase in the waiting time for public transport and congestion on the streets. Public transport can be more attractive by providing door-to-door mobility, and the development of transport services is an important factor for life in megacities. Transport sustainability, environmental conditions, health and economic well-being can be enhanced by moving to more mobile public transport. Simply put, mobility by public transport makes it possible to reduce the adverse effects of car use on the environment and health. The level of mobility of the city can be improved by providing a well-organized transport system. Therefore, the accessibility of public transport stops, the connectivity of public transport modes and the mobility of the system should be considered to ensure a user-friendly public transport system. The purpose of this article is to create a trolleybus power supply system with a high-voltage battery, which would reduce the load on the network during vehicle acceleration, and with the help of an additional converter was able to recover energy during braking to the battery. Therefore, the article considered the modes of movement of the trolleybus and on the basis of these data proposed a power supply system using a rechargeable battery. This type of vehicle power supply will increase the mobility of the trolleybus due to the use of a power battery, which in turn is useful in traffic jams, accidents, as well as in the absence of a network. The calculation of inverters required for the operation of such a system is shown. The control will take place by means of a relay control, which will allow the trolleybus to move autonomously, as well as allow it to store energy to the battery.

Keywords: trolleybus; power supply system; power battery; relay control; traffic modes; converter with two-way energy transfer

Вступ

На сьогоднішній день троллейбус є перспективним та екологічним міським транспортним засобом. Він не має викидів вуглекислого газу в порівнянні з автобусом та його експлуатація і обслуговування є більш дешевшими в порівнянні з іншими міськими громадськими наземними транспортними засобами.

Однак, незважаючи на велику кількість переваг, все ж існує один суттєвий недолік, такий як мобільність. Адже, троллейбус жорстко прив'язаний до контактної мережі від якої він живиться [1]. Тому актуальною є задача розробки системи електроживлення троллейбуса з використанням високовольтного акумулятора, що дасть змогу пересуватися деякі проміжки маршруту без

використання мережі. А також це буде доцільним у разі відсутності живлення та виникнення на дорозі непередбачуваних ситуацій, наприклад ДТП, що дасть можливість об'їхати перешкоди позбувшись прив'язки до контактної мережі.

Мета роботи

Метою даної статті є створення системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором, яка б дала змогу збільшити мобільність транспортного засобу, зменшити навантаження на мережу під час розгону транспортного засобу, а також за допомогою додаткового перетворювача мала змогу рекуперувати енергію під час гальмування до батареї [2,3].

Режими руху тролейбуса

Існують наступні режими руху тролейбуса, які зображені на рис.1: прискорення (0-t₁), рух з постійною швидкістю (t₁-t₂), гальмування та рекуперація енергії (t₂-t₃).

На першому інтервалі енергія для руху тролейбуса відбирається від мережі, а також паралельно від акумулятора. На другому електропривід живитиметься тільки від мережі, на третьому інтервалі енергія буде рекуперуватися до акумуляторної батареї [4,5].

Енергія, яка відбирається, буде накопичуватися у системі акумулявання для подальшого використання під час розгону тролейбуса за для зменшення навантаження на мережу. Споживання струму від мережі та системи акумулявання зображено на рис.1 (в, г).

Отже, за рахунок такої системи живлення тролейбуса підвищується його мобільність, а також усуваються пікові значення струму, внаслідок використання акумулятора [6,7].

Можемо відзначити, що рекуперація енергії має значний потенціал для економії енергії, тому під час гальмування енергія буде накопичуватися в акумуляторній батареї, а не розсіюватиметься на гальмівному резисторі, як у звичайних системах живлення тролейбусів [7].

На рис.2 зображено блок-схему живлення електропривода. Система працює наступним чином. Давач струму, який стоїть перед входним перетворювачем (П1), що забезпечує керування частотою і амплітудою напругою двигуна [8] і управляється системою керування СК1, зчитує значення струму, яке споживається від мережі і в разі перевищення деякого порогового значення змість мережі за допомогою системи керування (СК2) підключається перетворювач зарядного пристрою (П2) і живлення відбувається від акумулятора [9]. Режим рекуперації включається, якщо значення давача напруги перевищує напругу мережі, то в такому випадку перетворювач зарядного пристрою буде працювати в зворотному напрямку, накопичуючи енергію до акумулятора [10,11].

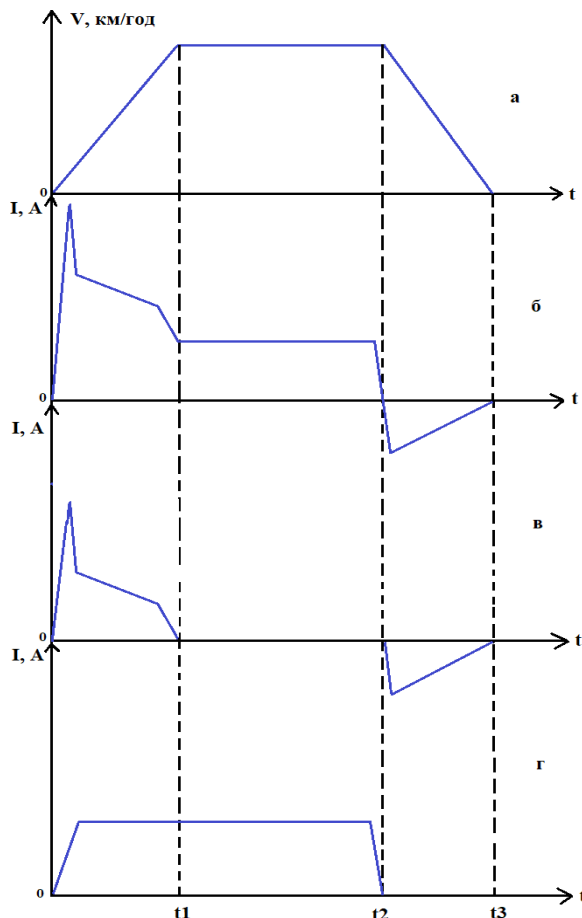


Рис. 1 – Режими руху тролейбуса: а) залежність швидкості від часу; б) споживання струму електродвигуном на різних проміжках; в) споживання струму від акумулятора; г) споживання струму від мережі

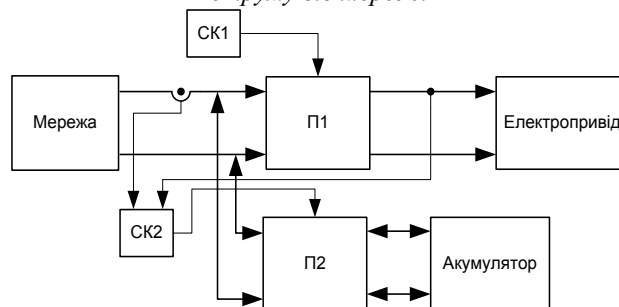


Рис. 2 – Блок-схема живлення електропривода

Задля керування та контролю перевищення граничного значення по струму та напрузі доцільно використовувати релейне керування, що дасть змогу працювати системі живлення тролейбуса коректно [12,13].

Релейне керування – це система, що здійснює зміну вихідного сигналу під впливом керуючого сигналу, що змінюється у певних межах. Тобто система призначена для подавання сигналів керування, коли контрольовані параметри виходять за задані межі [14]. В основному такі системи мають два граничні значення: максимальне та мінімальне, в яких саме і працює така система керування (рис.3).

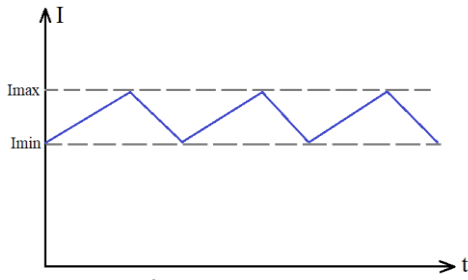


Рис. 3 – Порогові значення

В нашому випадку важливим є лише максимальне граничне значення, оскільки при перевищенні максимально допустимого струму мережі живлення електроприводу буде забезпечуватися від акумулятора. А у разі перевищення значення по напрузі перетворювач зарядного пристрою, працюватиме у зворотному напрямку, за для накопичення енергії до батареї.

Розрахунок перетворювача з двостороннім передаванням енергії

Розглянемо роботу другого перетворювача (П2). Для передавання енергії від акумулятора до ланки постійного струму в інвертора 1 замикаються транзистори VT1 та VT4, діоди які вбудовані в транзистори VT5 та VT8 інвертора 2 будуть виконувати функцію випрямляча (рис.4).

Для накопичення енергії в акумуляторі, яка буде надходити від ланки постійного струму в інвертора 2 замикаються транзистори VT5 та VT8, діоди які вбудовані в транзистори VT1 та VT4 інвертора 1 будуть виконувати функцію випрямляча.

В іншому режимі для передавання енергії від акумулятора до ланки постійного струму в інвертора 1 замикаються транзистори VT3 та VT2, діоди які вбудовані в транзистори VT6 та VT7 інвертора 2 будуть виконувати функцію випрямляча.

Для накопичення енергії в акумуляторі, яка буде надходити від ланки постійного струму в інвертора 2 замикаються транзистори VT6 та VT7, діоди які вбудовані в транзистори VT3 та VT2 інвертора 1 будуть виконувати функцію випрямляча.

Розрахуємо параметри перетворювача, використовуючи вхідні данні: $U=550-600$ В; $P=180$ кВт.

$$I = \frac{P}{U_{in}} = \frac{180 \cdot 10^3}{600} = 300 \text{ А} . \quad (1)$$

Оберемо транзистор SEMiX402GAL066HDs відповідно до розрахунків. Параметри наведені в табл.1.

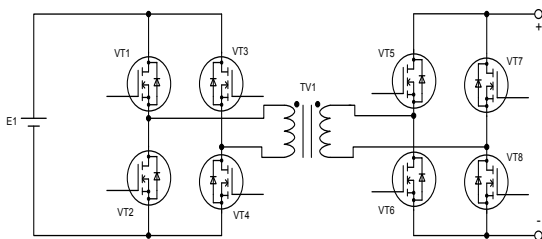


Рис. 4 – Перетворювач П2

Таблиця 1 – Параметри транзистора

Напруга пробую стік-витік (U_{brdss}), В	600
Максимальний струм стік-витік при 25 °C (I_d), А	400
Час відновлення (t_{rr}), нс	300
Опір стік-витік при 4,5В (R_{dson}), Ом	0,116

Для розрахунку трансформатора, необхідно визначити вхідну індуктивність. Вона обирається з умови необхідного забезпечення вхідного струму 300А з періодом роботи перетворювача T та розраховується за наступною формулою:

$$L_1 = \frac{U_{in}}{I_{1m}} \gamma T = \frac{600}{300} \cdot 0.5 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Гн} . \quad (2)$$

Коефіцієнт трансформації розраховується наступним чином:

$$n = \frac{U_{out}(1-\gamma)}{U_{in}\gamma} = \frac{600 \cdot (1-0.5)}{600 \cdot 0.5} = 1 . \quad (3)$$

Співвідношення між вхідною та вихідною напругою:

$$m = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{n\gamma}{(1-\gamma)} = \frac{1.12 \cdot 0.5}{1-0.5} = 1.12 . \quad (4)$$

Індуктивність намагнічування трансформатора (L_n) розраховується за наступною формулою:

$$L_2 = \frac{L_1}{n \cdot m} = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{1} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Гн} . \quad (5)$$

В якості сердечника обираємо Epcos E80 (рис.5).

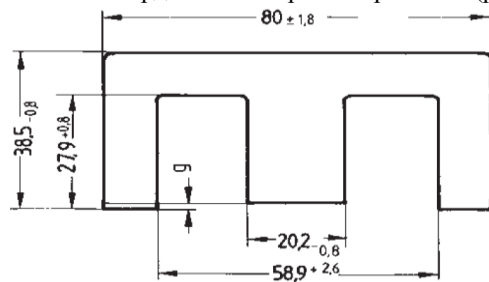


Рис. 5 – Габаритні розміри Epcos E80

Обмотки на сердечнику розрахуємо за такою формулою [15]:

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-5}}{882 \cdot 10^{-9}}} = 5um , \quad (6)$$

де A_L – так званий коефіцієнт індуктивності.

Площа поперечного перерізу провідника:

$$S_{пров} = \frac{I}{j} = \frac{300}{10} = 30mm^2 , \quad (7)$$

де j - допустима щільність струму (j при початковому розрахунку приймають значення 10 А / мм²).

Площа вікна розрахована [20]:

$$S_{вік} = \frac{N \cdot S_{пров}}{k_{зан}} = \frac{5 \cdot 30}{0.3} = 500mm^2 , \quad (8)$$

де $S_{пров}$ – площа перерізу дроту; $k_{зан}$ - коефіцієнт заповнення вікна. Типове значення $k_{зан}$ по міді становить 0,3.

Площа вікна складає двох сердечників E80 складає:

$$S_{\text{вік серд}} = \frac{58.9 - 20.2}{2} \cdot 2 \cdot 27.9 = 1080 \text{ мм}^2 \quad (9)$$

Розрахуємо діаметр проводу, який необхідний:

$$d_{\text{пров}} = 2 \sqrt{\frac{S_{\text{пров}}}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{30}{\pi}} = 6.2 \text{ мм} \quad (10)$$

Перевіряємо коефіцієнт заповнення вікна:

$$k = \frac{2 \cdot S_{\text{пров}}}{S_{\text{вік серд}}} = \frac{60}{1080} = 0.1 \quad (11)$$

Таким чином робимо висновок, що площі вікна вистачить для намотки такого провідника.

Однак ще слід враховувати скін ефект, оскільки трансформатор працює на високій частоті. Тому в такому випадку варто використовувати багатожильний провідник. Отже, обираємо мідний провід з діаметром $d=1\text{мм}$ і площею поперечного перерізу $S_{\text{перер}}=0.75\text{мм}^2$.

Розрахуємо кількість проводів в жилі:

$$n = \frac{S_{\text{пров}}}{S_{\text{перер}}} = \frac{30}{0.75} = 40 \text{ шт} \quad (12)$$

Таким чином у жилі буде 40 провідників, площа перерізу однієї такої жили не буде перевищувати площу одного розрахованого провідника.

Розрахунок трифазного інвертора

Проведемо розрахунки для першого перетворювача (П1). На рис. 6 зображено трьох фазний інвертор, який буде далі розрахований.

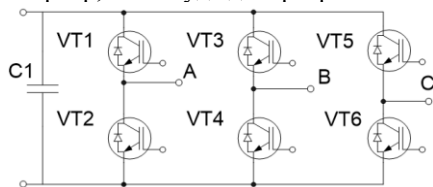


Рис. 6 – Трифазний інвертор

Вхідні дані для розрахунку: вхідна напруга $U = 550-600\text{ В}$; потужність $P = 180\text{ кВт}$.

$$I = \frac{P}{U_{\text{in}}} = \frac{180 \cdot 10^3}{600} = 300 \text{ А} \quad (13)$$

Ємність вхідного конденсатора визначаються величиною пульсацій струму через нього, яка розраховується за наступною формулою :

$$I_{C1} = I_{\text{out}} \frac{\sqrt{V_{\text{out}}(V_{\text{in}} - V_{\text{out}})}}{V_{\text{in}}} = 144,6 \text{ А} \quad (14)$$

Для вибору вхідного конденсатора необхідно враховувати імпеданс джерела. Тому в такому випадку достатньо встановити вхідний конденсатор ємністю 10-22 мкФ в розрахунку на 1 А. Отже, розрахована вхідна ємність складає $C1 = 2175\text{ мкФ}$. Обираємо конденсатор ALC70A221DC550, параметри якого наведено в табл.2.

Таблиця 2 – Параметри транзистора

Ємність, мкФ	2200
Робоча напруга, В	550
Робоча температура, °С	-40...+85
Внутрішній опір, Ом	1,95
Сторок служби, год	18000

Згідно з попередніми розрахунками транзистор бути розрахований на напругу в 600 В і струм в 300 А. Тому відповідно до цих параметрів оберемо силовий модуль SKM450GB12E4. Головні технічні характеристики наведені в табл.3.

Таблиця 3 – Параметри силового модуля

Напруга колектор емітер (UCES), В	1200
Напруга база-емітер (UGE), В	-20..20
Час наростання (ton), нс	246
Час спаду (tof), нс	529
Повний заряд затвору, мкКл	62
Номінальний струм колектора (Ic), А	450
Наявність діода	Так
Номінальний струм діоду (IF), А	440

Результати моделювання

На рис. 7 зображено модель релейного керування. Вона працює наступним чином, при перевищенні вхідного струму порогового значення буде вмикатися перший релейний елемент, який в свою чергу через систему розподілення імпульсів буде керувати транзисторами. Кожний канал системи розподілення буде керувати парою діагонально ввімкнених транзисторів. Тобто в один момент часу буде працювати одна пара діагонально ввімкнених транзисторів, а в інший момент – інша. Це робиться для того, щоб трансформатор не намагнічувався. При споживанні струму нижче порогового значення релейний елемент буде вимикатися.

Другий релейний елемент буде спрацьовувати при перевищенні напруги вище порогового рівня. Він також працює через систему розподілення імпульсів та керує парою діагонально ввімкнених транзисторів.

На рис. 8 зображено струм на вході та напругу на виході схеми. На цих діаграмах можна спостерігати ввімкнення першого реле на діаграмі струму та ввімкнення другого на діаграмі напруги. Порогові рівні спрацювання в даній моделі по струму 40А (± 1) та по напрузі 120В (± 1).

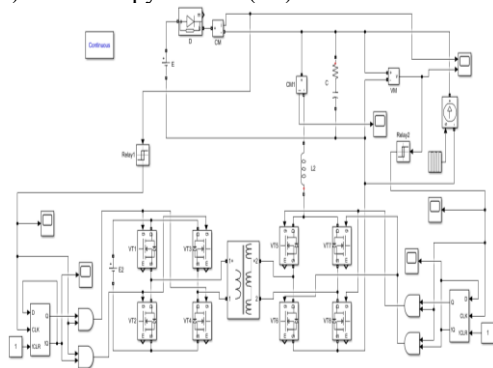


Рис. 7 – Модель релейного керування

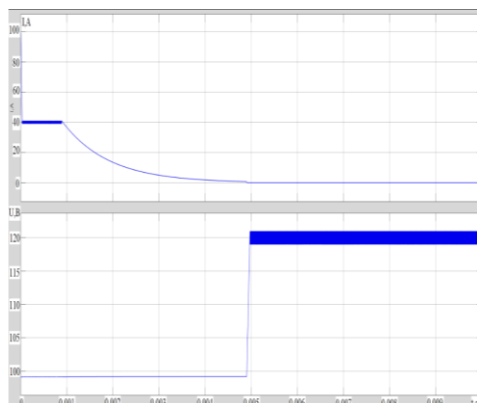


Рис. 8 – Струм та напруга при релейному керуванні

Висновки

У статті проведено дослідження системи живлення тролейбуса з високовольтним акумулятором. На основі режимів руху тролейбуса з високовольтним акумулятором запропоновано блок-схему живлення електроприводу та проведено розрахунки для перетворювачів. Така система дасть змогу рухатися транспортному засобу автономно навіть при відсутності мережі, а також під час гальмування система здатна накопичувати енергію до акумуляторної батареї. Також за рахунок використання накопиченої енергії в акумуляторі можна зменшити навантаження на мережу під час пуску при перевищенні порогового значення споживання струму, використовуючи для живлення приводу лише батарею. Дану систему було промодельовано в програмному середовищі та представлено діаграми її роботи.

Список літератури

1. Богодістий П. А. *Проектування та експлуатація тролейбусів ЮМЗ-Т2, ЮМЗ-Т2П, ЮМЗ-Т2 мод. 7, Богдан-Т70110, Богдан-Т70117*. АСМІ, Полтава, 2018, 436 с.
2. Bartlomiejczyk M., Hrbac R., Polom M. Trolleybus with traction batteries for autonomous running. *International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, Electoenergetica*. 2013.
3. Rogge M., Wollny S. Uwe Sauer D. Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport—A Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements. *Energies*. 2015. 8. P. 4587-4606. doi:10.3390/en8054587.
4. Губка І. О., Вербицький Є. В. Комбінована система електроживлення тролейбуса та економічний ефект від її використання. *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*. 2019. 24(4). P. 32-39. doi: 10.20535/2523-4455.2019.24.4.183845.
5. Yang S. C., Li M., Lin Y., Tang T. Q. Electric vehicle's electricity consumption on a road with different slope. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2014. 402. P. 41-48. doi: 10.1016/j.physa.2014.01.062.
6. Мартюхін І. А., Білий М. В. Транспортний засіб з акумулятором зі зменшеними масогабаритними показниками. *Електронна та акустична інженерія*. 2019. 2. № 1. С. 16-20. doi:10.20535/2617-0965.2019.2.1.162155.
7. Grygar D., Kohani M., Stefun R., Drgona P. Analysis of limiting factors of battery assisted trolleybuses. *Transportation Research Procedia*. 2019. 40. P. 229-235. doi:10.1016/j.trpro.2019.07.035.

8. Verbytskyi I. V., Zhuikov V. J. Asynchronous motor drive interharmonics calculation based on generalized Fourier series of several variables. *Technical Electrodynamic*. 2020. № 2. P. 36-42. doi: 10.15407/techned2020.02.036.
9. Куценко Ю. М., Яковлев В. Ф., Смуригін В. М., Ковальов О. В., Вужицький А. В. *Електричні машини та апарати*. Навч. Посібник. К.: Аграрна освіта, 2013.
10. Gou Yanan. Research on Electric Vehicle Regenerative Braking System and Energy Recovery. *International Journal of Hybrid Information Technology*. 2016. 9(1). P. 81-90. doi: 10.14257/ijhit.2016.9.1.08.
11. Яцина М. М. Дослідження рекуперації енергії в процесі гальмування на гідридних автомобілях з використанням пневмодвигуна. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2018. 2 (83). doi: 10.20535/2521-1943.2018.83.137493.
12. Ndoye A., Delpoux R., Hetel L., Kruszewski A., Tregouet J.-F., Lin-Shi X. Robust relay control for buck converters: experimental application. *2019 IEEE 58th Conference on Decision and Control (CDC)*. 2019. doi:10.1109/cdc40024.2019.9030179.
13. Polyakov A., Hetel L. Relay Control Design for Robust Stabilization in a Finite-Time. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 2017. 62(4). P. 1985–1991. doi:10.1109/tac.2016.2591725.
14. *Системи електроживлення електронної апаратури*. Конспект лекцій для студентів спеціальності 171 «Електроніка», спеціалізації 8(7).050802 «Електронні системи». К.: НТУУ «КПІ», 2016. 180 с.
15. Бирюков С. *Дроссели для импульсных источников питания на ферритовых кольцах*. 2010.

References (transliterated)

1. Bogodisty P.A. *Design and operation of trolleybuses YuMZ-T2, YuMZ-T2P, YuMZ-T2 mod. 7, Bogdan-T70110, Bogdan-T70117*. ASMI. Poltava, 2018. 436 p.
2. Bartlomiejczyk M., Hrbac R., Polom M. Trolleybus with traction batteries for autonomous running, *International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, Electoenergetica*, 2013.
3. Rogge M., Wollny S. and Uwe Sauer D. Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport—A Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements, *Energies*, 2015, 8, pp. 4587-4606, doi:10.3390/en8054587.
4. Hubka I. O., Verbytskyi I. V. Combined trolleybus power supply system and economic effect from its use. *Microsystems, Electronics and Acoustics*. 2019, 24(4), pp. 32-39, doi: 10.20535/2523-4455.2019.24.4.183845.
5. Yang S. C., Li M., Lin Y., Tang T. Q. Electric vehicle's electricity consumption on a road with different slope, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2014, 402, pp. 41-48, doi: 10.1016/j.physa.2014.01.062.
6. Martyukhin I. A., Bely M. V. Vehicle with a battery with reduced overall dimensions, *Electronic and acoustic engineering*, 2019, 2, no. 1, pp. 16-20, doi: 10.20535/2617-0965.2019.2.1.162155.
7. Grygar D., Kohani M., Stefun R., Drgona P. Analysis of limiting factors of battery assisted trolleybuses. *Transportation Research Procedia*, 2019, 40, pp. 229-235, doi:10.1016/j.trpro.2019.07.035.
8. Verbytskyi I. V., Zhuikov V. J. Asynchronous motor drive interharmonics calculation based on generalized Fourier series

- of several variables. *Technical Electrodynamics*, 2020, № 2, pp. 36-42, doi: 10.15407/techmed2020.02.036.
9. Kutsenko Yu. M., Yakovlev V. F., Smurigin V. M., Ковальов О. В., Vuzhitsky A. B. *Electrical Machines and Apparatus*, Textbook. Kyiv, Agricultural Education, 2013.
 10. Gou Yanan, Research on Electric Vehicle Regenerative Braking System and Energy Recovery. *International Journal of Hybrid Information Technology*, 2016, 9(1), pp. 81-90, doi: 10.14257/ijhit.2016.9.1.08.
 11. Yatsyna M. M. Investigation of energy recovery during braking on hybrid cars using a pneumatic engine. *Mechanics and Advanced Technologies*, 2018, №2 (83), doi: 10.20535/2521-1943.2018.83.137493.
 12. Ndoye A., Delpoux R., Hetel L., Kruszewski A., Tregouet J.-F., Lin-Shi X. Robust relay control for buck converters: experimental application. *2019 IEEE 58th Conference on Decision and Control (CDC)*, 2019. doi:10.1109/cdc40024.2019.9030179.
 13. Polyakov A., Hetel L. Relay Control Design for Robust Stabilization in a Finite-Time. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2017, 62(4), pp. 1985–1991. doi:10.1109/tac.2016.2591725.
 14. *Power supply systems for electronic equipment*. Lecture notes for students majoring in 171 "Electronics", specialization 8(7).050802"Electronic Systems". K., NTUU "KPI", 2016. 180.
 15. Biryukov C. *Chokes for switching power supplies on ferrite rings*, 2010.

Відомості про авторів (About authors)

Мартюхін Ігор Андрійович – магістр, кафедра електронних пристроїв та систем, факультет електроніки Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна; ORCID: 0000-0003-3004-0487; e-mail: margigoand@ukr.net.

Ihor Martiukhin – Master, Department of Electronic Devices and Systems, Faculty of Electronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-3004-0487; e-mail: margigoand@ukr.net.

Вербицький Євген Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри електронних пристроїв та систем, факультет електроніки Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна; ORCID: 0000-0001-7275-5152; e-mail: verbitskiy@bigmir.net.

Ievgen Verbytskyi – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Ph. D., Assoc. Prof., Department of Electronic Devices and Systems, Faculty of Electronics, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-7275-5152; e-mail: verbitskiy@bigmir.net

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Мартюхін І. А., Вербицький Є. В. Система електроживлення троллейбуса з високовольтним акумулятором. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 4 (6). С. 33-39. doi:10.20998/2413-4295.2020.04.05.

Please cite this article as:

Martiukhin I., Verbytsky I. Trolleybus power supply system with high-voltage battery. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 4 (6), pp. 33-39, doi:10.20998/2413-4295.2020.04.05.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Мартюхин И. А., Вербицкий Е. В. Система электропитания троллейбуса с высоковольтным аккумулятором. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 4 (6). С. 33-39. doi:10.20998/2413-4295.2020.04.05.

АННОТАЦІЯ *Общественный транспорт в городах за последние годы приобрел большее внимание за повышения комфорта жизни в мегаполисах. Экономические и экологические показатели городов можно улучшить за счет эффективного подключения ресурсов в сфере общественного транспорта и повышение мобильности транспортных средств. За последние два десятилетия в развивающихся странах, наблюдается огромный прирост населения. Рост численности населения привело к росту спроса на мобильность. Если транспортная инфраструктура не способна удовлетворить требования, это приводит к увеличению времени ожидания общественного транспорта и пробок на улицах. Общественный транспорт может быть более привлекательным, обеспечивая мобильность «от двери до двери», а развитие транспортных услуг является важным фактором для жизни в мегаполисах. Устойчивость транспорта, экологические условия местности, здравоохранение и экономическое положение жителей можно повысить путем перехода к более мобильной общественного транспорта. Простыми словами, мобильность с помощью общественного транспорта позволяет уменьшить неблагоприятное влияние использования автомобилей на состояние окружающей среды и здоровье. Уровень мобильности города можно улучшить, обеспечив хорошо организованную транспортную систему. Итак, доступность остановок общественного транспорта, сопряженность видов общественного транспорта и мобильность системы должны рассматриваться для обеспечения удобной для пользователей системы общественного транспорта. Поэтому в ползу были рассмотрены режимы движения троллейбуса и на основе этих данных было предложено систему электропитания с использованием аккумуляторной батареи. Такой вид питания транспортного средства повысит мобильность троллейбуса за счет использования силовой батареи, в свою очередь полезно при заторах, транспортных происшествиях, а также при отсутствии сети. Показано расчет инверторов необходимых для работы такой системы. Контроль будет происходить с помощью релейной управления, что позволит троллейбуса автономно двигаться, а также позволит накапливать энергию к аккумуляторной батарее.*

Ключевые слова: троллейбус; система питания; силовой аккумулятор; релейное управления; режимы движения; преобразователь с двусторонним передачей энергии

Надійшла (received) 01.12.2020