

УДК 621.314

doi:10.20998/2413-4295.2020.04.03

МОДУЛЬНИЙ ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ АКУМУЛЯТОРА ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З ДВОСТОРОННІМ ПЕРЕДАВАННЯМ ЕНЕРГІЇ

Є. В. ВЕРБИЦЬКИЙ*, А. В. ГАРНИЦЬКИЙ

Кафедра електронних пристроїв та систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Київ, УКРАЇНА
*e-mail: verbitskiy@bigmir.net

АНОТАЦІЯ Описані перспективи використання акумуляторних батарей електромобілів в якості регуляторів мережі або резервних джерел живлення згідно з концепціями V2G (Vehicle to Grid) та G2V (Grid to Vehicle). Визначено вимоги, яким мають відповідати двонаправлені перетворювачі електроенергії: широкий діапазон параметрів вхідної напруги, корекція коефіцієнта потужності вхідного струму, відбирання максимальної потужності від відновлювальних джерел енергії, висока енергетична ефективність. Обрана топологія двонаправленого ізолюваного перетворювача з двома активними мостами, що підтримує м'яку комутацію транзисторів при нульовій напрузі та запропонований модульний підхід до побудови перетворювача, який має ряд переваг, серед них: забезпечення будь-яких значень напруги або струму, зниження пульсацій, підвищення коефіцієнта корисної дії схеми, висока надійність, завдяки можливості включення резервних модулів, що можуть замінити основні в разі їхньої відмови, зменшення габаритів реактивних елементів і можливість роботи кожної комірки на вищих частотах. Обрано найефективніший для поставленої задачі тип з'єднання комірок – паралельно по входу і по виходу, що дозволяє розподілити між модулями вхідний і вихідний струми. Представлено розрахунок однієї комірки перетворювача, а саме: розрахунок високочастотного трансформатора, транзисторів і згладжувального LC-фільтра та проведений порівняльний аналіз технічних показників в одно- та багатокіткових перетворювачах. Проведене моделювання в програмному середовищі Matlab Simulink, оцінено ефект від використання модульного перетворювача при роботі з джерелами постійної та змінної напруги, зокрема проведено порівняння коефіцієнтів пульсації в перетворювачах із різною кількістю комірок при сталому значенні габаритів згладжувального фільтра, а також підібрані параметри фільтра для різної кількості комірок, при яких забезпечується однаковий коефіцієнт пульсацій. Результати моделювання підтвердили правильність розрахунків та довели ефективність використання модульної топології перетворювача.

Ключові слова: зарядний пристрій електромобіля; концепція Vehicle to Grid; модульний перетворювач

MODULAR ELECTRIC VEHICLE BATTERY CHARGER WITH BIDIRECTIONAL POWER FLOW

I. VERBYTSKYI, A. HARNYTSKYI

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

ABSTRACT Prospects for the use of rechargeable battery electric vehicles as regulators of the network or backup power supplies in accordance with the concepts of V2G (Vehicle to Grid) and G2V (Grid to Vehicle) are described. The requirements for bidirectional power converters are defined: a wide range of input voltage parameters, correction of the input current power factor, maximum power take-off from renewable energy sources, high energy efficiency. The chosen topology of the bidirectional dual active bridge converter, which supports soft switching of transistors at zero voltage and the proposed modular approach to the construction of converters, has a number of advantages: provide any voltage or current, reduce ripple, high efficiency, high reliability, due to the ability to include backup modules that can be replaced by the main in case of failure, reduction of the size of reactive elements and the ability to operate each cell on other frequencies. The most effective type of cell combination for the main task is developed - input parallel and output parallel connection are allows sharing input and output current between the modules. The dependence of the ripple coefficient on each cell is defined. The calculation of one cell of converters, namely the calculation of high-frequency transformer, transistors, and smoothing LC-filter is presented and the comparative analysis of technical indicators in one-cell and multi-cell converters is carried out. Modeling in Matlab Simulink software environment, evaluation of the effect of using a modular converter when working with DC and AC sources, comparison of ripple coefficients in converters with a different number of a cell at a constant value of the parameters of the LC-filter, and selected filter parameters at which one coefficient of pulsations is applied. The simulation results showed that the coefficients of the ripple are decreasing depending on the number of cells of the transducer in accordance with the dependence obtained by analytical calculations. Thus, the results are confirming the correctness of the calculations and prove the efficiency of the use of modular transformation topology.

Keywords: electric car charger; concept Vehicle to Grid; modular converter

Вступ

Завдяки постійному здешевленню електричних акумуляторів, дедалі більше зростає попит на

електромобілі. Інтегрування акумуляторів до централізованих або автономних джерел електроживлення під час стоянки дає можливість використовувати їхню енергію в якості регулятора

мережі або резервного джерела [1]. Принцип роботи автомобільних акумуляторів у складі систем електроживлення описано в концепціях V2G (Vehicle to Grid) та G2V (Grid to Vehicle) [2,3]. Для забезпечення ефективного функціонування автомобільних акумуляторів в мережі необхідно розробити універсальний зарядний пристрій з двостороннім передаванням енергії, який відповідає таким вимогам:

- широкий діапазон параметрів вхідної напруги;
- корекція коефіцієнта потужності вхідного струму;
- відбирання максимальної потужності від відновлювальних джерел енергії;
- висока енергетична ефективність.

Однією з найпоширеніших топологій двонаправленого перетворювача є ізовольований повномостовий перетворювач (рис. 1) [4,5].

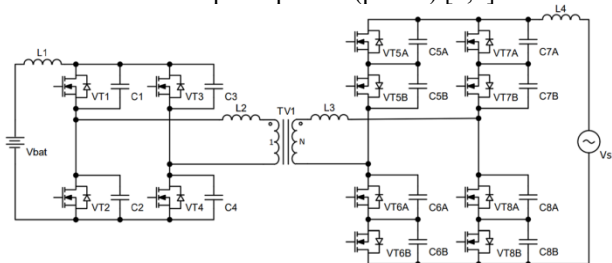


Рис. 1 – Принципова схема двонаправленого ізовольованого повномостового перетворювача

Такий перетворювач виконаний на основі двох активних мостів, з'єднаних між собою високочастотним трансформатором, що дозволяє передавати енергію в обох напрямках і працювати як зі змінним, так і з постійним струмом. М'яка комутація дозволяє зменшити втрати при перемиканні та досягти вищої енергоефективності.

Однак така схема має недоліки: вихідний струм має великий коефіцієнт пульсації, а коефіцієнт корисної дії спадає при збільшенні потужності. Вирішити ці проблеми можна застосувавши модульний підхід до побудови перетворювача, що передбачає розподіл структури у вигляді кількох однотипних модулів відносно невеликої потужності (рис. 2).

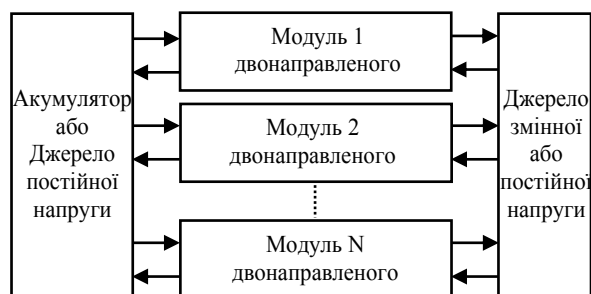


Рис. 2 – Структурна схема двонаправленого перетворювача

Мета роботи

У статті пропонується використання модульного підходу до побудови двонаправленого перетворювача задля підвищення ефективності та надійності перетворювача

Аналіз роботи перетворювача

До переваг модульних перетворювачів можна віднести:

- забезпечення будь-яких значень напруги або струму;
- зниження пульсацій;
- підвищення ККД схеми;
- висока надійність завдяки тому, що кілька модулів можуть бути включені як функціонально надлишкові і при відмові основних модулів можуть замінити їх;
- зменшення габаритів реактивних елементів, оскільки малі комірочки можуть працювати на вищих частотах;
- зменшення розмірів радіаторів або повне виключення їх.

Велика кількість модулів істотно збільшує вимоги до контролера перетворювача, але кожен модуль пропонує просту структуру зменшуючи виробничі витрати [6–9].

З'єднання модулів паралельно по входу і по виходу дозволяє розподілити між модулями вхідний і вихідний струми. Струм кожної комірки має бути зсунутий на певний кут, який залежить від кількості комірок [10–14].

Коефіцієнт пульсації струму на виході випрямляча k_n визначається відношенням різниці максимального і мінімального миттєвих значень струму до середнього значення:

$$k_n(m) = \frac{\sum_{n=0}^{m-1} \sin\left(\pi - \frac{\pi}{2 \cdot m} - \frac{n \cdot \pi}{m}\right) - \sum_{n=0}^{m-1} \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{m}\right)}{m \cdot \frac{2}{\pi}} = \frac{\csc\left(\frac{\pi}{2m}\right) - \cot\left(\frac{\pi}{2m}\right)}{m \cdot \frac{2}{\pi}}, \quad (1)$$

де m – кількість комірок.

В табл. 1 подані коефіцієнт пульсації K_n та зсув фаз для модульних перетворювачів. Де m – це число комірок.

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнту пульсацій K_n від кількості комірок

m	K_n
1	1.571
2	0.325
3	0.14
4	0.078

Розглянемо модульний перетворювач, що складається з чотирьох комірок (рис. 3). Струм кожної комірки зсунутий на кут $\frac{\pi}{4}$. Вихідний струм перетворювача зображений на рис. 4.

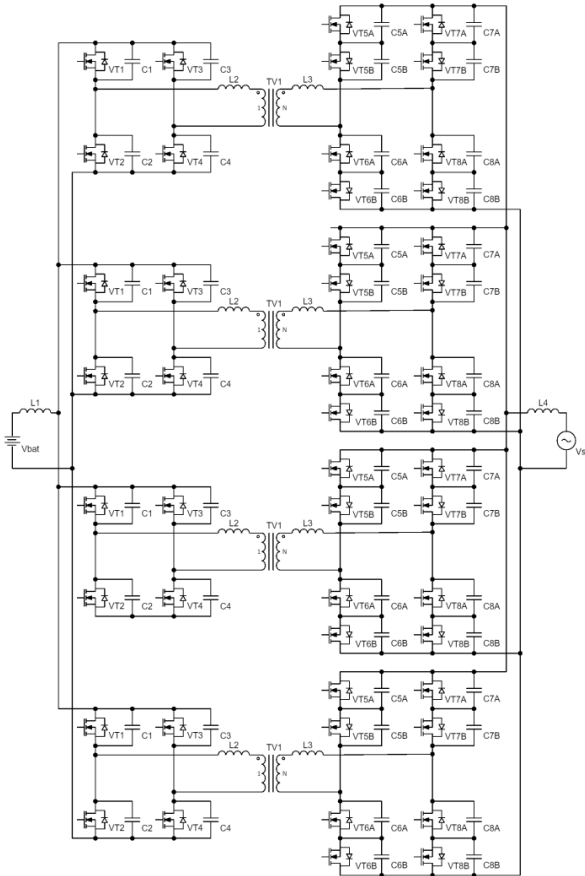


Рис. 3 – Принципова схема перетворювача виконаного на чотирьох модулях

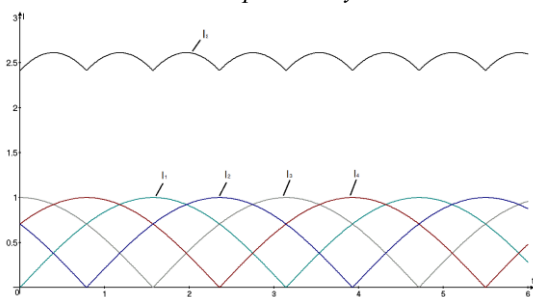


Рис. 4 – Струм на виході випрямляча чотирикміркового перетворювача

Габаритна потужність трансформатора визначається відносно ККД трансформатора, а також значень діючого струму і напруги навантаження, які є максимальними при мінімальному коефіцієнті заповнення:

$$P_2 = \frac{U_{\text{вих}} I_{\text{вих max}}}{\gamma_{\text{min}} \eta_{TV}} \quad (2)$$

Коефіцієнт трансформації трансформатора:

$$n = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{ex min}} \cdot \gamma_{\text{max}}} \quad (3)$$

Добуток площ фериту на площу вікна:

$$S_{\text{фер}} S_{\text{в}} = \frac{10^2 P_2}{2k_{\phi} f j B k_e} \quad (4)$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт заповнення феритом, f – робоча частота, j – щільність струму в обмотці, B – індукція в осерді, k_e – коефіцієнт заповнення вікна.

Згідно з отриманим значення обирається осердя і розраховується кількість витків первинної W_1 і вторинної W_2 обмоток і діаметри їх провідників d_1 і d_2 відповідно:

$$W_1 = \frac{U_{\text{ex max}} 10^4}{4k_{\phi} B f S_{\text{фер}}}; W_2 = n W_1; \quad (5)$$

$$d_1 = 1.13 \sqrt{\frac{P}{\eta U_{\text{max}} \sqrt{\gamma_{\text{min}} j}}}; \quad (6)$$

$$d_2 = 1.13 \frac{1}{n} \sqrt{\frac{P}{U_{\text{max}} \sqrt{\gamma_{\text{min}} j}}}; \quad (7)$$

де P – потужність перетворювача.

Індуктивність розсіювання трансформатора:

$$L_{lk} = \frac{n^2 \cdot U_{\text{вих}}^2 \cdot \gamma_{\text{max}}}{8 \cdot P \cdot f} \quad (8)$$

Піковий струм перемикання транзисторів на вторинній стороні:

$$I_{\text{pswitch}} = \frac{n^2 \cdot U_{\text{вих}}}{2 \cdot L_{lk} \cdot f} \cdot \gamma_{\text{max}} \quad (9)$$

Піковий струм перемикання транзисторів на первинній стороні:

$$I_{\text{dswitch}} = \frac{n^3 \cdot U_{\text{вих}}^2}{2 \cdot L_{lk} \cdot f \cdot U_{\text{ex max}}} \cdot \gamma_{\text{max}} \quad (10)$$

Для визначення параметрів згладжувального фільтра необхідно задатися коефіцієнтом згладжування:

$$K_3 = \frac{K_{\text{вх}}}{K_{\text{вих}}}, \quad (10)$$

де $K_{\text{вх}}$ – коефіцієнт пульсацій на вході фільтра, $K_{\text{вих}}$ – коефіцієнт пульсацій на його виході.

Величина індуктивності фільтра визначається з умови забезпечення безперервності струму в дроселі.

$$L \geq \frac{K_{\text{вих max}} \cdot R_d}{\omega} \quad (11)$$

Коефіцієнт згладжування і габарити фільтра пов'язані співвідношенням:

$$K_3 = \omega^2 \cdot L \cdot C - 1 \quad (12)$$

Водночас обирати ємність та індуктивність потрібно так, щоб хвильовий опір індуктивності був

більшим, а хвильовий опір ємності – меншим ніж опір навантаження, резонансна частота – меншою ніж робоча частота.

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (13)$$

Моделювання перетворювача в середовищі Matlab Simulink

Для оцінки технічних показників ефективності використання модульного перетворювача в середовищі Matlab Simulink створено модель перетворювача (рис. 5). Параметри перетворювача $E1 = 220 \text{ В}$, $E2 = 220 \text{ В}$. Модель транзистора створено на основі транзистора SPW21N50C3 [15] з параметрами: опір відкритого каналу транзистора $R_{on} = 0.19 \text{ Ом}$, напруга стік-витік $U_{DS} = 560 \text{ В}$, ємність переходу стік-витік $C_{DS} = 1.2 \text{ нФ}$.

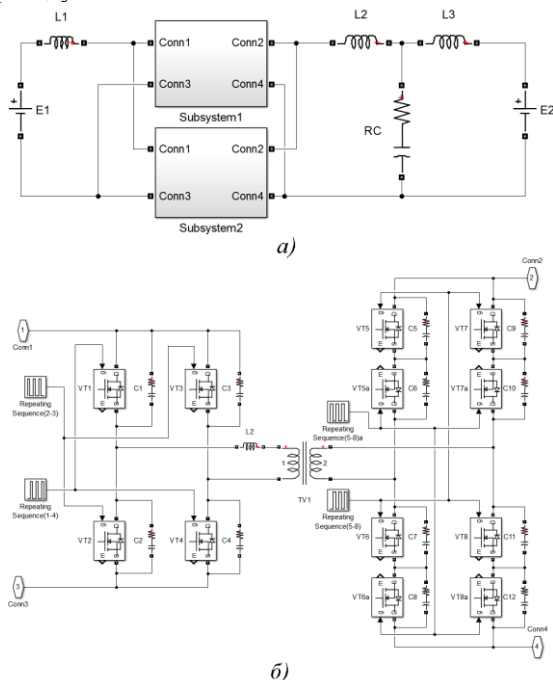


Рис. 5 – Модель перетворювача в середовищі Matlab Simulink а) схема двомодульного перетворювача, б) схема одного модуля

Залежність коефіцієнта пульсацій K_n від кількості комірок m при сталих габаритах фільтра наведена в табл. 2, а залежність габаритів фільтра від кількості комірок m при сталому значенні коефіцієнта пульсацій $K_n = 0.072$ наведена в табл. 3.

Таблиця 2 – Залежність пульсацій від кількості комірок при сталих габаритах фільтра

m	K_n
1	0.072
2	0.0047
3	0.0008
4	0.0002

Таблиця 3 – Залежність габаритів фільтра від кількості комірок m при сталому коефіцієнті пульсацій на виході

m	L	C
1	7 мГн	3.02 нФ
2	1.9 мГн	0.82 нФ
3	696 мкГн	0.3 нФ
4	0	5

На рис. 6 представлені осцилограми вхідного струму джерела змінної напруги, що встановлено замість джерела постійної напруги $E2$.

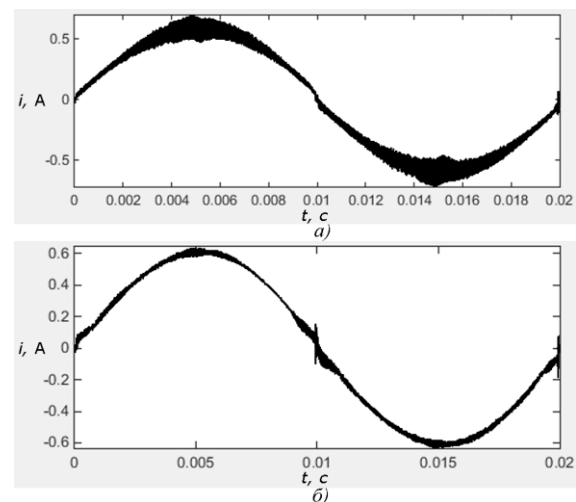


Рис. 6 – Діаграма вхідного струму джерела синусоїдальної напруги а) одномодульного перетворювача, б) двомодульного перетворювача

Коефіцієнт нелінійних спотворень струму в одномодульному перетворювачі складає $\text{THD} = 9.48 \%$, а в двомодульному $\text{THD} = 4.29\%$. Отже зі збільшення кількості комірок форма струму покращується.

Висновки

У статті запропоновано підхід до побудови двонаправленого перетворювача на основі використання кількох однотипних модулів, струми яких зсунуті за фазою один відносно одного. Обрано найефективніший для поставленої задачі тип з'єднання – паралельно по входу і по виходу, що дозволяє розподілити між модулями вхідний і вихідний струми. Представлені розрахунки однієї комірки перетворювача та шляхом моделювання в програмному середовищі Matlab Simulink порівняні коефіцієнти пульсації при різній кількості комірок. Результати моделювання показали, що зі збільшенням кількості комірок коефіцієнт пульсацій на виході перетворювача зменшується, а, отже, використання модульної топології перетворювача є ефективним.

Подяка

Наукові дослідження, висвітлені у статті, виконані в рамках науково-дослідної теми № 0120U102131, що фінансується Міністерством освіти і науки України.

Список літератури

- White C. D., Zhang K. M. Using vehicle-to-grid technology for frequency regulation and peak-load reduction. *J. Power Sources*, 2011, № 196, P. 3972–3980. doi:10.1016/j.jpowsour.2010.11.010.
- Zhou Y., Li X. Vehicle to Grid Technology: A Review. *34th Chinese Control Conference*, 2015, P. 9031–9036. doi:10.1109/chicc.2015.7261068.
- Weise N. D., Mohapatra K. K., Mohan N. Universal utility interface for plug-in hybrid electric vehicles with vehicle-to-grid functionality. *2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, P. 1–8. doi:10.1109/PES.2010.5589710.
- Alonso A. R., Sebastian J., Lamar D. G., Hernando M. M., Vazquez A. An overall study of a dual active bridge for bidirectional dc/dc conversion. *2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, P. 1129–1135. doi:10.1109/ECCE.2010.5617847.
- Xie Y., Sun J., Freudenberg J.S. Power flow characterization of a bidirectional galvanically isolated high-power DC/DC converter over a wide operating range. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2010, № 25 (1), P. 54–66. doi:10.1109/TPEL.2009.2024151.
- Weise N. D., Castelino G., Basu K., Mohan N. A single-stage dual-active-bridge-based soft switched AC-DC converter with open-loop power factor correction and other advanced features. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2014, № 29 (8), P. 4007–4016. doi:10.1109/TPEL.2013.2293112.
- Zumel P., Ortega L., Lazaro A., Fernandez C., Barrado A., Rodriguez A. Modular dual-active bridge converter architecture. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2015, № 52 (3), P. 2444–2455. doi:10.1109/TIA.2016.2527723.
- Ievgen Verbytskyi, Oleksandr Bondarenko, Dmitri Vinnikov. Multicell-type current regulator based on Cuk converter for resistance welding. *2017 IEEE 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, 2017, P. 1–6. doi:10.1109/RTUCON.2017.8124844.
- Verbytskyi Ievgen, Bondarenko Oleksandr, Kaloshyn Oleksandr. Multicell-type charger for supercapacitors with power factor correction. *Young Engineers Forum (YEF-ECE)*, Costa da Caparica, Portugal, 2018, P. 91–96. doi:10.1109/YEF-ECE.2018.8368945.
- Бондаренко О. Ф., Бондаренко Ю. В., Сафронов П. С., Калошин О. О. Проблеми оцінки надійності перетворювачів з модульною топологією. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*, 2017, Вип. 27 (1249), С. 238–243.
- Hu T., Khan M. M., Xu K., Zhou L., Rana A. Design of an input-parallel output-parallel multi-module dc-dc converter using a ring communication structure. *J. Power Electron*, 2015, № 15, P. 886–898. doi:10.6113/JPE.2015.15.4.886
- Blinov A., Verbytskyi I., Zinchenko D., Vinnikov D., Galkin I. Modular Battery Charger for Light Electric Vehicles. *Energies*, 2020, №13 (4), P. 774. doi:10.3390/en13040774

- Wang Y., Wang F., Lin Y., Hao T. Sensorless parameter estimation and current-sharing strategy in two-phase and multiphase IPOD DAB DC–DC converters. *IET Power Electronics*, 2018, № 11 (6), P. 1135–1142. doi:10.1049/ietpel.2017.0860.
- Tseng K.-C., Huang C.-C. High Step-Up High-Efficiency Interleaved Converter With Voltage Multiplier Module for Renewable Energy System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2014, 61(3), P. 1311–1319. doi:10.1109/tie.2013.2261036.
- Infineon Technologies AG, “Cool MOS Power Transistor” SPW21N50C3 datasheet, 2008. URL: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-SPW21N50C3-DS-v02_05-en.pdf?fileId=db3a304412b407950112b42cf60a47dc (дата звернення: 12.11.2020).

References (transliterated)

- White C. D., Zhang K. M. Using vehicle-to-grid technology for frequency regulation and peak-load reduction. *J. Power Sources*, 2011, no. 196, pp. 3972–3980, doi:10.1016/j.jpowsour.2010.11.010.
- Zhou Y., Li X. Vehicle to Grid Technology: A Review. *34th Chinese Control Conference*, 2015, pp. 9031–9036, doi:10.1109/chicc.2015.7261068.
- Weise N. D., Mohapatra K. K., Mohan N. Universal utility interface for plug-in hybrid electric vehicles with vehicle-to-grid functionality. *2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1–8, doi:10.1109/PES.2010.5589710.
- Alonso A. R., Sebastian J., Lamar D. G., Hernando M. M., Vazquez A. An overall study of a dual active bridge for bidirectional dc/dc conversion. *2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, pp. 1129–1135, doi:10.1109/ECCE.2010.5617847.
- Xie Y., Sun J., Freudenberg J. S. Power flow characterization of a bidirectional galvanically isolated high-power DC/DC converter over a wide operating range. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2010, no. 25 (1), pp. 54–66, doi:10.1109/TPEL.2009.2024151.
- Weise N. D., Castelino G., Basu K., Mohan N. A single-stage dual-active-bridge-based soft switched AC-DC converter with open-loop power factor correction and other advanced features. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2014, no. 29 (8), pp. 4007–4016, doi:10.1109/TPEL.2013.2293112.
- Zumel P., Ortega L., Lazaro A., Fernandez C., Barrado A., Rodriguez A. Modular dual-active bridge converter architecture, 2015, no. 52 (3), pp. 2444–2455, doi:10.1109/TIA.2016.2527723.
- Ievgen Verbytskyi, Oleksandr Bondarenko, Dmitri Vinnikov. Multicell-type current regulator based on Cuk converter for resistance welding. *2017 IEEE 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, 2017, pp. 1–6, doi:10.1109/RTUCON.2017.8124844.
- Verbytskyi Ievgen, Bondarenko Oleksandr, Kaloshyn Oleksandr. Multicell-type charger for supercapacitors with power factor correction. *Young Engineers Forum (YEF-ECE)*, Costa da Caparica, Portugal, 2018, pp. 91–96, doi:10.1109/YEF-ECE.2018.8368945.
- Bondarenko O. F., Bondarenko Yu. V., Safronov P. S., Kaloshyn O. O. Problemy` ocinky` nadijnosti peretvoryuvachiv z modul`noyu topologiyeyu [Problems of estimating the reliability of converters with modular

- topology]. *Bulletin of NTU "KhPI"*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, no. 27 (1249), pp. 238–243.
11. Hu T., Khan M. M., Xu K., Zhou L., Rana A. Design of an input-parallel output-parallel multi-module dc-dc converter using a ring communication structure. *J. Power Electron.*, 2015, no. 15, pp. 886–898, doi:10.6113/JPE.2015.15.4.886
 12. Blinov A., Verbitskiy I., Zinchenko D., Vinnikov D., Galkin I. Modular Battery Charger for Light Electric Vehicles. *Energies*, 2020, no.13 (4), pp. 774, doi:10.3390/en13040774
 13. Wang Y., Wang F., Lin Y., Hao T. Sensorless parameter estimation and current-sharing strategy in two-phase and multiphase IPOP DAB DC–DC converters. *IET Power Electronics*, 2018, no. 11 (6), pp. 1135–1142, doi: 10.1049/iet-pel.2017.0860.
 14. Tseng, K.-C., Huang, C.-C. High Step-Up High-Efficiency Interleaved Converter With Voltage Multiplier Module for Renewable Energy System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2014, no. 61 (3), pp. 1311–1319, doi: 10.1109/tie.2013.2261036.
 15. Infineon Technologies AG, "Cool MOS Power Transistor" SPW21N50C3 datasheet, 2008, Available at: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-SPW21N50C3-DS-v02_05-en.pdf?fileId=db3a304412b407950112b42cf60a47dc (accessed: 12.11.2020).

Відомості про авторів (About authors)

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

Ievgen Verbitskiy – Candidate of Technical Sciences, associate professor, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", associate professor at the Department of Electronic Devices and Systems, Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-7275-5152; e-mail: verbitskiy@bigmir.net.

Гарницький Андрій Вікторович – студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кафедра електронних пристроїв та систем, Київ, Україна; ORCID: 0000-0003-0978-1694; e-mail: andrij.garnytskiy@gmail.com.

Andrii Harnytskiy – student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Department of Electronic Devices and Systems, Kyiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0978-1694; e-mail: andrij.garnytskiy@gmail.com

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Вербицький Є. В., Гарницький А. В. Модульний зарядний пристрій акумулятора електромобіля з двостороннім передаванням енергії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 4 (6). С. 22–27. doi:10.20998/2413-4295.2020.04.03.

Please cite this article as:

Verbitskiy I., Harnytskiy A. Modular electric vehicle battery charger with bidirectional power flow. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: *New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 4 (6), pp. 22–27, doi:10.20998/2413-4295.2020.04.03.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Вербицкий Е. В., Гарницкий А. В. Модульное зарядное устройство аккумулятора электромобиля с двусторонней передачей энергии. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 4 (6). С. 22–27. doi:10.20998/2413-4295.2020.04.03.

АННОТАЦІЯ Описані перспективи використання акумуляторних батарей електромобілей в якості регуляторів мережі або резервних джерел живлення згідно концепцій V2G (Vehicle to Grid) і G2V (Grid to Vehicle). Визначені вимоги, яким повинні відповідати двонаправлені перетворювачі електроенергії: широкий діапазон параметрів вхідного напруги, корекція коефіцієнта потужності вхідного струму, вибір максимальної потужності від відновлюваних джерел енергії, висока енергетична ефективність. Вибрана топологія двонаправленого ізолюваного перетворювача з двома активними мостами, що підтримує м'яку комутацію транзисторів при нульовому напругуванні і запропонований модульний підхід до побудови перетворювача. Даний підхід має ряд переваг, серед яких: забезпечення будь-яких значень напруги або струму, зниження пульсацій, підвищення коефіцієнта корисної дії схеми, висока надійність, завдяки можливості включення резервних модулів, які можуть замінити основні в разі їх відмови, зменшені габарити реактивних елементів і можливість роботи кожної ячейки на більш високих частотах. Вибрано найефективніший для поставленої задачі тип з'єднання ячеек – паралельно по входу і по виходу, що дозволяє розподілити між модулями вхідний і вихідний струми. Представлено розрахунок однієї ячейки перетворювача, а саме: розрахунок високочастотного трансформатора, транзисторів і згладжуючого LC-фільтра і проведено порівняльний аналіз технічних показників в одній і багатьох модульних перетворювачах. Проведено моделювання в програмній середі Matlab Simulink, оцінено ефект від використання модульного перетворювача при роботі з джерелами постійного і змінного напруги, в частині проведено порівняння коефіцієнтів пульсації в перетворювачах з різною кількістю ячеек при постійному значенні габаритів згладжуючого фільтра, а також подобрано параметри фільтра для різного числа ячеек, при яких забезпечується однаковий коефіцієнт пульсацій. Результати моделювання підтвердили правильність розрахунків і довели ефективність використання модульної топології перетворювача.

Ключові слова: зарядне пристрій електромобіля; концепція Vehicle to Grid; модульний перетворювач

Надійшла (received) 24.11.2020