

ВИКОРИСТАННЯ ГІБРИДНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОВЕЛОСИПЕДІВ

А. Ю. Манжелій, к. т. н. О. Ф. Бондаренко

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Україна, м. Київ
bondarenkoaf@gmail.com

Обґрунтовано доцільність гібридизації системи живлення електровелосипеда з використанням акумуляторної батареї та блоку суперконденсаторів. Запропоновано топологію гібридної системи живлення з активним з'єднанням (через силовий перетворювач) основного акумуляторного та допоміжного суперконденсаторного модулів. Виконані розрахунки підтверджують ефективність застосування такого рішення, завдяки якому розширюється діапазон робочої напруги джерела живлення, використовується більший ресурс акумулятора на одному заряді, що сприяє поліпшенню умов експлуатації батареї та подовженню її життєвого циклу.

Ключові слова: електровелосипед, акумуляторна батарея, суперконденсатор, гібридизація, силовий перетворювач.

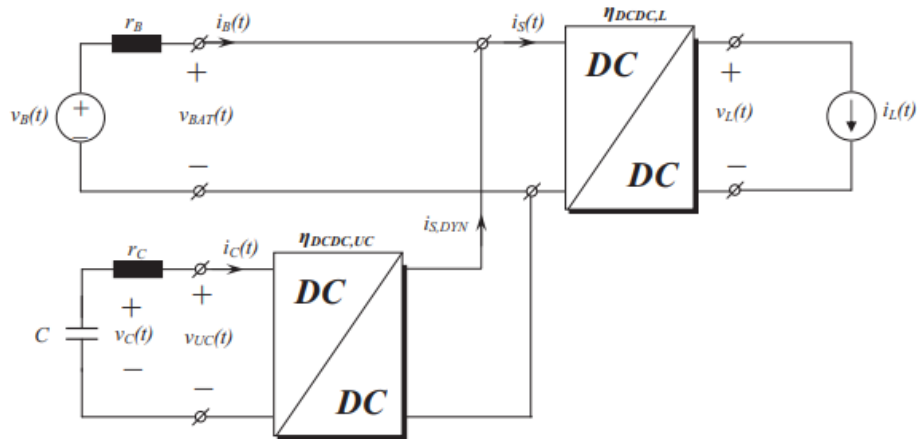
На сьогодні все більшої популярності набуває індивідуальний електротранспорт. Тренд на екологічність та компактність визначає зміни у виборі засобів для пересування містом на користь малопотужних електричних велосипедів, скутерів, самокатів, гіробордів тощо. Втім, наявні рішення для електрифікації персонального транспорту не є ідеальними. Переважна більшість сучасних малопотужних електричних засобів пересування обладнана акумулятором, побудованим на літій-іонних комірках, які є доволі чутливими до режимів експлуатації. Оскільки навіть в умовах міста на маршрутах зазвичай присутні пагорби, схили та інші перешкоди, це створює несприятливі умови для роботи акумуляторних батарей електротранспорту, що знижує загальну тривалість їхнього життєвого циклу.

Метою цієї роботи є поліпшення експлуатаційних умов та збільшення життєвого циклу акумуляторної батареї шляхом гібридизації системи живлення електровелосипеда завдяки використанню суперконденсаторів.

Відомо, що стандартні накопичувачі енергії мають обмеження або за максимальною потужністю, або за максимальною енергією накопичення, що звужує діапазон їхнього використання. В тих випадках, коли необхідно побудувати систему, здатну накопичувати значну енергію та швидко віддавати її в навантаження, комбінують накопичувачі різних типів, в результаті чого отримують гібридну систему. Так, для досягнення високої питомої ємності та високої питомої потужності джерела живлення електровелосипеда представляється доцільним поєднання акумуляторної батареї на базі літій-іонних комірок як основного накопичувача енергії та суперконденсаторів як допоміжних елементів. Літій-іонні акумуляторні комірки мають електрохімічну природу накопичення енергії, що визначає їхню більшу ємність і водночас більший внутрішній опір, ніж у суперконденсаторів. Останні накопичують енергію завдяки електростатичному заряду, що пояснює їхню здатність забезпечувати і швидко віддачу енергії, і швидко її відновлення. Питома потужність суперконденсаторів може коливатися в межах 300—5000 Вт/кг [1], що робить їх привабливими для застосування при гібридизації.

Акумуляторна батарея та суперконденсатори можуть бути з'єднані безпосередньо або через силові перетворювачі. Пряме (пасивне) підключення забезпечує найпростішу архітектуру та порівняно невисоку вартість, втім гнучкість такої системи також є невисокою, що ускладнює її регулювання. До того ж пасивна топологія передбачає використання достатньо об'ємного блоку суперконденсаторів, що є недопустимим для електровелосипеда через обмежені розміри для кріплення системи живлення.

На рисунку наведено топологію гібридної системи, яка реалізує активне з'єднання акумуляторного та суперконденсаторного накопичувальних модулів та складається з літій-іонної акумуляторної батареї, суперконденсаторного блоку та двох окремих силових перетворювачів, один з яких регулює вихідну напругу, а другий, допоміжний, в колі суперконденсаторного блоку, узгоджує рівні напруги між суперконденсаторним блоком і батареєю. Акумуляторна батарея в цій топології є основним джерелом енергії, а суперконденсаторний блок — додатковим, яке забезпечує швидку передачу енергії в навантаження в періоди підвищеного споживання.



Топологія для гібридизації [2]

Для побудови допоміжного перетворювача в колі суперконденсаторного блоку було обрано топологію Чука [3]. Вибір зумовлено можливістю управління вихідною напругою в широкому діапазоні та симетричністю перетворювача, що дозволяє досить просто реалізувати його двонаправлену роботу та забезпечити режим підзарядки суперконденсаторів від основного джерела, батареї, під час руху.

Для перевірки ефективності використання цієї гібридної топології в частині поліпшення використання ресурсу стандартного акумулятора було проведено розрахунок та порівняння діапазонів робочої напруги при використанні стандартного акумулятора та гібридної системи.

Падіння напруги на внутрішньому опорі батареї розраховувалось як

$$V_{\text{esr bat}} = I_{\text{bat}} R_{\text{esr}} = \frac{P_{\text{load}}}{V_{\text{nom bat}}} R_{\text{esr}}, \quad (1)$$

де $V_{\text{esr bat}}$ — напруга на внутрішньому опорі батареї;

I_{bat} — вихідний струм батареї;

R_{esr} — внутрішній опір батареї;

P_{load} — споживана потужність навантаженням;

$V_{\text{nom bat}}$ — номінальна напруга батареї.

При симуляції руху велосипедиста вгору з нахилом у 10% та зустрічним вітром у 2,21 м/с було визначено, що вихідна потужність батареї становить $I_{\text{bat}} = 1555$ Вт. Номінальну напругу акумулятора візьмемо рівною $V_{\text{nom bat}} = 48$ В, внутрішній опір $R_{\text{esr}} = 140$ мОм [4]. Враховуючи таке споживання, падіння напруги на внутрішньому опорі батареї відповідно до (1) буде складати $V_{\text{esr bat}} \approx 4,54$ В.

У гібридній системі можна обмежити значення вихідного струму акумуляторної батареї на бажаному рівні, а величина струму від додаткового суперконденсаторного джерела та тривалість його протікання залежать від параметрів додаткового накопичувача. Тоді падіння напруги на внутрішньому опорі батареї розраховується як

$$V_{\text{esr bat}} = (I_{\text{bat}} - I_{\text{bat max}}) R_{\text{esr}} = (P_{\text{load}} / V_{\text{nom bat}} - I_{\text{bat max}}) R_{\text{esr}}, \quad (2)$$

де $I_{\text{bat max}}$ — максимально допустимий вихідний струм батареї.

Якщо обмежити струм акумулятора на рівні 25 А, отримаємо $V_{\text{esr bat}} \approx 3,5$ В.

Таким чином, допоміжне джерело на суперконденсаторах здатне підтримувати максимальний струм акумулятора у заданих межах впродовж короткострокових піків споживання, що дозволяє розширити діапазон робочої напруги на 1 В.

Час роботи суперконденсаторного блоку при заданому навантаженні дорівнює

$$t_{sc} = \frac{E_{sc}}{P_{sc}} = \frac{CV^2/2}{I_{sc} V_{nom\ bat}} = \frac{CV^2/2}{(P_{load}/V_{nom\ bat} - I_{bat\ max}) V_{nom\ bat}}, \quad (3)$$

де t_{sc} — час роботи суперконденсаторного блоку при заданому навантаженні;

E_{sc} — загальна ємність накопичуваної енергії суперконденсаторами;

C — ємність суперконденсаторів;

V, P_{sc} — номінальна напруга та споживана потужність з допоміжного джерела живлення відповідно;

I_{sc} — вихідний струм перетворювача суперконденсаторного блоку.

Тоді, наприклад, блок суперконденсаторів на 16 В [5] при заданих параметрах та коефіцієнті передачі перетворювача, який дорівнює 3, здатен безперервно працювати протягом $t_{sc} = 20,9$ с.

Оскільки стандартний діапазон вихідної напруги для акумуляторів з номінальною напругою 48 В знаходиться в межах 42—56 В, при використанні лише стандартної батареї нижня межа робочої напруги з урахуванням падіння на внутрішньому опорі (формула (1)) складе приблизно 46,5 В, тоді як при використанні гібридної системи нижній поріг зменшується до напруги у 45,5 (формула (2)), що при лінійному розряді дозволить додатково використовувати близько 7% ресурсу батареї.

Таким чином, в роботі обґрунтовано доцільність гібридизації системи живлення для електровелосипедів шляхом застосування разом із акумуляторною батареєю блоку суперконденсаторів. Таке рішення дозволить продовжити термін експлуатації акумуляторної батареї завдяки підтримувannya суперконденсаторами необхідного рівня вихідного струму впродовж пікових навантажень і при цьому дозволить розширити діапазон робочої вихідної напруги, що надасть можливість використання більшого ресурсу акумулятора на одному заряді.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Qiao Zhang, Weiwen Deng, Sumin Zhang, Jian Wu. A rule based energy management system of experimental battery/supercapacitor hybrid energy storage system for electric vehicles. *Journal of Control Science and Engineering*, 2016, vol. 2016, Article ID 6828269, 17 p. <https://doi.org/10.1155/2016/6828269>
2. Alon Kuperman, Ilan Aharon. Battery-ultracapacitor hybrids for pulsed current loads: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 2011, vol. 15(2), pp. 981–992. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.010>
3. Molla S. Hossain Lipu, Mohammad Faisal, Shaheer Ansari et al. Review of electric vehicle converter configurations, control schemes and optimizations: challenges and suggestions. *Electronics*, 2021, vol. 10, iss. 4, 477. <https://doi.org/10.3390/electronics10040477>
4. Акумулятор для електровелосипеда 48V, 11,6 Ah (Panasonic). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://electro-bike.com.ua/akkumulyatory/akkumulyator-dlya-elektrovelosipeda-48v-11-6ah-panasonik>
5. Maxwell, 16 Volt Small Module [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://maxwell.com/products/ultracapacitors/16v-small-modules/>

A. Manzhelii, O. Bondarenko

Use of hybrid energy storages for electric bicycles

The expediency of hybridization of the power supply system of the electric bicycle using a battery and a block of supercapacitors is substantiated. A hybrid power system topology with active connection (through a power converter) of the main battery and auxiliary supercapacitor module is proposed. The carried-out calculations confirm the effectiveness of applying such a solution, which allows expanding the range of operating voltages of the power supply and using a greater resource of a single battery charge, thus helping to improve the operating conditions of the battery and prolong its life cycle.

Key words: electric bicycle, battery, supercapacitor, hybridization, power converter.