

Ph.D. Д. В. ПЕКУР¹, к. т. н. Ю. В. КОЛОМЗАРОВ¹, д. ф.-м. н. В. П. КОСТИЛЬОВ¹, д. т. н. В. М. СОРОКІН¹, к. т. н. В. І. КОРНАГА¹, к. т. н. Р. М. КОРКІШКО¹, д. т. н. Ю. Є. НИКОЛАЄНКО²

Україна, м. Київ,

¹Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України; ²КПІ ім. Ігоря Сікорського

E-mail: demid.pekur@gmail.com

СУПЕРКОНДЕНСАТОРНІ ЕНЕРГОНАКОПИЧУВАЧІ ДЛЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ З КОМБІНОВАНИМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯМ

Запропоновано принципи побудови систем живлення потужних світлодіодних джерел світла з суперконденсаторними накопичувачами енергії для підвищення ефективності використання енергії від джерел зі змінною генерацією у вигляді сонячних батарей. Системи з накопичувачами на основі суперконденсаторів, що дозволяють забезпечити стабільну роботу освітлювальної системи в періоди відсутності енергії чи зниження її надходження від альтернативного джерела, забезпечують високу безпечність і надійність роботи, а також мають значно вищий термін експлуатації у порівнянні з системами зберігання енергії на основі акумуляторів.

Ключові слова: системи освітлення, суперконденсатори, накопичувачі енергії, фотоперетворювачі сонячної енергії.

В останні роки з метою зменшення енергоспоживання на освітлення все частіше використовуються світлодіодні освітлювальні прилади [1]. Електроживлення енергоефективних світлодіодних джерел світла від комбінованих систем з використанням сонячних батарей дозволяє досягти подальшого заощадження споживаної електричної енергії від централізованої електромережі [2–4]. Особливістю роботи освітлювальних систем неперервного освітлення з комбінованим електроживленням [5], де сонячні батареї використовуються як додаткове джерело живлення, є значний вплив рівня освітленості фотоелектричних перетворювачів на сонячну генерацію, яка суттєво залежить від пори року та часу доби. Це викликає необхідність розробки електронних схем керування, здатних забезпечити максимальне використання генерованої енергії для живлення таких освітлювальних систем. Зазвичай такі системи мають у своєму складі акумуляторні батареї, які дозволяють накопичувати енергію під час сприятливих для фотогенерації умов та використовувати її у потрібний час. Сьогодні широко застосовуються свинцево-кислотні, натрій-сірчані, літій-іонні та нікель-кадмієві акумуляторні батареї [6, 7]. При цьому їхня вартість може становити майже половину вартості всього устаткування, а терміни їхньої безвідмовної експлуатації залежать від кількості та характеру циклів заряду-розряду в процесі роботи. Низька надійність акумуляторів знижує термін експлуатації такої системи, а їхнє виробництво та утилізація є шкідливими процесами з точки зору екології.

Автори висловлюють подяку Національному фонду досліджень України за підтримку роботи (проект № 2020.01/0216)

Серед пристроїв накопичення енергії, що пропонуються сьогодні для використання в системах з потребою у періодичному накопиченні, особливий інтерес представляють електрохімічні конденсатори або суперконденсатори (іоністори) [2, 8]. Завдяки своїй високій надійності та можливості забезпечувати високі значення струму розряду та заряду суперконденсатори широко використовуються в системах рекуперації енергії сучасних транспортних засобів, де вони відіграють роль накопичувачів енергії [9], та в джерелах живлення технологічного обладнання [10]. Суперконденсатори невеликої ємності широко використовуються у пристроях зберігання інформації [11] як резервні джерела живлення, а також у великій кількості іншої електроніки, для якої раптове зникнення живлення може спричинити суттєві складнощі [12]. На відміну від акумуляторів вони дозволяють накопичувати та вивільняти високі імпульсні значення енергії без суттєвого зниження своїх характеристик, що дозволяє використовувати їх, наприклад, в автономних пристроях зварювання [13]. У системах з відновлюваними джерелами енергії акумуляторні батареї додатково оснащують суперконденсаторами для підвищення їхнього ресурсу [14, 15]. Це дозволяє підвищити надійність роботи таких систем завдяки згладжуванню значних коливань генерованої потужності.

Суперконденсатори за своєю надійністю та екологічністю демонструють значну перевагу над системами енергонакопичення на основі акумуляторів будь-якого типу, а за можливостями швидкого накопичення та віддачі енергії набагато перевершують їх. До недоліків суперконденсаторів слід віднести відносно низьку густину енергії, яку вони здатні нако-

пичити, та високі, у порівнянні з акумуляторами, значення струму саморозряду [16].

Сучасні промислові суперконденсатори допускають від 100 до 500 тис. циклів заряду-розряду без зниження характеристик при розряджанні до рівня 30—50% від максимальної напруги [17, 18].

Метою цієї статті є обґрунтування можливості використання суперконденсаторів у світлодіодних освітлювальних системах з комбінованим електроживленням, в яких поєднується генерація від сонячної батареї з мережевим живленням і передбачено використання сонячної енергії з мінімально можливими втратами, та вибір оптимальних значень ємності суперконденсаторних енергонакопичувачів залежно від інших параметрів таких систем.

Особливості функціонування суперконденсаторів

За своєю структурою суперконденсатор поєднує принцип роботи конденсатора та хімічного акумулятора, у якому заряджені електроди занурені в розчин електролітів. Ця ідея була запропонована німецьким фізиком Германом фон Гельмгольцем ще у 1853 р. [19], але складність промислової реалізації приладів на основі цієї концепції дозволила почати її використання лише сто років потому, у 1957 р., Х. Е. Беккером під час його роботи в компанії General Electric [20]. При цьому широке використання суперконденсаторів стримувалося їхньою високою вартістю та відносно невеликою густиною накопичуваної енергії. Обидва ці недоліки були частково усунені зовсім нещодавно [21—23]. Враховуючи значну потребу промисловості в системах енергонакопичення на основі суперконденсаторів, впродовж останніх десятиліть було докладено величезних зусиль для покращення їхніх експлуатаційних характеристик. Суттєве вдосконалення технологій виготовлення, застосування нових матеріалів та структур для побудови електродів дозволило скоротити довжину шляху дифузії іонів та збільшити міжфазні площі, що підвищило надійність суперконденсаторів та їхню ємність.

Структура суперконденсатора є подібною до структури конденсатора і передбачає використання обкладинок, розділених між собою шаром електроліту. Проте, на відміну від конденсатора, для виготовлення суперконденсаторів зазвичай використовується не фольга, а струмопровідні полімери, оксиди металів і навіть активоване вугілля. Під час проходження струму через суперконденсатор на поверхні електродів накопичується заряд, а процес заряду-розряду відбувається безпосередньо в шарі іонів на поверхнях електродів. Через те що іони, які виникли в електроліті, мають певний розмір, який заважає їм наблизитися до поверхні електроду, утворюється плоский конденсатор, відстань між обкладинками якого дорівнює розміру іону. Це зумовлює виникнення електричного поля напруженістю у мільйони вольтів на

метр за різниці потенціалів між обкладинками лише в одиниці вольтів. На відміну від звичайних акумуляторних батарей, в суперконденсаторі не відбуваються оборотні та необоротні хімічні реакції, тому він є більш безпечним та надійнішим у користуванні [16].

Сучасні суперконденсатори дозволяють забезпечити густину потужності до 30 Вт·год/л, що значно нижче у порівнянні з хімічними акумуляторними батареями, наприклад для літєвих акумуляторів ці значення становлять приблизно 500 Вт·год/л [24]. Окрім цього суттєвим недоліком суперконденсаторів є чутливість до напруги, яка значно перевищує експлуатаційну. До переваг сучасних суперконденсаторів можна віднести низький внутрішній опір, що дозволяє створювати на їхній основі прилади з високим імпульсним струмом, високий ККД (співвідношення втрат у циклі заряду-розряду можуть складати до 5%), а також невеликі масогабаритні розміри.

Робота суперконденсаторів в освітлювальних системах з сонячними батареями

Енергію E , накопичену в суперконденсаторі, можна розрахувати як

$$E = 0,5CU^2, \quad (1)$$

де C — ємність;

U — напруга на електродах.

Враховуючи, що розряджати суперконденсатори бажано до значень не нижче 30% максимальної енергетичної ємності, а значення напруги лінійно зменшується із зменшенням заряду, необхідно визначити час, за якого напруга на суперконденсаторі при підключенні до нього деякого навантаження потужністю P зменшиться від максимальної U_{\max} до обраного мінімального значення U_{\min} :

$$t = 0,5(U_{\max}^2 - U_{\min}^2) \cdot C/P. \quad (2)$$

Максимальна робоча напруга сучасних суперконденсаторів зазвичай складає 2,7—5,5 В, але отримати вищі значення можна, використовуючи послідовне включення суперконденсаторів. У такому випадку отримана робоча напруга дорівнюватиме сумі напруг на кожному з суперконденсаторів.

Враховуючи особливості функціонування освітлювальних систем, в яких використовуються сонячні батареї, для часткового заміщення їхнього живлення від загальної мережі ємність суперконденсаторів має бути достатньою для надійної роботи системи під час живлення від них. При цьому система енергонакопичення має бути розрахована на функціонування впродовж не менше 10 років. Напругу на накопичувачах енергії необхідно обирати з урахуванням електронних схем живлення світлодіодів, щоб забезпечити мінімальні втрати на її перетворення.

Для прикладу розрахунку потрібної ємності суперконденсаторів розглянемо освітлювальну систе-

му з номінальною потужністю світлодіодних джерел світла 250 Вт та напругою живлення світлодіодів 36 В [25]. Для уникнення значних коливань рівня напруги в такій системі доцільно використовувати накопичувач енергії, електронна схема якого складається з 24 суперконденсаторів з максимальним значенням напруги 2,7 В кожного. При послідовному з'єднанні вони створюють максимальну робочу напругу 64,8 В, а кінцеве значення мінімально допустимої напруги на клеммах суперконденсаторного енергонакопичувача складатиме 19,4 В (30% від 64,8 В, що відповідає напрузі на кожному з суперконденсаторів 0,81 В).

У таблиці наведено значення енергії, яка накопичена у пристрої, побудованому з промислових суперконденсаторів стандартної ємності, та час роботи освітлювальної системи потужністю 250 Вт за умови живлення лише від цього енергонакопичувача.

Ємність суперконденсаторів, з яких складається енергонакопичувач, Ф	Накопичена енергія, Дж	Час роботи освітлювальної системи потужністю 250 Вт від накопичувача енергії, с
25	1991,0	8,0
50	3982,0	15,9
100	7963,9	31,9
150	11945,9	47,8
300	23891,8	95,6
500	39819,6	159,3

Для сонячної генерації різниця генерованої енергії у найбільш та найменш сприятливі дні може відрізнитися навіть протягом місяця у 8 разів (рис. 1), а протягом року ця різниця може сягати майже 30 разів. Враховуючи це, критерієм вибору оптимальної ємності суперконденсаторів може бути середньомісячна генерація для місяців з найнижчими її значеннями.

Для розглянутого освітлювального приладу потужністю 250 Вт з альтернативним джерелом живлення у вигляді сонячних батарей їхня номінальна (паспортна) вихідна потужність має складати щонайменше 300 Вт, оскільки залежно від погодних умов при експлуатації фотоелектричних сонячних батарей (температура повітря, рівень освітленості, нагрівання при великих рівнях освітленості, хмарність, вітер) їхня вихідна потужність зменшується на величину до 15% від номінального значення (вимірюється у стандартизованих умовах: спектр АМ1,5; температура 25°C; енергетична освітленість 1000 Вт/м²), тобто до близько 250 Вт у випадку сприятливих умов для генерації (ясне небо). Це відповідатиме зниженню потужності генерації у випадку несприятливих умов (листопад — квітень) до 50 Вт

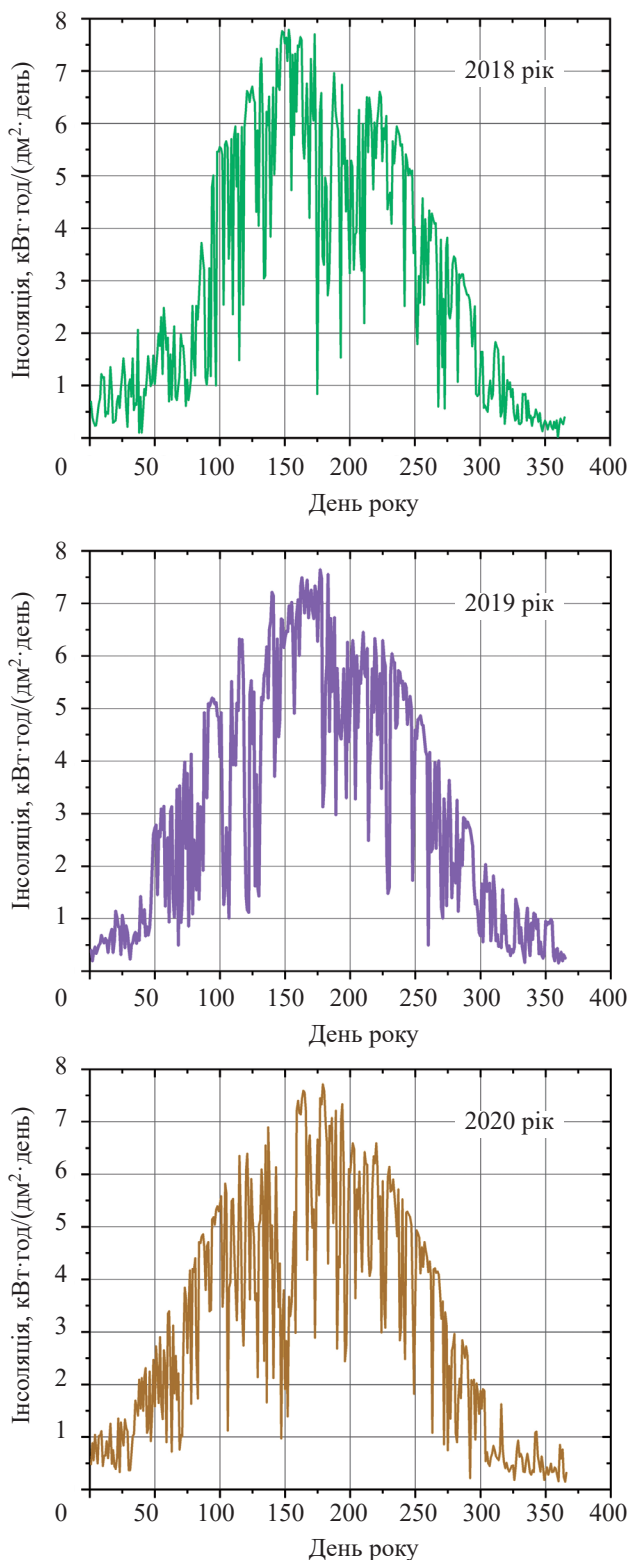


Рис. 1. Річна залежність інсоляції по місяцях для Києва у 2018—2020 роках [26]

і менше. В ці місяці суперконденсаторний накопичувач буде працювати впродовж усього світлового дня в режимі заряду-розряду, що відповідає 8—10 годинам за добу. Таку ж кількість часу він працюватиме у найсприятливіші місяці (травень — листопад) при

низьких рівнях генерації (вранці та увечері). Таким чином, робота системи у режимі, в якому відбувається заряд-розряд суперконденсаторів, може становити принаймні 3000 годин роботи на рік при їх зарядженні від сонячних батарей, що генерують потужності від 1 до 250 Вт.

Функціонування системи енергонакопичення при потужностях генерації менш ніж 1 Вт є нераціональним з точки зору необхідності живлення електронних компонентів перетворювачів. За такої генерації система енергонакопичення перебуватиме у стані очікування, а у випадку генерації з потужностями понад 250 Вт генерована енергія буде безпосередньо використовуватися для роботи світлодіодів. Тривалість одного циклу, за якої суперконденсаторний енергонакопичувач буде повністю заряджено та розряджено до обраного рівня напруги, складатиметься безпосередньо з часу зарядження та розрядження суперконденсаторів. При цьому під час розрядки буде продовжуватися зарядка енергонакопичувача від енергії, генерованої сонячною батареєю. Таким чином, час одного циклу заряду-розряду може виражатися залежністю

$$t = E/P_g + E/(P_{led} - P_g), \quad (3)$$

де E — енергія, що накопичена у суперконденсаторах;

P_{led} — потужність світлодіодного джерела світла;

P_g — миттєве значення потужності, що генерується сонячними батареями.

Враховуючи ресурс у 500 тис. циклів заряду-розряду, а також дані щодо енергетичної ємності батареї суперконденсаторів, наведені у таблиці, та взявши до уваги, що функціонування освітлювальної системи в такому режимі буде відбуватися впродовж принаймні 3000 годин на рік, можна визначити час, за якого буде вичерпано ресурс промислових суперконденсаторів при постійному значенні потужності, генерованої сонячними батареями.

Результати розрахунку терміну, коли буде вичерпано ресурс роботи енергонакопичувача, залежно від потужності генерації для випадків використання в ньому суперконденсаторів різної ємності наведено на **рис. 2**. Враховуючи електрохімічні процеси, що відбуваються в сучасних промислових суперконденсаторах, виробники зазвичай вказують прогнозовані терміни їхньої служби приблизно 10 років, і це є ще одним критерієм для вибору ємності суперконденсаторів.

Залежності, наведені на рис. 2, вказують на те, що найменший термін експлуатації суперконденсаторів спостерігається, коли потужність генерації вибраної сонячної батареї складає близько 50% (125 Вт) від споживаної (250 Вт), а великі терміни — за низьких та високих рівнях генерації. Такий характер залежності викликаний тим, що за низьких значень потужності генерації час накопичення енергії суттєво перевищує

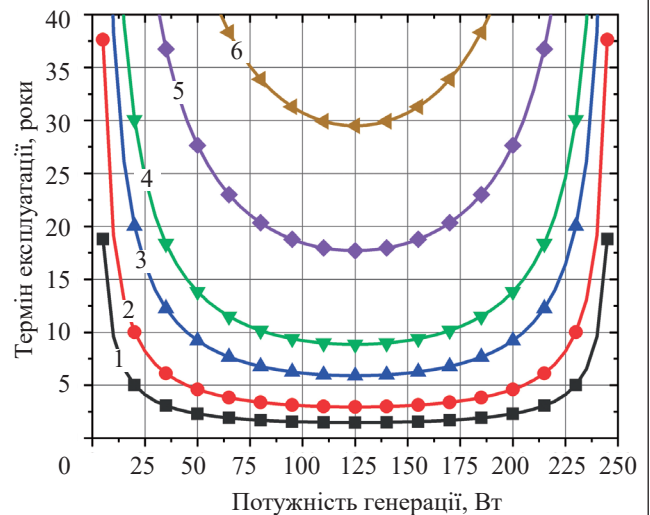


Рис. 2. Залежність терміну, за який буде вичерпано ресурс енергонакопичувача, від рівня сонячної генерації для випадків використання в ньому суперконденсаторів різної ємності (у Ф):

1 — 25; 2 — 50; 3 — 100; 4 — 150; 5 — 300; 6 — 500

час віддавання накопиченої енергії, і він є визначальним для розрахунку кількості циклів заряду-розряду. При потужності генерації, що дорівнює енергії споживання джерела світла, час накопичення енергії дорівнює часу віддачі енергії. Коли потужність генерації перевищує потужність споживання, розрядження взагалі не відбувається, а світлодіодне джерело світла живиться безпосередньо від сонячної батареї. В обох випадках кількість циклів заряду-розряду суттєво знижується.

З рис. 2 видно, що при обранні строку експлуатації понад 10 років найменше значення електричної ємності для створення енергонакопичувача складає 150 Ф. У такому випадку за потужності генерації 10—75 Вт та вище 175 Вт термін експлуатації значно перевищує 10 років, а за потужності генерації у діапазоні 75—175 Вт строк служби складає не менше 9 років.

Очевидно, що подальший розвиток технології виготовлення суперконденсаторів та підвищення надійності їхньої роботи дозволить зменшити ємність суперконденсаторів без зниження надійності системи в цілому.

Висновки

Проведений аналіз показав, що при виборі ємності суперконденсаторів для освітлювальних систем з комбінованим електроживленням, в яких поєднуються генерація від сонячної батареї з мережевим живленням, потрібно враховувати потужності як споживання, так і генерації енергії. У випадку використання сонячних батарей з номінальною потужністю генерації 300 Вт та світлодіодного джерела світла потужністю 250 Вт для забезпечення високої надійності та встановленого терміну експлуатації системи доціль-

но використовувати 24 послідовно з'єднаних суперконденсатора ємністю 150 Ф кожний.

Запропоновану методику визначення оптимальної ємності суперконденсаторів можна використовувати для визначення термінів їхньої експлуатації за будь-яких значень потужностей генерування та споживання енергії.

Напрямом подальших досліджень є розроблення, виготовлення та дослідження експериментального зразка освітлювальної системи з комбінованим електроживленням, в якій буде використано накопичувач енергії на основі суперконденсаторів. Це дозволить експериментально визначити параметри такої системи освітлення та її коефіцієнт корисної дії.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Пекур Д.В., Сорокін В.М., Ніколаєнко Ю.Є. Експериментальне дослідження компактної системи охолодження з тепловими трубами для потужної світлодіодної матриці. *Технологія і конструювання в електронній апаратурі*, 2020, № 3–4, с. 35–41. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2020.3-4.35>
2. Borkowski, P., Pawłowski M. Zasilanie energooszczędnych źródeł światła poprzez systemy zasobnikowe. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2013, vol. 89, № 1A, pp. 21–24.
3. Mamen A., Supatti U. A survey of hybrid energy storage systems applied for intermittent renewable energy systems. In Proc. of 2017 14th International Conference on electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2017, pp. 729–732. <https://doi.org/10.1109/ECTICon.2017.809634>
4. Nikolaenko Yu.E. Kravets V.Yu., Naumova A.N., Baranyuk A.V. Development of the ways to increase the lighting energy efficiency of living space. *International Journal of Energy for a Clean Environment*, 2017, vol. 18, iss. 3, pp. 275–285. <https://doi.org/10.1615/InterJEnerCleanEnv.2018021641>
5. Коломзаров Ю.В., Костильов В.П., Сорокін В.М та ін. Екологічні проблеми освітлення та перспективи застосування енергоощадних світлодіодних освітлювальних систем з комбінованим електроживленням. *Технологія і конструювання в електронній апаратурі*, 2020, № 5–6, с. 3–9. <https://doi.org/10.15222/ТКЕА2020.5-6.03>
6. Кулова Т.Л., Николаев И.И., Фатеев В.Н., Алиев А.Ш. Современные электрохимические системы аккумуляции энергии. *Kimya Problemleri*, 2018, № 1, с. 9–34.
7. Barton J.P., Infield D.G. Energy storage and its use with intermittent renewable energy. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2004, vol. 19, № 2, pp. 441–448. <https://doi.org/10.1109/TEC.2003.822305>
8. Marlinda A.R., Zaman Zaira Chowdhury, Yasmin Binti Abdul Wahab et al. Chapter two — Fundamental electrochemical energy storage systems Suresh Sagadevan. *Advances in Supercapacitor and Supercapattery*, 2021, pp. 27–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819897-1.00001-X>
9. Krishnamoorthy K., Pazhamalai P., Mariappan V.K et al. Two-Dimensional Siloxene-Graphene Heterostructure-Based High-Performance Supercapacitor for Capturing Regenerative Braking Energy in Electric Vehicles. *Adv. Funct. Mater.*, 2020, Art. no. 2008422. <https://doi.org/10.1002/adfm.202008422>
10. Kozhushko Yu., Pavković D., Karbivska T., Safronov P., Bondarenko O. Robust Control of Battery-Supercapacitor Energy Storage System Using Kharitonov Theorem. In Proc. of 2020 IEEE 14th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering, CPE-POWERENG 2020, 2020, pp. 550–555. <https://doi.org/10.1109/CPE-POWERENG48600.2020.9161569>
11. Mars P. Supercapacitors for SSD backup power. *Electron. Products*, 2009, vol. 51, № 10, pp. 40–41.
12. Miller J. R. Engineering electrochemical capacitor applications. *Journal of Power Sources*, 2016, vol. 326, pp. 726–735. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.04.020>
13. Kozhushko Y., Pavkovic D., Zinchenko D. et al. Hybrid Energy Storage System of Power Supply for Micro Resistance Welding. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Ukraine, Kyiv, 2019, pp. 584–589. <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2019.8783890>
14. Arkhangel'ski J., Roncero-Sánchez P., Abdou-Tankari M. et al. Control and Restrictions of a Hybrid Renewable Energy System Connected to the Grid: A Battery and Supercapacitor Storage Case. *Energies*, 2019, vol. 12, iss. 14, art. no. 2776. <https://doi.org/10.3390/en12142776>
15. Tao Ma, Hongxing Yang, Lin Lu. Development of hybrid battery-supercapacitor energy storage for remote area renewable energy systems. *Applied Energy*, 2015, vol. 153, pp. 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.008>
16. Кашкаров А. Ионистор в автономной электрической цепи. *Современная электроника*, 2014, № 1, с. 38–40.
17. Mouser Electronics. 2.7V 1F, 100F, 150F ULTRACAPACITOR CELL. https://www.mouser.mx/datasheet/2/257/2_7_1_100_150F_ds_3001957_datasheet-1518704.pdf (28 December 2020).
18. Mouser Electronics. 3.0V 50F ULTRACAPACITOR CELL. https://www.mouser.com/datasheet/2/257/3V_50F_datasheet-1535527.pdf (28 December 2020).
19. Helmholtz H.V. Ueber einige Gesetze der Vertheilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern mit Anwendung auf die thierisch-elektrischen Versuche. *Ann. Phys. (Leipzig)*, 1853, vol. 165, iss. 6, pp. 211–233. <https://doi.org/10.1002/andp.18531650603>
20. Becker H.I. General electric. *Low voltage electrolytic capacitor*. Pat. USA, no. 2800616, 1957.
21. Xing T., Ouyang Y., Zheng L. et al. Free-standing ternary metallic sulphides/Ni/C-nanofiber anodes for high-performance lithium-ion capacitors. *Energy Chem*, 2020, vol. 42, pp. 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2019.06.002>
22. An Y., Chen S., Zou M. et al. Improving anode performances of lithium-ion capacitors employing carbon-Si composites. *Rare Met.*, 2019, vol. 38, pp. 1113–1123. <https://doi.org/10.1007/s12598-019-01328-w>
23. Chen Y., Qiu X., Fan L. Z. Nitrogen-rich hierarchically porous carbon foams as high-performance electrodes for lithium-based dual-ion capacitor. *J. Energy Chem.*, 2020, vol. 48, pp. 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.01.024>
24. Zhao J., Burke A. Review on supercapacitors: Technologies and performance evaluation. *Journal of Energy Chemistry*, 2021, vol. 59, pp. 276–291. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.11.013>
25. Cree Inc. XLamp CMU Family LEDs. <https://www.cree.com/led-components/products/xlamp-cob-integrated-arrays/cmu-leds> (28 December 2020).
26. NASA. NASA POWER Data Access Viewer. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (28 December 2020).

Дата надходження рукопису до редакції 12.02 2021 р.

DOI: 10.15222/TKEA2021.1-2.03
UDC 628.931

D. V. PEKUR¹, Yu. V. KOLOMZAROV¹, V. P. KOSTILOV¹,
V. M. SOROKIN¹, V. I. KORNAGA¹,
R. M. KORKISHKO¹, Yu. E. NIKOLAENKO²

Ukraine, Kyiv,

¹V. E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine,

²National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

E-mail: demid.pekur@gmail.com

SUPERCAPACITOR ENERGY STORAGE SYSTEMS FOR LIGHTING SYSTEMS WITH COMBINED POWER SUPPLY

Modern continuous lighting systems use powerful high-performance LEDs as light sources and an important task is to begin using alternative renewable energy sources for their power supply (including during the day). The simplest of the renewable energy sources is photovoltaic solar energy converter. However, solar photovoltaic generation depends significantly on many factors - geographical location, time of day, state of the atmosphere, time of year and the like. In addition, photovoltaic generation depends on the weather conditions and cloudiness, which makes it unstable and prone to change drastically (by an order of magnitude) during daylight hours. Therefore, an important element of the power system based on renewable energy sources is the system of accumulation of generated energy. The method of power stabilization using supercapacitors for systems with a significant change in power generation in the electrical power system is analyzed. The paper offers design principles of the power supply systems for powerful LEDs with supercapacitor energy storage devices intended to make the use of energy from sources with variable generation more efficient. The systems with supercapacitor-based drives, which allow to ensure stable operation of the lighting system when the power supply from an alternative source is absent or reduced, provide high safety and reliability, and have a significantly longer service life than battery-based energy storage systems.

Keywords: lighting systems, supercapacitors, energy storage devices, photoconverters of solar energy.

REFERENCES

1. Pekur D.V., Sorokin V.M., Nikolaenko Yu.E. Experimental study of a compact cooling system with heat pipes for powerful LED matrix. *Tekhnologiya i Konstruirovani v Elektronnoi Apparature*, 2020, no. 3–4, pp. 35–41. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2020.3-4.35> (Ukr)
2. Borkowski, P., Pawłowski M. Zasilanie energooszczędnych źródeł światła poprzez systemy zasobnikowe. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2013, vol. 89, № 1A, pp. 21–24.
3. Mamen A., Supatti U. A survey of hybrid energy storage systems applied for intermittent renewable energy systems. In Proc. of 2017 14th International Conference on electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2017, pp. 729–732. <https://doi.org/10.1109/ECTICon.2017.809634>
4. Nikolaenko Yu.E. Kravets V.Yu., Naumova A.N., Baranyuk A.V. Development of the ways to increase the lighting energy efficiency of living space. *International Journal of Energy for a Clean Environment*, 2017, vol. 18, iss. 3, pp. 275–285. <https://doi.org/10.1615/InterJEnerCleanEnv.2018021641>
5. Kolomzarov Yu.V., Kostilov V.P., Sorokin V.M et al. Environmental issues of lighting and prospects of energy-saving LED lighting systems with combined power supply. *Tekhnologiya i Konstruirovani v Elektronnoi Apparature*, 2020, no. 5–6, pp. 3–9. <https://doi.org/10.15222/TKEA2020.5-6.03> (Ukr)
6. Kulova T.L., Nikolaev I.I., Fateev V.N., Aliev A.Sh. [Modern electrochemical energy storage systems]. *Kimya Problemleri*, 2018, № 1, c. 9–34. (Rus)
7. Barton J.P., Infield D.G. Energy storage and its use with intermittent renewable energy. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2004, vol. 19, № 2, pp. 441–448. <https://doi.org/10.1109/TEC.2003.822305>
8. Marlinda A.R., Zaman Zaira Chowdhury, Yasmin Binti Abdul Wahab et al. Chapter two — Fundamental electrochemical energy storage systems Suresh Sagadevan. *Advances in Supercapacitor and Supercapattery*, 2021, pp. 27–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819897-1.00001-X>
9. Krishnamoorthy K., Pazhamalai P., Mariappan V.K et al. Two-Dimensional Siloxene-Graphene Heterostructure-Based High-Performance Supercapacitor for Capturing Regenerative Braking Energy in Electric Vehicles. *Adv. Funct. Mater*, 2020, Art. no. 2008422. <https://doi.org/10.1002/adfm.202008422>
10. Kozhushko Yu., Pavković D., Karbivska T., Safronov P., Bondarenko O. Robust Control of Battery-Supercapacitor Energy Storage System Using Kharitonov Theorem. In Proc. of 2020 IEEE 14th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering, CPE-POWERENG 2020, 2020, pp. 550–555. <https://doi.org/10.1109/CPE-POWERENG48600.2020.9161569>
11. Mars P. Supercapacitors for SSD backup power. *Electron. Products*, 2009, vol. 51, no. 10, pp. 40–41.
12. Miller J. R. Engineering electrochemical capacitor applications. *Journal of Power Sources*, 2016, vol. 326, pp. 726–735. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.04.020>
13. Kozhushko Y., Pavkovic D., Zinchenko D. et al. Hybrid Energy Storage System of Power Supply for Micro Resistance Welding. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 584–589. <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2019.8783890>
14. Arkhangelski J., Roncero-Sánchez P., Abdou-Tankari M. et al. Control and Restrictions of a Hybrid Renewable Energy System Connected to the Grid: A Battery and Supercapacitor Storage Case. *Energies*, 2019, vol. 12, iss. 14, art. no. 2776. <https://doi.org/10.3390/en12142776>

15. Tao Ma, Hongxing Yang, Lin Lu. Development of hybrid battery–supercapacitor energy storage for remote area renewable energy systems. *Applied Energy*, 2015, vol. 153, pp. 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.008>
16. Kashkarov A. [Supercapacitor in an autonomous electrical circuit]. *Sovremennaya elektronika*, 2014, no. 1, c. 38–40. (Rus)
17. Mouser Electronics. *2.7V 1F, 100F, 150F ULTRACAPACITOR CELL*. https://www.mouser.mx/datasheet/2/257/2_7_1_100_150F_ds_3001957_datasheet-1518704.pdf (28 December 2020).
18. Mouser Electronics. *3.0V 50F ULTRACAPACITOR CELL*. https://www.mouser.com/datasheet/2/257/3V_50F_datasheet-1535527.pdf (28 December 2020).
19. Helmholtz H.V. Ueber einige Gesetze der Vertheilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern mit Anwendung auf die thierisch-elektrischen Versuche. *Ann. Phys. (Leipzig)*, 1853, vol. 165, iss. 6, pp. 211–233. <https://doi.org/10.1002/andp.18531650603>
20. Becker H.I. General electric. *Low voltage electrolytic capacitor*. Pat. USA, no. 2800616, 1957.
21. Xing T., Ouyang Y., Zheng L. et al. Free-standing ternary metallic sulphides/Ni/C-nanofiber anodes for high-performance lithium-ion capacitors. *Energy Chem*, 2020, vol. 42, pp. 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2019.06.002>
22. An Y., Chen S., Zou M. et al. Improving anode performances of lithium-ion capacitors employing carbon–Si composites. *Rare Met.*, 2019, vol. 38, pp. 1113–1123. <https://doi.org/10.1007/s12598-019-01328-w>
23. Chen Y., Qiu X., Fan L. Z. Nitrogen-rich hierarchically porous carbon foams as high-performance electrodes for lithium-based dual-ion capacitor. *J. Energy Chem.*, 2020, vol. 48, pp. 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.01.024>
24. Zhao J., Burke A. Review on supercapacitors: Technologies and performance evaluation. *Journal of Energy Chemistry*, 2021, vol. 59, pp. 276–291. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.11.013>
25. Cree Inc. XLamp CMU Family LEDs. <https://www.cree.com/led-components/products/xlamp-cob-integrated-arrays/cmu-leds> (28 December 2020).
26. NASA. *NASA POWER Data Access Viewer*. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (28 December 2020).

Опис статті для цитування:

Пекур Д. В., Коломзаров Ю. В., Костильов В. П., Сорокін В. М., Корнага В. І., Коркішко Р. М., Ніколаєнко Ю. Є. Суперконденсаторні енергонакопичувачі для освітлювальних систем з комбінованим електроживленням. *Технологія і конструювання в електронній апаратурі*, 2021, № 1–2, с. 3–9. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2021.1-2.03>

Cite the article as:

Pekur D.V., Kolomzarov Yu.V., Kostilov V. P., Sorokin V. M., Kornaga V. I., Korkishko R. M., Nikolaenko Yu .E. Supercapacitor energy storage systems for lighting systems with combined power supply. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature*, 2021, no. 1–2, pp. 3–9. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2021.1-2.03>

НОВІ КНИГИ

НОВІ КНИГИ

Дробахін О. О., Плаксін С. В., Рябчій В. Д., Салтиков Д. Ю. Техніка та напівпровідникова електроніка НВЧ: Навчальний посібник.— Дніпро : ДНУ, 2018.

Наведено відомості стосовно основних ліній передачі НВЧ діапазону, теорії мікрохвильових кіл. Розглянуті методи теорії довгих ліній та багатополісників НВЧ для аналізу і синтезу пристроїв на основі мікрохвильових ліній передачі. Наведено відомості про конструкції основних елементів НВЧ-техніки та їхні параметри, при цьому використано формалізм матриць розсіяння. Розглянуто переважно хвильові елементи, які застосовують для розв'язання задач прикладної фізики. Проаналізовано фізичні принципи роботи основних типів напівпровідникових і феритових пристроїв електроніки надвисоких частот. Надано основні теоретичні співвідношення та типові схеми для напівпровідникових генераторів, підсилювачів і перетворювачів частоти. Сформульовано критерії вибору оптимальних режимів їхньої роботи, визначено гранично можливі параметри і методи їх досягнення. До кожної теми запропоновано питання для перевірки рівня її засвоєння. Посібник містить тести для самостійної роботи. Нове видання доповнено відомостями про квазіоптичні лінії передачі та пристрої на їхній основі.

Для студентів, які навчаються за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали». Посібник також може бути корисним аспірантам і студентам старших курсів радіотехнічних і радіофізичних спеціальностей, а також всім, хто цікавиться технікою НВЧ-діапазону.

