

УДК 004.031.6:621.317.7

Юрій Лещин, к.т.н.; Нестор Романишин; Володимир Волоський; Ігор Голінський; Ілля Федорович

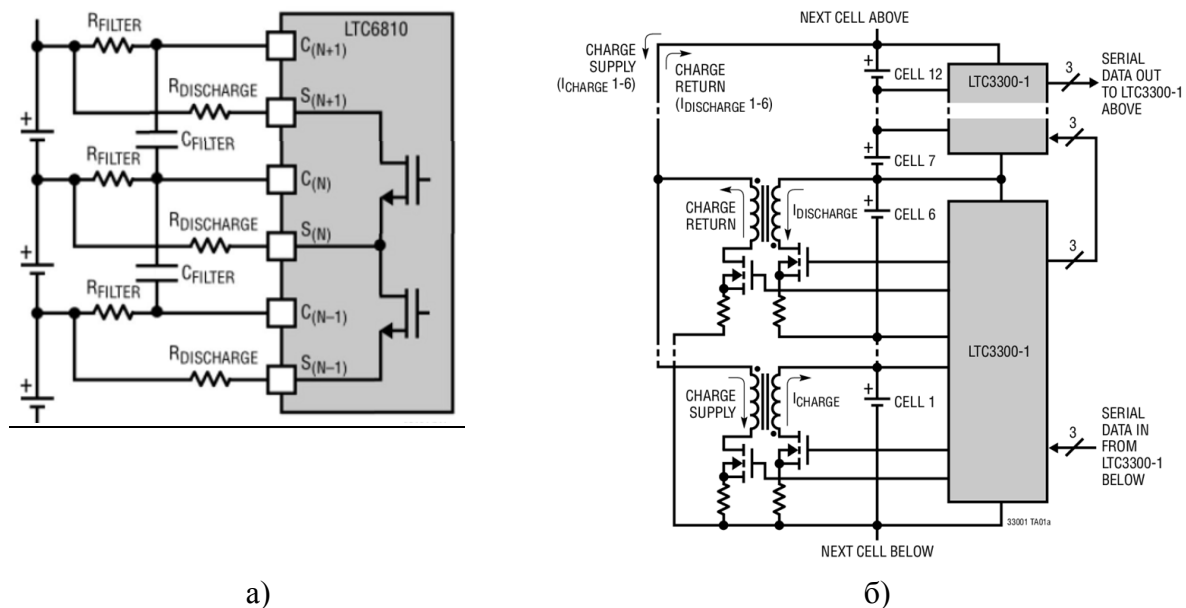
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ЕФЕКТИВНІСТЬ АЛГОРИТМІВ БАЛАНСУВАННЯ В СИСТЕМІ КОНТРОЛЮ БАТАРЕЇ ДЛЯ ВБУДОВАНИХ ТА РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Yurii Leshchyshyn, Ph.D.; Nestor Romanyshyn; Volodymyr Voloski; Ihor Holinskyi
THE EFFICIENCY OF BALANCING ALGORITHMS IN THE BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR EMBEDDED AND ROBOTIC SYSTEMS

Широке застосування вбудованих та роботизованих систем (ВРС) у різноманітних галузях передбачає їх тривалу автономну роботу, однак з цим виникають складнощі оскільки такі системи для виконання властивих їм задач споживають досить багато електричної енергії. Значне споживання енергії, це складне завдання, яке буде розв'язуватись в тривалому майбутньому, а існуючі ВРС потребують живлення вже зараз і це вирішується, зазвичай, літій-іонними акумуляторними батареями (АКБ), технологія яких покращується щороку. Літій-іонні АКБ з високою напругою живлення для ВРС отримують шляхом об'єднання багатьох комірок номінальною напругою 3,7В. Для отримання максимальної ємності таких АКБ, комірки балансують, щоб отримати максимальну ємність кожної комірки, причому завдяки балансуванню можна отримати приріст ємності до 10-15%. Функція балансування комірок покладена на систему контролю батареї (СКБ), яка також виконує функції керування та захисту АКБ під час її заряджання і розряджання.

Загалом методи балансування поділяють на 2 групи [1, 2]: пасивні та активні. Пасивні найбільш поширені та доступні їх принцип ґрунтується на розсіюванні надлишкової енергії за допомогою резисторів, що підключені паралельно до комірок АКБ рис. 1 (а). На цьому методі побудована мікросхема LTC6810. Перевагою цього методу є простота реалізації та алгоритмів балансування, недоліком втрати енергії при балансуванні комірок.



а)

б)

Рис. 1. Схема пасивного (а) та активного (б) балансування

Принцип роботи активних методів балансування базується на тому що, енергія більш заряджених комірок передається менш зарядженим коміркам, за допомогою перетворювачів побудованих на конденсаторах, індуктивностях або інверторів [1]. За таким принципом побудовано мікросхему для активного балансування LTC3300 – це набір інверторів для літій- іонних і LiFePO₄ акумуляторів, який забезпечує струм балансування до 10 А. Особливістю роботи інверторів мікросхеми є те що, енергія з будь-якої комірки може передаватися до сусідніх елементів. Причому цей струм балансування зазвичай не перевищує 10% загального струму заряджання АКБ, тобто 100А, тому ці методи використовують для сховищ електричної енергії великої потужності.

З цих двох методів балансування для використання у вбудованих і роботизованих системах краще підходять пасивні методи балансування, оскільки їх практична реалізація є менш громіздкою і простішою, а втрати на балансування є невеликими і відбуваються лише під час заряджання АКБ, тобто на автономність таких систем не впливають.

В свою чергу, пасивні методи балансування використовують різні алгоритми визначення накопиченої енергії в комірці, різноманітність яких зумовлена специфічністю хімічних процесів у літій- іонних акумуляторах та їх поступовим старінням. Відповідно алгоритми балансування комірок поділяють за алгоритмами визначення накопиченої енергії, що базуються на:

- 1) поточній напрузі кожної комірки батареї;
- 2) напрузі комірки при розімкненому колі Open-circuit voltage (OCV);
- 3) проценті заряду комірки State of charge (SoC)

Алгоритм (1) робота, якого ґрунтується на поточній напрузі кожної комірки батареї, використовує вимірювання напруги на комірці за якою визначає їх розбаланс. Цей алгоритм є дуже простим і може використовуватись у АКБ з малою ємністю, оскільки втрата ємності внаслідок розбалансу досягає 13% [1].

Більш ефективним є алгоритм (2) робота, якого ґрунтується на напрузі комірки при розімкненому колі OCV який розраховується із врахуванням внутрішнього опору комірки:

$$OCV_{bat} = V_{bat} - I_{bat} R_{bat} \quad (1)$$

Недоліком цього алгоритму є те [1], що при тривалій експлуатації опір комірки збільшується, що може призводити до втрати 8% ємності АКБ внаслідок розбалансу.

Найвищу ефективність однак і найбільшу складність має алгоритм (3) робота, якого ґрунтується на вимірюванні проценту заряду комірки SoC. Коли значення SoC для кожної комірки зберігаються в пам'яті мікроконтролера та враховується час заряджання і балансування комірок АКБ. Втрата ємності АКБ при балансуванні за допомогою такого алгоритму 1,6% [1].

Перші два алгоритми є простими в реалізації однак дають значну втрату ємності, третій алгоритм дає найменші втрати ємності, однак потребують окремого мікроконтролера та точного вимірювання параметрів процесу заряджання кожної комірки АКБ. Це виправдано у великих батареях електроавтомобілів однак для невеликих ВРС така СКБ буде громіздкою і надлишковою. Однак, якщо об'єднати алгоритми (1) і (2) коли протягом основного часу комірки баланшуються за поточною напругою, а наприкінці заряду відбувається балансування за OCV [3]. Передбачається що такий алгоритм буде давати розбаланс комірок не значно гірший за алгоритм (3), оскільки відбувається заряджання малими струмами і можна досить точно визначити, яка ємність комірки відповідає виміряній напрузі OCV.

Для такого модифікованого алгоритму необхідно обчислювати OCV за формулою (1), а відповідно визначати внутрішній опір кожної комірки. Для коректних обчислень внутрішній опір комірок необхідно розраховувати за методикою наведеною в стандарті IEC 61951-1:2013 [4].

Розраховані значення OCV використовуються для визначення поточної ємності комірки SoC за розрахунковими таблицями, які описують поліном степеневі функції.

$$U_{ocv} = k_n SOC^n + k_{n-1} SOC^{n-1} + \dots + k_1 SOC + k_0 \quad (2)$$

де (k_0, k_1, k_n) — параметри, які необхідно оцінити.

Величину SoC визначають, як відношення накопиченої енергії в комірці до номінальної її ємності [5]. Накопичену енергію в батареї розраховують шляхом вимірювання кількості енергії витраченої під час розрядження. Отримані розрахункові значення відношення OCV-SoC реалізовано, як таблиці пошуку необхідних значень, і для літій-іонних акумуляторів це відношення матиме вигляд рис.2.

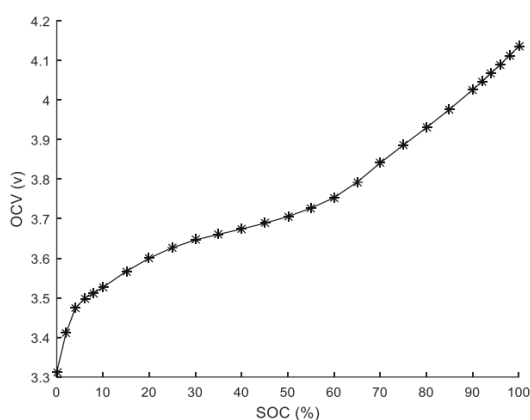


Рис. 2. Графік відношення OCV-SoC для літій-іонних акумуляторів.

З наведеного графіка помітно, що найбільш лінійною ділянкою відношення OCV-SoC є відрізок наприкінці заряджання комірки, саме тому у запропонованому алгоритмі протягом основного часу комірки балануються за поточною напругою, а наприкінці заряду відбувається балансування за OCV. Тому запропонований алгоритм у перспективі має достатню точність балансування комірок, при суттєвій простоті алгоритму роботи. Крім того зберігання лише невеликого об'єму табличних даних відношення OCV-SoC наприкінці заряджання спрощує побудову АКБ на високі напруги.

Запропонований алгоритм балансування літій-іонних АКБ, що поєднує прості в реалізації пасивні алгоритми по поточній напрузі комірки батареї та по напрузі комірки при розімкненому колі OCV, спрощують реалізацію СКБ та в перспективі підвищують її ефективність при застосуванні для забезпечення живлення ВРС.

Перелік посилань

1. Fleischer C., Ostendorp B., Sauer D. U. Simulative comparison of balancing algorithms for active and passive cell balancing systems for lithium-ion batteries. In Proc. Adv. Automotive Battery Conf.. 2013, February. P 11.
2. Scott K., Nork S. Active battery cell balancing analog devices. URL: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/active-battery-cell-balancing.html>
3. Лещишин Ю. Алгоритм балансування Li-іон акумуляторних батарей на основі поточної напруги та напруги при розімкненому колі / Ю. Лещишин, Н. Романишин, В. Волоський // Матеріали ІХ науково-технічної конференції „Інформаційні моделі, системи та технології“. Т. : ТНТУ, 2021. С. 109.
4. IEC 61951-1:2017. Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Secondary sealed cells and batteries for portable applications - Part 1: Nickel. Effective from 2017-03-07. Official edition. 2017. 81 p
5. Estimation of lithium-ion battery state-of-charge using an extended kalman filter / M. Lagraoui et al. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. 2021. Vol. 10, no. 4. P. 1759–1768. URL: <https://doi.org/10.11591/eei.v10i4.3082> (21.11.2021).