

УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ НА БАЗЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ ЛИТИЙ-ИОННОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Д.В. Сердечный, Ю.Б. Томашевский

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.,
г. Саратов, Россия
serdechnyy.denis@gmail.com

***Резюме:** Рассмотрена актуальная задача повышения эффективности накопителей энергии на базе многоэлементных литий-ионных аккумуляторных батарей. Описаны назначение и функции системы контроля и управления аккумуляторной батареей, осуществляющей процесс зарядки и балансировки и улучшающей эксплуатационные характеристики накопителя. Представлены результаты применения методики поиска оптимального соотношения времени заряда и числа циклов заряд/балансировка.*

***Ключевые слова:** энергосистема, литий-ионный аккумулятор, накопитель, балансировка, емкость.*

FEATURES OF USING OF ENERGY STORAGE BASED MULTI-ELEMENT LITHIUM-ION BATTERY

D.V. Serdechnyy, Yu.B. Tomashevskiy

State Technical Yuri Gagarin University of Saratov, Saratov, Russia
serdechnyy.denis@gmail.com

***Abstract:** The actual problem of increasing the efficiency of energy storage devices based on multi-element lithium-ion batteries is considered. The purpose and functions of a battery monitoring and control system that monitors the parameters and controls the charging and balancing process and improves the performance of the drive are considered. Practical application of the technique of searching for the optimal ratio of the charge time and the number of charging / balancing cycles has been made.*

***Keywords:** energy system, lithium-ion battery, accumulator, balancing, capacity.*

Введение

В последнее время в качестве источника питания для различных мобильных и автономных энергетических систем все чаще используются литий-ионные аккумуляторы. Среди областей применения литий-ионных аккумуляторов также можно выделить системы накопления и распределения электрической энергии *Smart grid*, источники питания для электрических и гибридных транспортных средств, в том числе мелкого коммерческого, складского транспорта [1].

Этот тип аккумулятора имеет ряд преимуществ по сравнению с другими, отличаясь относительно высоким рабочим напряжением (в среднем 3,2 В), приемлемыми массогабаритными характеристиками, высокой плотностью энергии, отсутствием эффекта памяти, низким саморазрядом, возможностью эксплуатации в широком диапазоне температур

[2]. При этом литиевые батареи требуют более пристального контроля основных параметров: напряжения, температуры и тока. Задача управления при переходе к многоэлементной структуре литиевых аккумуляторных систем заметно усложняется. Ее решение в этом случае является актуальным и способствует эффективной эксплуатации накопителя в целом.

Методика исследования

Литий-ионные аккумуляторы чувствительны к превышению критических уровней напряжения, токов и температуры, что может привести к необратимым процессам в структуре самой батареи, повреждению ее и, как следствие, к снижению производительности накопителя энергии [3]. К тому же, в отличие от традиционных свинцово-кислотных аккумуляторов или NiMH [4–6], литиевые аккумуляторы при последовательном соединении подвержены эффекту разбаланса напряжений и уровня заряда аккумуляторных ячеек вследствие различия значений внутреннего сопротивления и фактической емкости аккумуляторов [7].

По достижении хотя бы одной из ячеек критического напряжения при разряде необходимо отключить накопитель от нагрузки, так как дальнейший разряд повлечет нарушение требований эксплуатации. В этом случае емкость батареи будет определяться емкостью самой слабой ячейки. При эксплуатации литий-ионной батареи есть особенности в определении состояния уровня заряда (*SOC – state of charge*). Не представляется возможным связать состояние уровня заряда с напряжением батареи [2; 4; 7]. Состояние заряда должно быть связано с фактической емкостью аккумулятора. Значение емкости батареи C устанавливается производителем батареи с заданным диапазоном и определяется экспериментально, путем разряда постоянным током I полностью заряженного аккумулятора с напряжением U_{\max} до уровня критически минимального напряжения U_{\min} .

Таким образом, в основе безопасной и эффективной эксплуатации литий-ионных батарей лежит непрерывный контроль за основными параметрами аккумулятора, а также мониторинг и управление процессом заряда и балансировки.

Для решения этих задач разрабатывается состоящая из отдельных модулей система контроля и управления (СКУ) многоэлементной литий-ионной аккумуляторной батареи, которая будет производить контроль значений напряжений, температуры отдельных аккумуляторных ячеек и тока через батарею.

Система контроля и управления предназначена для управления процессом зарядки, балансировки, вычисления уровня заряда и индикации аварийных и штатных состояний батареи. Система выполняет: контроль температуры батареи; контроль состояния заряда или глубины разряда батареи; контроль и ограничение текущего значения тока через батарею (заряда-разряда); контроль значений напряжений отдельных ячеек и защиты от превышения критических уровней напряжений U_{\max} и U_{\min} на ячейках во время заряда и разряда посредством отключения от нагрузки при помощи контактора S . Таким образом, система обеспечивает безопасную работу батареи в режимах разряда (работы на нагрузку), заряда батареи, балансировки батареи.

Система включает в себя балансировочные резисторы R_n , коммутируемые электронными ключами S_n , для балансировки аккумуляторных ячеек пассивным методом; термодатчики; датчик тока (ДТ); устройство звуковой сигнализации и отображения текущего состояния системы. Пример реализации системы показан на рис. 1.

Номинальное напряжение отдельного аккумулятора может варьироваться в диапазоне от 2,4 до 3,7 В в зависимости от структуры и типа. Наиболее безопасным и хорошо зарекомендовавшим типом тягового литий-ионного аккумулятора является железо-фосфатная литий-ионная батарея LiFePO_4 . Современные производители батареи могут предложить для различных применений широкий спектр аккумуляторных ячеек различных емкостей и форм факторов с номинальным напряжением 3,2 В [8].

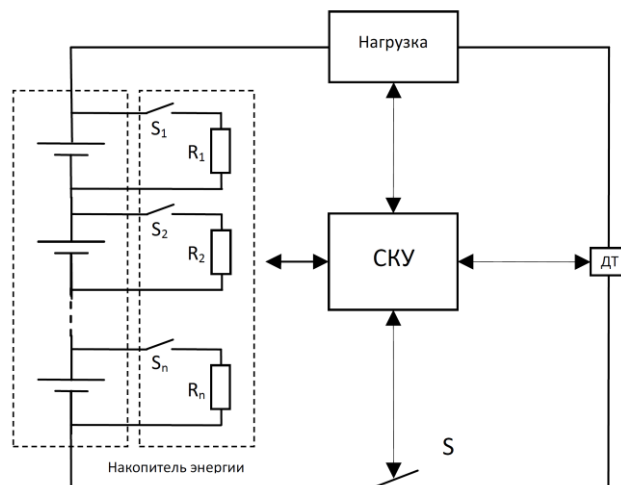


Рис. 1. Структура системы контроля и управления накопителем

При формировании накопителя с необходимыми значениями мощности и массо-габаритными ограничениями возникает инженерная задача формирования многоэлементной литий-ионной батареи из ячеек с определенными эксплуатационными параметрами (U_{\min} , U_{\max} , $I_{\max,з}$, $I_{\max,р}$, T_{\min} , T_{\max}), не превышая при этом их критических значений в процессе эксплуатации. Здесь $I_{\max,з}$, $I_{\max,р}$ – максимальные значения токов заряда и разряда соответственно, а T_{\min} , T_{\max} – минимальные и максимальные значения температуры аккумуляторных ячеек.

Достижение необходимых значений напряжений и емкости накопителя энергии осуществляется путем последовательного, параллельного, последовательно-параллельного и параллельно-последовательного соединения.

При последовательном соединении и возникает эффект разбаланса. Разбаланс обусловлен возникновением разброса напряжений и уровней заряда отдельных аккумуляторных ячеек («разбаланс ячеек»). По достижении хотя бы одной из ячеек критического напряжения при разряде необходимо отключить накопитель от нагрузки, так как дальнейший разряд повлечет нарушение требований эксплуатации. В этом случае емкость батареи будет определяться емкостью самой слабой ячейки. Для устранения этого эффекта предусматривается процедура балансировки аккумуляторных ячеек в процессе зарядки или эксплуатации [9]. Процесс зарядки и балансировки проводился по алгоритму, рассмотренному в работе [10]. Балансировочные циклы чередовались с циклами зарядки, оптимальное количество циклов балансировки для конкурентной конфигурации накопителя составило $k = 6$.

Основные результаты

В качестве объекта для исследований был выбран элемент питания электротранспортного средства – погрузчика емкостью $C = 300$ Ач и номинальным напряжением $U_H = 48$ В. Накопитель представляет собой последовательно соединенную многоэлементную литий-ионную батарею, состоящую из 15 ячеек производства компании *Shenzhen Smart Lion Power Battery Limited (China, Shenzhen)* емкостью $C=300$ Ач и с напряжением $U_H=3,2$ В.

В соответствии с рекомендациями производителя [11] были установлены следующие критические параметры: $U_{\min} = 2,7$ В; $U_{\max} = 4$ В; $I_{\max,з} = 60$ А; $I_{\max,р} = 100$ А; $t_{\max} = 50^\circ\text{C}$. На зарядку накопителя током $I_{\max,з} = 60$ А было затрачено $t_3 = 314$ мин.

СКУ производился разряд накопителя током $I_p = 50$ А от заряженного состояния $SOC = 100\%$ до критического уровня минимального напряжения $U_{\min} = 2,7$ В. Время разряда накопителя составило $t = 358$ мин (рис. 2).

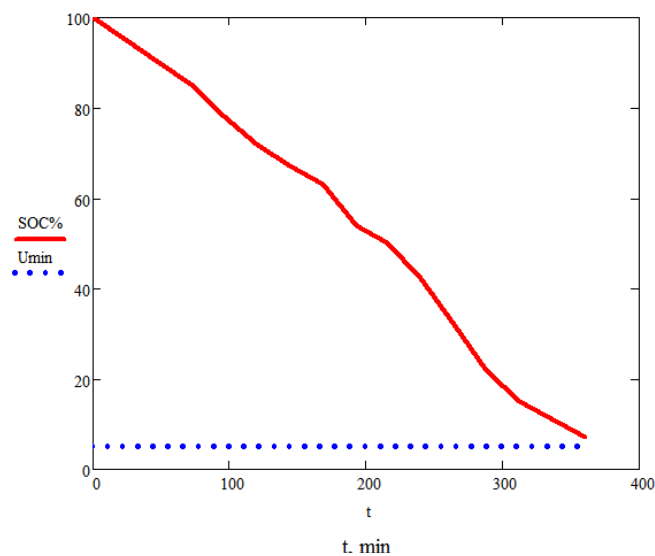


Рис. 2. Разряд накопителя энергии: SOC – состояние уровня заряда; U_{\min} – критически минимальное напряжение; t – время разряда накопителя

Обсуждение результатов

Количество циклов балансировки оказывает влияние на эксплуатационные характеристики многоэлементной литий-ионной батареи. Для рассмотренной конфигурации батареи оптимальное число балансировочных циклов $k = 6$; при таком значении параметра было достигнуто приемлемое соотношение времени разряда и заряда накопителя энергии для электропозвучика. Изменяя значения параметров зарядного процесса, возможно заряжать электротранспортное средство за заданное время, обеспечивая при этом необходимую продолжительность работы.

Выводы

1. Показаны особенности эксплуатации накопителя энергии на базе многоэлементной литий-ионной батареи, а также назначение и функции, выполняемые системой контроля и управления накопителем.

2. Осуществлена экспериментальная проверка методики [10] выбора количества циклов балансировки многоэлементной литий-ионной аккумуляторной батареи, основанная на поиске компромисса между увеличением максимального времени ее разряда и уменьшением разбаланса напряжений заряжаемых ячеек.

Литература

1. Global report on renewable energy sources international organization for the support of renewable energy. www.ren21.net URL: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/> (дата обращения: 01.06.2017).
2. Pistoia G. LithiumIon Batteries: Advances and Applications. Amsterdam: Elsevier, 2013. 634 p.
3. Wang Q., Ping P., Zhao X., Guanquan C., Sun J., Chen C. Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery // Journal of The Electrochemical Society. 2011. № 3. P. 1–25.
4. Tarascon J., Armand M Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries // Nature. 2001. №414. P. 359–367.

5. Sexton E. Improved Charge Algorithms for Valve Regulated Lead Acid Batteries // Proceedings of the 15 th Annual Battery Conference on Applications and Advances. 1999. № 11. P. 211–216.
6. Corrigan D. Ovonic Nickel-Metal Hydride Electric Vehicle Batteries / The 12th International Electric Vehicle Symposium (EVS-12). 1994. № 14. P. 16–21.
7. Rahimi H., Ojha U., Baronti F., Chow M Battery Management System: An Overview of its Application in the Smart Grid and Electric Vehicles // Industrial Electronics Magazine. 2013. № 2. P. 4–16.
8. Сравнение типов батарей. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_battery_types (дата обращения: 31.05.2017)..
9. Moore S., Schneider P. Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems // Society of Automotive Engineers. 2001. № 1. P. 9–13.
10. Сердечный Д.В., Томашевский Ю.Б. Определение параметров балансирующего процесса многоэлементных литий-ионных аккумуляторных батарей. Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2016. Саратов: Материалы международной научно-технической конференции, 2016. С. 531–537.
11. Указания по эксплуатации. URL: http://en.winston-battery.com/index.php/products/power-battery/item/wb-lyp300aha?category_id=176 (дата обращения: 02.06.2017).

Авторы публикации

Сердечный Денис Владимирович – аспирант кафедры «Системотехника» Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. (СГТУ им. Гагарина Ю.А.). E-mail: serdechnyy.denis@gmail.com.

Томашевский Юрий Болеславович – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Системотехника» Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. (СГТУ им. Гагарина Ю.А.).

References

1. Global report on renewable energy sources international organization for the support of renewable energy. <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/> (дата обращения: 01.06.2017).
2. Pistoia G. Lithium Ion Batteries: Advances and Applications. Amsterdam: Elsevier, 2013. 634 p.
3. Wang Q., Ping P., Zhao X., Guanquan C., Sun J., Chen C. Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery. Journal of The Electrochemical Society. 2011. No. 3. P. 1–25.
4. Tarascon J., Armand M Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. Nature. 2001. No. 414. P. 359–367.
5. Sexton E. Improved Charge Algorithms for Valve Regulated Lead Acid Batteries. Proceedings of the 15 th Annual Battery Conference on Applications and Advances. 1999. No. 11. P. 211–216.
6. Corrigan, D. Ovonic Nickel-Metal Hydride Electric Vehicle Batteries. The 12th International Electric Vehicle Symposium (EVS-12). 1994. No. 14. P. 16–21.
7. Rahimi H., Ojha U., Baronti F., Chow M Battery Management System: An Overview of its Application in the Smart Grid and Electric Vehicles. Industrial Electronics Magazine. 2013. No. 2. P. 4-16.
8. Comparison_of_battery_types. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_battery_types (date of the application: 31.05.2017).
9. Moore S., Schneider P. Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems. Society of Automotive Engineers. 2001. No. 1. P. 9–13.
10. Serdechnyy D.V., Tomshevskiy Yu.B.. Determination of the parameters of balancing process of multielement lithium ion batteries. Actual problems of electron devices engineering. Saratov: Materials of the International Scientific and Technical Conference, 2016. P. 531-537.
11. Instructions. http://en.winston-battery.com/index.php/products/power-battery/item/wb-lyp300aha?category_id=176 (date of reference: 02.06.2017).

Authors of the publication

Denis V. Serdechnyy – post-graduate student, Department of “System Engineering”, Yuri Gagarin state technical university of Saratov.

Yury B. Tomashevskiy – Dr. Sci. (Techn.), professor, head of the Department “System Engineering”, Yuri Gagarin state technical university of Saratov.

Поступила в редакцию

13 июля 2017 г.