

ПРОБЛЕМА МОНИТОРИНГА И БАЛАНСИРОВКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А. П. Иншаков, Ю. Б. Федотов, С. С. Десяев, Д. В. Байков
ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)

Применение электрохимических накопителей энергии с каждым годом становится все более распространенным, в связи с чем к ним предъявляются новые требования по увеличению времени питания электрооборудования. В ряде случаев аккумуляторные батареи (АБ) выполняют функции основной электросиловой установки, работающей на соответствующей резервируемой нагрузке и электроприводе транспортного средства. В статье рассматриваются особенности применения АБ в составе электрооборудования мобильной сельскохозяйственной техники. При создании АБ высокой емкости путем соединения нескольких аккумуляторов в последовательные и параллельные цепи возникает ряд особенностей, связанных с разбросом параметров отдельных элементов.

Материалы и методы

Объектом исследования являются способы и средства мониторинга и балансировки АБ, при которых они соединены последовательно и отсутствует возможность или целесообразность их рассоединения для индивидуальной балансировки. При разработке методов и устройств использовались общен지니어ные подходы.

Результаты исследования

Для обеспечения максимального срока эксплуатации АБ было необходимо определить параметры, негативно влияющие на ее энергетические характеристики и срок службы. В ходе исследований была установлена необходимость применения устройств мониторинга и регулирования состояния аккумуляторных батарей, позволяющих решить проблемы расхождения емкостей, внутренних сопротивлений и токов утечки отдельных аккумуляторов. Немаловажным показателем, который следует контролировать при эксплуатации АБ, является его температура. Для обеспечения равномерного заряда отдельных ячеек, независимо от разброса их параметров, совместно с системами мониторинга необходимо применять также системы балансировки АБ.

Обсуждение и заключения

Существуют различные варианты построения АБ, каждый из которых обладает определенными достоинствами и недостатками. В статье приведены примеры пяти систем выравнивания напряжения на отдельных ячейках АБ; определены критерии выбора тока для пассивного способа балансировки с помощью шунтирующих резисторов, а также приведена схема его улучшенного варианта; рассмотрены основные достоинства и недостатки активных методов балансировки; обоснована целесообразность применения активной и пассивной балансировки во время разряда АБ. Сравнительный анализ методов выравнивания напряжения на ячейках аккумуляторных батарей выявил проблемы конденсаторного способа балансировки, решение которых позволит оптимизировать его для электрооборудования мобильной сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: мобильная сельскохозяйственная техника, аккумуляторная батарея, мониторинг состояния, балансировка заряда, бортовое электропитание

Благодарности: Авторы выражают свою признательность К. Б. Бурдасову и С. И. Жихареву за ценные консультации, а также анонимному рецензенту журнала, чьи подробные комментарии и рекомендации помогли улучшить статью.



Для цитирования: Проблема мониторинга и балансировки аккумуляторных батарей транспортных средств / А. П. Иншаков [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 1. С. 40–49. doi: 10.15507/0236-2910.026.201601.040-049

THE PROBLEM OF MONITORING AND BALANCING OF VEHICLE BATTERIES

A. P. Inshakov, Yu. B. Fedotov, S. S. Desyayev, D. V. Baykov
Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia)

The use of electrochemical energy storage units is becoming more common, and they are subject to new requirements for increasing the time of electrical supply for power equipment. In some cases, batteries serve as the main electric power unit working under reserved electric load and on the electric drive of the vehicle. The article discusses the features of using batteries as a part of electrical equipment for the agricultural vehicles. When creating high-capacity batteries through connecting some batteries in series and parallel circuits, there are a number of features caused by variations of the parameters of the elements.

Materials and Methods

The object of research is methods of monitoring and balancing touch batteries are connected in series and there is no possibility or desirability of their disconnection for individual balancing. In the development of methods and devices used in general engineering approaches to the development of technical devices.

Results

It is necessary to find the causes affecting the energy characteristics and service life of the battery to increase it. During research we have found a need for monitoring and control of battery status, which allow solving the problems of divergence of containers, the internal resistance and leakage of individual batteries. Temperature of the battery is an important indicator to control it. Balancing the battery system and monitoring systems are needed to provide a uniform charge of individual cells, regardless of the variation parameters.

Discussion and Conclusions

There are different variants of balancing systems, each of which has its own advantages and disadvantages. The article gives examples of the construction of five alignment systems stress on the individual cells of the battery. The criteria for selection for the current passive balancing method using shunt resistors, and are a diagram of an improved passive way of balancing. Considered and the basic advantages and disadvantages of active methods of balancing. A comparative analysis of methods of balancing the cell voltage batteries found ways to balance the capacitor problems whose solution will provide an optimal method for balancing electrical mobile agricultural machinery.

Keywords: mobile agricultural machinery, battery, status monitoring, balancing charge, onboard power supply

Acknowledgement: The authors express their gratitude to B. K. Burdasov and S. I. Zhikhareva for valuable advice and also grateful to anonymous reviewer for his helpful review and recommendations and suggestions.

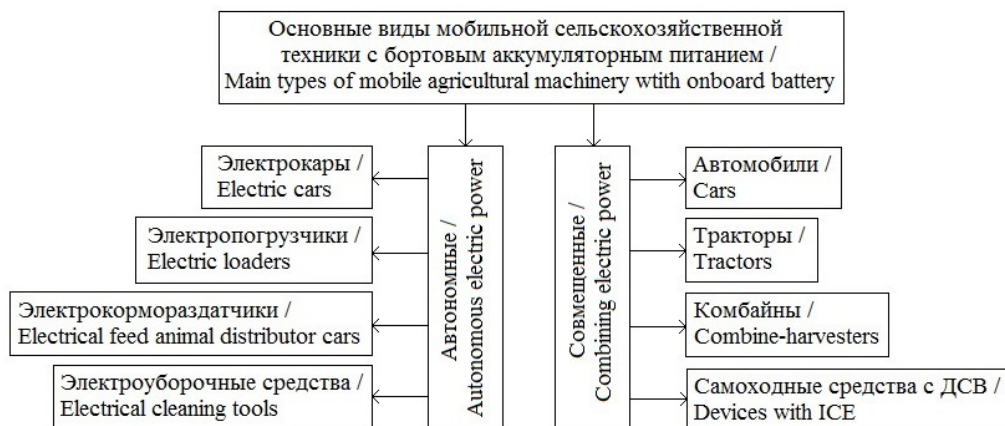
For citation: Inshakov AP, Fedotov YuB, Desyayev SS, Baykov DV. The problem of monitoring and balancing of vehicle batteries. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2016; 1(26):40-49. doi: 10.15507/0236-2910.026.201601.040-049

Введение

Аккумуляторы различной емкости находят широкое применение в повседневной жизни людей в качестве источников питания мобильных телефонов, электроинструментов, электровелосипедов, электромобилей и т. д. Мобильные транспортные средства, распространенные в сельскохозяйственном производстве, имеют в составе электрооборудования соответствующие АБ для обеспечения стартерного пуска двигателя внутреннего сгора-

ния и резервного энергообеспечения при неработающем двигателе. В ряде случаев АБ выполняет функции основной электросиловой установки, работающей на соответствующей резервируемой нагрузке и электроприводе транспортного средства [1].

Основные виды транспортных, погрузочно-транспортных и уборочных средств с бортовым аккумуляторным электропитанием, используемых в сельскохозяйственном производстве, представлены на рис. 1.



Р и с. 1. Мобильные средства с бортовым аккумуляторным электропитанием, используемые в сельском хозяйстве

F i g. 1. Mobile vehicles with on-board battery power supply used in agriculture

В составе электрооборудования мобильной сельскохозяйственной техники распространение получили преимущественно свинцово-кислотные аккумуляторы и, в меньшей, щелочные (никель-железные (и никель-кадмиевые) [Там же]. Современные тенденции повышения продолжительности автономной работы мобильной сельскохозяйственной техники вызывают необходимость увеличения емкости накопителей электроэнергии. Значение требуемой мощности химические аккумуляторы достигают путем соединения нескольких аккумуляторов в последовательные и параллельные цепи. При параллельном соединении n ак-

кумуляторов емкость полученной АБ увеличивается в n раз, а напряжение при этом соответствует напряжению одной батареи. Для его увеличения аккумуляторные ячейки соединяют последовательно. Проблемой является то, что при эксплуатации электрохимических накопителей энергии, состоящих из групп последовательно соединенных аккумуляторных ячеек, возникает несоответствие параметров отдельных элементов, негативно влияющее на энергетические характеристики и срок службы АБ [1–4].

Обзор литературы

Причиной этого, как правило, являются индивидуальные особенности ак-

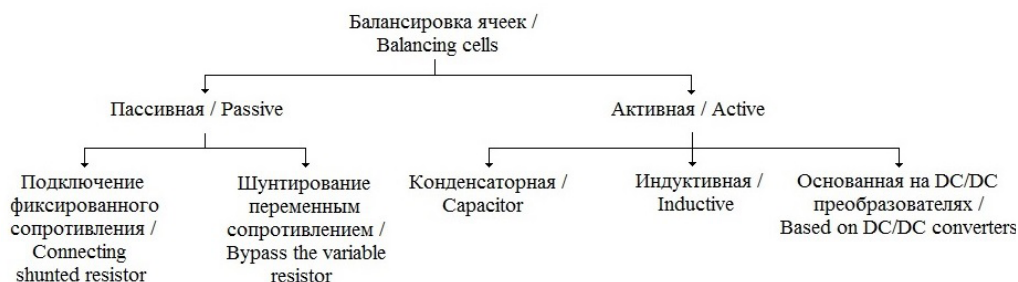


кумуляторов, входящих в ее состав [5–8]. С течением времени несоответствие параметров увеличивается. Стандартные зарядные устройства контролируют только общее напряжение на всей цепочке аккумуляторов и обеспечивают необходимый ток заряда. Расхождение таких параметров аккумуляторов как емкость, внутреннее сопротивление, ток утечки является причиной отличия необходимого времени для заряда накопленной энергии в отдельных аккумуляторах [6]. Например, ячейка с меньшей емкостью заряжается быстрее ячейки с большей емкостью при протекании через них одинакового тока. После достижения 100 % емкости необходимо или прекратить заряд, или заряжать батарею током, равным значению тока утечки, а продолжение заряда приведет к увеличению напряжения на отдельной ячейке выше оптимального и вызовет ускоренную деградацию элемента. В частности, литий-ионные батареи могут безопасно работать только при нормальном напряжении заряда. При превышении значения напряжения заряда 4,30 В в элементе начинается происходить металлизация анода литием, а на катоде – активное выделение кислорода; температура батареи при этом увеличивается [9]. Заметим, что рост данного показателя на каждые 10 °С относительно номинальной температуры снижает срок службы батареи в 2 раза [10–11].

Учитывая все перечисленные выше особенности, сохранение и обеспечение максимального срока службы всей АБ возможно только при постоянном мониторинге и контроле состояния ее отдельных ячеек. Вопросы контроля состояния АБ рассматривались в [6–7; 10–12]. В частности, для решения проблемы с неравномерным зарядом ячеек необходимо применять системы выравнивания (балансировки) АБ, которые поддерживают оптимальное значение напряжения и емкости отдельных элементов электрохимической батареи [6–7; 13]. Такие системы могут быть как автономными, так и управляемыми, в составе и не в составе АБ. Наиболее важным является способ, на котором основано выравнивание. Сложно определить однозначно лучший способ балансировки, поскольку каждый из них обладает рядом достоинств и недостатков. Знание принципов работы, положенных в основу методов балансировки, поможет создать более эффективные системы электропитания транспортных средств.

Материалы и методы

Объектом исследования являются способы мониторинга и балансировки АБ, соединенных последовательно, при отсутствии возможности или целесообразности их рассоединения для индивидуальной балансировки. Основные способы балансировки представлены на рис. 2.



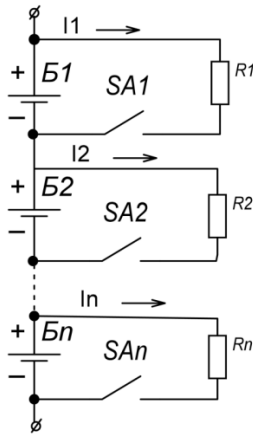
Р и с. 2. Способы балансировки ячеек

F i g. 2. Methods of balancing cells

При разработке методов и устройств используются общетеоретические подходы. На основе анализа и изучения принципов работы систем выравнивания рассмотрены схемотехнические решения, основанные как на одном способе выравнивания заряда, так и на комбинации таких способов.

Результаты исследования

Схема системы выравнивания заряда с помощью подключения резистора с фиксированным сопротивлением показана на рис. 3.



Р и с. 3. Выравнивание заряда с помощью шунтирующих резисторов

F i g. 3. Alignment of charge via shunt resistors

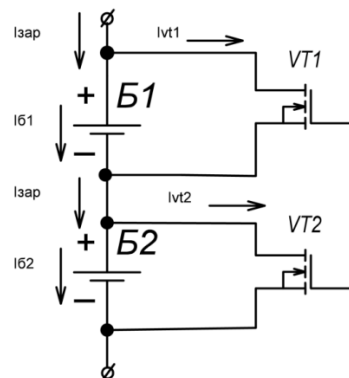
Суть данного метода заключается в шунтировании резистором аккумуляторной ячейки, которая уже зарядилась до 100 %, но при этом не завершился заряд всей АБ. Резисторы $R1-R3$ при соответствующих ключах ограничивают ток через ячейки и тем самым препятствуют перезаряду батареи. Главным достоинством рассматриваемого метода является простота. В данном случае балансировку целесообразно проводить только в режимах заряда АБ, поскольку подключение дополнительного сопротивления к ячейке АБ во время разряда приведет к неэффективному использованию энергии аккумулятора.

В работе [11] выделяется 3 критерия определения тока, протекающего через шунтирующий резистор: величина дисбаланса ячейки, емкость элемента и время, за которое необходимо провести балансировку. Для АБ, которые часто проходят циклы заряда-разряда, оптимальной является балансировка ячеек от 10 до 20 % от мощности за 1 зарядно-разрядный период. Рассмотрим, например, ячейки с емкостью 2,3 А·ч, которые имеют дисбаланс 20 % и должны быть сбалансированы в течение 1 ч. Ток I_{bal} , протекающий через шунтирующий резистор, может быть вычислен по формуле:

$$I_{bal} = \frac{K_{dis} \times C_{AB}}{t_b}, \quad (1)$$

где K_{dis} – величина дисбаланса, %; C_{AB} – номинальная емкость ячейки АБ, А·ч; t_b – продолжительность балансировки, ч.

Разновидностью способа, представленного на рис. 3, является вариант шунтирования ячейки, достигшей максимального заряда, резистором не с фиксированным, а с изменяемым сопротивлением [12]. Этого можно добиться, поменяв в схеме рис. 3. резисторы $R1-R3$ на MOSFET-транзисторы и контролируя их сопротивление с помощью управляющего сигнала (рис. 4).



Р и с. 4. Конфигурация системы уравнения выравнивания напряжения для двух ячеек

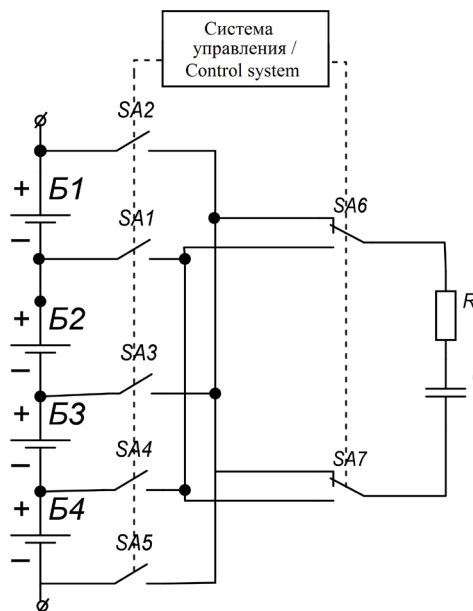
F i g. 4. System configuration equation equalization voltage for two cells



Суть активной балансировки заключается в обеспечении требуемого напряжения на ячейках АБ за счет перераспределения энергии от ячеек

с высоким уровнем заряда к ячейкам с его более низким уровнем.

Один из самых простых способов активной балансировки показан на рис. 5.

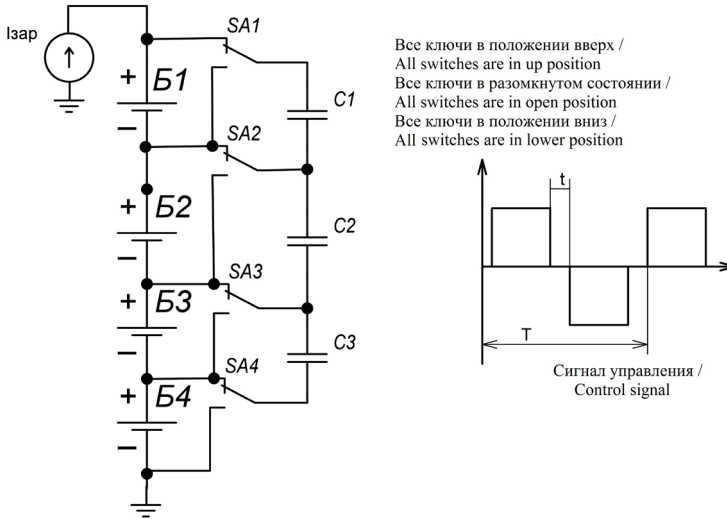


Р и с. 5. Топология балансировки с одним переключающим конденсатором
F i g. 5. Topology balancing with one switched capacitor

Для осуществления выравнивания заряда между ячейками цепочка RC последовательно подключается ко всем аккумуляторам (рис. 5). Максимальное напряжение на обкладках конденсатора соответствует напряжению наиболее заряженной ячейки, и при следующем подключении цепочки RC к другому аккумулятору будет передаваться дополнительный заряд от конденсатора. Резистор R используется для ограничения тока через конденсатор (Там же). Недостатком данного метода является длительное время выравнивания напряжения между ячейками [9; 13]. Возможно также построить систему управления и переключать цепочку RC только между ячейками с наибольшим и наи-

меньшим напряжениям, и таким образом в некоторых случаях уменьшить время выравнивания, но это потребует дополнительного использования измерительных цепей для каждой ячейки.

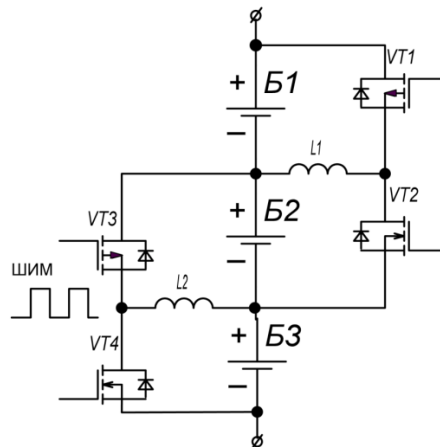
Топология выравнивания, показанная на рис. 6, требует $(n - 1)$ конденсаторов и n переключателей для балансировки n ячеек. Данный метод прост в управлении, поскольку ключи SA имеют только 3 состояния: когда все переключатели приведены в верхнее положение; когда все переключатели не подключены ни к одной цепи; когда все переключатели переведены в нижнее положение АБ. Система выравнивания, изображенная на рис. 6, производит балансировку быстрее, чем представленная на рис. 5.



Р и с. 6. Схема балансировки подключаемыми конденсаторами
 F i g. 6. Driving balancing capacitors connected

Еще одним способом выравнивания напряжения в ячейках АБ является использование индуктивностей [9; 12] (рис. 7). Рассматриваемая система балансировки при отличии напряжений соседних ячеек АБ производит перераспределение энергии между ними. При

подаче ШИМ-сигнала на транзистор $VT1$ происходит накопление энергии в индуктивности $L1$ и разряд ячейки $B1$, после чего энергия от $L1$ передается в $B2$ за счет подачи ШИМ-сигнала на $VT2$. С помощью $VT3$, $VT4$ и $L2$ балансировка производится между $B2$ и $B3$.



Р и с. 7. Схема балансировки батареи индуктивностью
 F i g. 7. Inductance battery balancing



Недостатком метода является то, что передача энергии из первой ячейки к последней занимает долгое время, а кроме этого, необходимо принимать дополнительные меры по ограничению тока через индуктивности, используя при этом дополнительные обвязывающие цепи и сложную систему управления (Там же).

Обсуждение и заключения

Применение любой системы балансировки АБ для сельскохозяйственного производства позволит существенно повысить срок службы АБ. Однако пассивная балансировка является менее выгодной из-за неэффективного использования энергии при разряде АБ и потери большого количества энергии в виде тепла при ее

заряде. Балансировка батареи индуктивностью, в свою очередь, сложна в реализации и требует существенных затрат на использование индуктивных и других магнитных компонентов высокого номинала и сложной системы управления, что приводит к увеличению удельной стоимости АБ. Наиболее оптимальным, с точки зрения сохранения энергии и оптимальной стоимости, являются методы, основанные на перераспределении энергии между ячейками АБ посредством конденсаторов. Для улучшения коэффициента полезного действия в конденсаторных системах балансировки необходимо исключить ограничивающие резисторы и решить проблему возникновения импульсных токов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Тюхтин К. И.** Разработка электротехнологии и преобразователя электроэнергии для регенеративного заряда аккумуляторов мобильной сельскохозяйственной техники : дис. ... канд. тех. наук. М., 2011. URL: <http://tekhnosfera.com/view/338853/d/#?page=1>.
2. **Гусев Ю. П.** Аккумуляторные батареи для систем оперативного постоянного тока подстанций ЕНЭС // Энергоэксперт. 2009. № 4. С. 24–28. URL: http://energyexpert.ru/component/option,com_jdownloads/Itemid,87/task,finish/cid,93/catid,18.
3. Active Battery Balancing for Battery Packs / J. Gallardo-Lozano [et al.] // Electrical, Control and Communication Engineering. 2013. P. 1–6. doi: 10.2478/ecce-2013-0006
4. **Yongjun Y., Xuezhe W., Zechang S.** Assessment of Power Consumption Control Strategy for Battery Management System Using Hardware-In-the-Loop Simulation // IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. Harbin, 2008. P. 1–6. doi: 10.1109/VPPC.2008.4677485
5. **Аносов В. Н.** Методы и средства повышения эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств : автореф. дис. ... канд. тех. наук. Новосибирск, 2008. URL: https://ciu.nstu.ru/kaf/persons/1236/a/file_get/117565?nomenu=1.
6. **Рыкованов А. С., Беляев С.** Активные и пассивные системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей // Компоненты и технологии. 2014. № 3. С. 121–124. URL: <http://techjournals.ru/journ/elektronika/8167-komponenty-i-tehnologii-3-mart-2014.html>.
7. **Рыкованов А. С.** Системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей // Силовая электроника. 2009. № 1. С. 52–55. URL: http://www.power-e.ru/pdf/2009_1_52.pdf.
8. **Moore S., Schneider P.** A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems // Proceedings of the SAE World Congress. 2001. URL: <http://am.delphi.com/pdf/techpapers/2001-01-0959.pdf>.
9. Advanced lithium ion battery charger / M. J. Isaacson [et al.] // Battery Conference on Applications and Advances: The Fifteenth Annual. 2000. P. 193–198. doi: 10.1109/BCAA.2000.838403
10. **Десяев С. С.** Системы мониторинга стационарных аккумуляторных батарей // Новый университет (Сер. «Технические науки»). 2013. № 7. С. 33–36. URL: http://www.universityjournal.ru/docs/TN_7_2013.pdf.



11. Passive and Active Battery Balancing comparison based on MATLAB Simulation / D. Mohamed [et al.] // Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC. 2011. P. 1–7. URL: http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20140122_144859_35513_M_Daowd_N_Omar_P_Van_Den_Bossche_J_Van_Mierlo_Passive_and_Active_Battery_Balancing_comparison_based_on_MATLAB_Simulation.pdf.

12. **Lindemark B.** Individual Cell voltage Equalizers (ICE) For Reliable Battery Performance // 13th International Telecommunications Energy Conference. 1991. P. 196–201. doi: 10.1109/INTLEC.1991.172396

13. Comparison and Evaluation of Charge Equalization Technique for Series Connected Batteries / K. Zhi-Guo [et al.] // 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference. 2006. P. 1–6. doi: 10.1109/PESC.2006.1711751

Поступила 16.09.2015 г.

Об авторах:

Иншаков Александр Павлович, заведующий кафедрой мобильных энергетических средств Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), доктор технических наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3205-2396>, kafedra_mes@mail.ru

Федотов Юрий Борисович, заведующий кафедрой электроники и электротехники Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7978-6784>, fedotovyb@mail.ru

Десяев Сергей Сергеевич, аспирант кафедры электроники и электротехники Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3402-9023>, serga_des@mail.ru

Байков Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры мобильных энергетических средств Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2203-5899>, bdv2304@mail.ru

REFERENCES

1. Tyukhtin KI. Razrabotka elektrotekhnologii i preobrazovatelya elektroenergii dlya regenerativnogo zaryada akkumulyatorov mobilnoy selskokhozyaystvennoy tekhniki [Development of electric technology and regenerative electric power converter for charging batteries of mobile agricultural machinery]: Abstract of Ph.D. thesis (Engineering). Moscow; 2011. Available from: <http://tekhnosfera.com/view/338853/d?#?page=1>. (In Russ.)

2. Gusev YuP. Akkumulyatornyye batarei dlya sistem operativnogo postoyannogo toka podstantsiy YeNES [Batteries for systems operating DC voltage substations ENES]. *Energoekspert* = Energy expert. 2009; 4:24-28. Available from: http://energyexpert.ru/component/option,com_jdownloads/Itemid,87/task,finish/cid,93/catid,18. (In Russ.)

3. Gallardo-Lozano J, et al. Active Battery Balancing for Battery Packs. *Electrical, Control and Communication Engineering*. 2013; 1:1-6. doi: 10.2478/ece-2013-0006

4. Yongjun Y, Xueze W, Zechang S. Assessment of Power Consumption Control Strategy for Battery Management System Using Hardware-In-the-Loop Simulation. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*. Harbin; 2008; 1-6. doi: 10.1109/VPPC.2008.4677485

5. Anosov VN. Metody i sredstva povysheniya effektivnosti sistem tyagovogo elektroprivoda avtonomnykh transportnykh sredstv [Methods and tools of improving the efficiency of traction electric drive autonomous vehicles]: Abstract of Ph.D. thesis (Engineering). Novosibirsk; 2008. Available from: https://ciu.nstu.ru/kaf/persons/1236/a/file_get/117565?nomenu=1. (In Russ.)



6. Rykovanov AS, Belyayev S. Aktivnyye i passivnyye sistemy balansa Li-ion akkumulyatornykh batarey [Active and passive balance of Li-ion batteries]. *Komponenty i tekhnologii* = Components and Technologies. 2014; 3:121-124. Available from: <http://techjournals.ru/journ/elektronika/8167-komponenty-i-tehnologii-3-mart-2014.html>. (In Russ.)
7. Rykovanov AS. Sistemy balansa Li-ion akkumulyatornykh batarey [The balance system of Li-ion batteries]. *Silovaya elektronika* = Power electronics. 2009; 1:52-55. Available from: http://www.power-e.ru/pdf/2009_1_52.pdf. (In Russ.)
8. Moore S, Schneider P. A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems. Proceedings of the SAE World Congress. 2001. Available from: <http://am.delphi.com/techpapers/2001-01-0959.pdf>.
9. Isaacson MJ, et al. Advanced lithium ion battery charger. Battery Conference on Applications and Advances: The Fifteenth Annual. 2000; 193-198. doi: 10.1109/BCAA.2000.838403
10. Desyayev SS. Sistemy monitoringa stacionarnykh akkumulyatornykh batarey [Stationary battery monitoring systems]. *Novyy universitet (Ser. "Tekhnicheskiye nauki")* = New University (Engineering series). 2013; 7:33-36. Available from: http://www.universityjournal.ru/docs/TN_7_2013.pdf. (In Russ.)
11. Mohamed D, et al. Passive and Active Battery Balancing comparison based on MATLAB Simulation. Vehicle Power and Propulsion Conference. 2011; 1-7. Available from: http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20140122_144859_35513_M_Daowd_N_Omar_P_Van_Den_Bossche_J_Van_Mierlo_Passive_and_Active_Battery_Balancing_comparison_based_on_MATLAB_Simulation.pdf.
12. Lindemark B. Individual Cell voltage Equalizers (ICE) For Reliable Battery Performance. 13th International Telecommunications Energy Conference. 1991; 196-201. doi: 10.1109/INTLEC.1991.172396
13. Zhi-Guo K, et al. Comparison and Evaluation of Charge Equalization Technique for Series Connected Batteries. 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference. 2006; 1-6. doi: 10.1109/PESC.2006.1711751

Submitted 16.09.2015

About the authors:

Aleksandr Inshakov, head of Mobile Energy Resources chair, Institute of Mechanics and Energy, Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3205-2396>**, kafedra_mes@mail.ru

Yuriy Fedotov, head of Electronics and Electrical Engineering chair, Institute of Mechanics and Energy, Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), docent, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7978-678>**, fedotovyb@mail.ru

Sergey Desyayev, postgraduate student of Electronics and Electrical Engineering chair, Institute of Mechanics and Energy, Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), (Engineering), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3402-9023>**, serga_des@mail.ru

Dmitriy Baykov, postgraduate student of Mobile Energy Resources chair, Institute of Mechanics and Energy, Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya St., Saransk, Russia), **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2203-5899>**, bdv2304@mail.ru