

УДК 621.43

Р. П. ШАРКОВИЧ

ОПТИМИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА БАЛАНСИРОВКИ LI-ИОН АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения»
Национальной академии наук Беларуси

В статье рассматривается и обосновывается целесообразность использования предложенной системы балансировки Li-ion батареи, состоящей из множества последовательно-соединенных ячеек, применительно к гибридным и электромобилям. Основной задачей системы, является повышение производительности и времени эксплуатации Li-ion батареи.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, гибридный автомобиль, несбалансированная аккумуляторная батарея, система балансировки, электромобиль.

Введение

В настоящее время, важнейшими характеристиками при создании сложных технических объектов становятся их экологичность, экономия энергии и ресурсов. Применительно к автомобилестроению это направление наиболее интенсивно проявляется в разработке и широком распространении гибридных силовых установок (далее ГСУ), практика применения которых на легковых автомобилях показала возможности экономии топлива до 20–30% и значительного снижения токсичности выхлопных газов. Одним из ключевых компонентов этих технологий следует выделить аккумуляторные батареи. В данной статье рассмотрим принципы работы и способы построения схем моделирования устройств балансировки для аккумуляторной батареи.

Устройство аккумуляторной батареи гибридного автомобиля и электромобиля

Аккумуляторная батарея (АБ) гибридного автомобиля и электромобиля состоит из множества последовательно соединенных аккумуляторов, что не позволяет, при массовом производстве, добиться схожести их характеристик – внутренне сопротивление, следовательно, и емкость, будут незначительно, но все же отличаться.

При разбиении АБ на несколько последовательно соединенных аккумуляторов и размещение их в разных отсеках автомобиля (в багажнике, под капотом автомобиля и т. п.), каждая ячейка работает в различных температурных режимах работы, это окажет характерное влияние на их параметры. Для уменьшения разброса параметров, разработчики гибридных и электромобилей изготавливают АБ из аккумуляторов одной производственной партии, а для равномерного распределения температуры на батареях, ищут пути оптимизации конструкции, охлаждения АБ. Однако, данного решения недостаточно, поскольку в процессе эксплуатации возникают проблемы баланса ячеек аккумулятора, что снижает эффективность использования АБ в гибридном автомобиле и электромобиле.

Влияние несбалансированной АБ

Негативное влияние несбалансированной АБ можно рассмотреть на следующем примере: при движении гибридного автомобиля или электромобиля напряжение на одной из ячеек опустится до заданного нижнего уровня, ниже которого может произойти деградация АБ, система обеспечения безопасности автомобиля принудительно разомкнет цепь разряда АБ и гибридный автомобиль или электромобиль

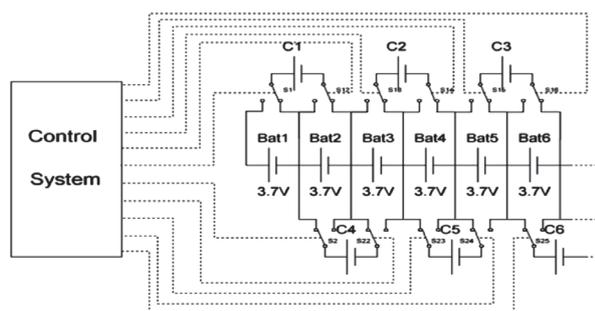


Рис. 1. Структурная схема устройства активной балансировки АБ

не сможет в полной мере функционировать. Напряжение на отдельных ячейках батареи будут выше заданного нижнего допустимого предела, что свидетельствует о наличии неиспользуемого заряда в аккумуляторах. Следовательно, экономия топлива, а так же запас хода будут значительно меньше, чем у гибридного автомобиля и электромобиля со сбалансированной АБ.

Для выравнивания степени заряда и напряжений на отдельных аккумуляторах в АБ используются специальные системы и устройства балансировки. Рассмотрим схему и принцип действия устройства активной балансировки заряда АБ.

Структурная схема этого устройства представлена на рис. 1.

На каждую пару последовательно-соединенных аккумуляторов подключены два коммутационных ключа и конденсатор. Конденсатор переключается между двух аккумуляторов, перенося заряд от аккумуляторов с большим зарядом к аккумуляторам с меньшим зарядом, таким образом, постепенно выравнивая их заряд. При этом происходит управление коммутацией силовых ключей. Т. к. аккумуляторы $B_2 \dots B_{n-1}$ делят свой резервный накопитель с двумя соседними аккумуляторами, то заряд может переноситься только от одного конца последовательной цепи до другого. Главным недостатком этой схемы является длительный период времени переноса заряда, в том случае если ячейка АБ с наибольшим зарядом и ячейка с наименьшим находятся с разных сторон последовательной цепи аккумуляторов. В этом случае заряд будет переноситься через каждую последовательно-соединенную ячейку, что приводит к большим затратам времени и эффективности.

Вторым недостатком является наличие большого количества ключей: $(n-1)*4$, где n – число ячеек батареи.

Но, несмотря на недостатки, схема является достаточно компактной. Для каждой пары АБ система управления, коммутационные ключи и конденсатор могут быть объединены в отдельном модуле напротив аккумуляторов, заряды которых они выравнивают. При добавлении дополнительных батарей в последовательную цепь АБ могут быть добавлены дополнительные резервные накопители, переключаемые парой коммутационных ключей.

Рассмотрим математическую модель устройства активной балансировки в программе MatlabSimulinkSystem. Наглядная схема устройства изображена на рис. 2.

Условия моделирования:

- АБ состоит из 6-ти секций аккумуляторов (Battery1–6);
- Тип аккумулятора Li-Ion;
- $U_{ном} = 3,7В$;
- Емкость 250Ач.

Установим следующие значения степеней заряда для аккумуляторов (Battery1-Battery6): Battery 1 = 90% Battery 2 = 85% Battery 3 = 75% Battery 4 = 75% Battery 5 = 85% Battery 6 = 70% (АБ разбалансирована на 20%). Заряд должен производиться током 25 А, до тех пор пока напряжение на какой-либо из ячеек не достигнет 4.3 В. Разряд – током 50 А, пока напряжение не опустится до 3,6В, после чего моделирование должно быть приостановлено.

Заряд АБ осуществляется от источника постоянного напряжения V_{source} (внутреннее сопротивление задается резистором R_{int}) при открытии ключа $SwitchS$. Разряд АБ осуществляется при подключении к ней нагрузки R_{load} , посредством открытия ключа $SwitchL$. Величины сопротивлений R_{int} и R_{load} выбраны так, чтобы заряд АБ от источника V_{source} (25В) осуществляется током 25 А, а разряд – током 100 А.

Рассмотрим подсистемы, представленные на схеме (рис. 2):

1. Подсистема *SignalDistribution* направляет сигналы от аккумуляторов (с информацией о напряжении и степени заряда с мультиплексированных входов $In1-4$ на осциллограф (мультиплексированные выходы $Out5-Out7$). На подсистемы *Charge/DischargeControl* и *ControlBalancer* она подает сигналы через выходы $Out1-4$ с информацией о напряжении на аккумуляторах. На выходы $Out5$ и $Out6$ подается

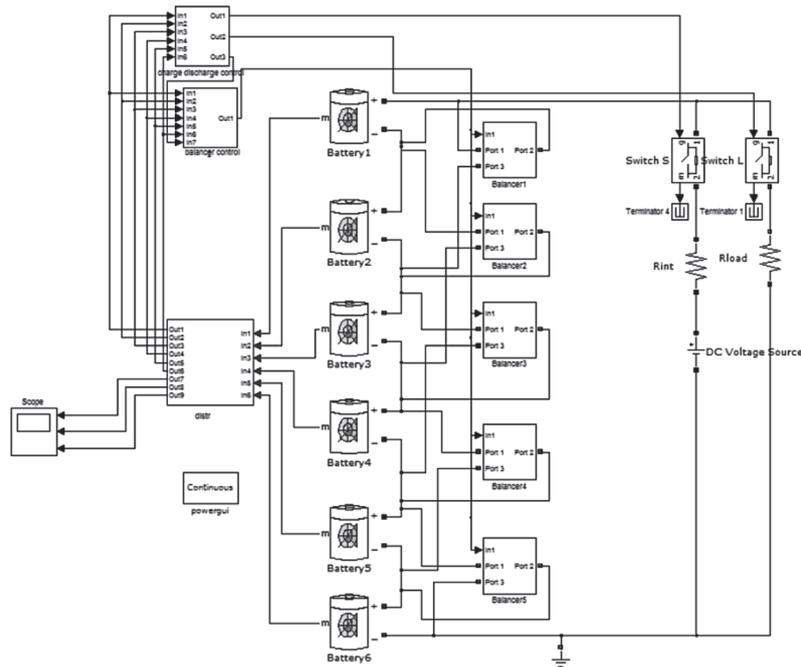


Рис. 2. Математическая модель устройства активной балансировки АБ в среде Matlab Simulink

информация соответственно о степени заряда (SOC, %) и напряжении (V, B). На выход Out7 подается значения разбаланса (максимальная разница между степенями заряда отдельных аккумуляторов)

2. Подсистема Charge/DischargeControl через выходы Out1 и Out2 управляет зарядом и разрядом АБ путем коммутации ключей S и L (заряд АБ – S открыт, L закрыт, при разряде – наоборот). При подаче на управляющий вход «g» ключа S (или L) сигнала лог. «0» – он закрывается, а при подаче сигнала лог. «1» – открывается.

Алгоритм работы этой подсистемы основан на измерении напряжений аккумуляторов Cell1-Cell4 и установлен в соответствии с условиями моделирования. В момент начала моделирования должно соблюдаться условие: на выходах Out1 и Out2 подсистемы должно быть соответственно с выходов Out1 и Out2. Как только (при заряде) напряжение на каком-либо аккумуляторе опустится ниже допустимого уровня 3,6В, подсистема принудительно остановит моделирование.

3. Для балансировки АБ используется 3 одинаковых подсистемы Balancer1-3. Рассмотрим подсистему Balancer1 (рис. 3). В подсистеме Balancer1 конденсатор $C1$ через порты Port1-Port3 поочередно подключается к аккумуляторам Battery1 и Battery2 (к Battery1 через

Port1 и Port2, к Battery2 через Port2 и Port3). За подключение конденсатора к соответствующим портам отвечают ключи Switch1-Switch4, управляемые D-триггером Flip-Flop1, охваченного обратной связью. Частота коммутации ключей задается генератором импульсов PulseGenerator.

4. В подсистеме ControlEqualizer находится логическая схема, которая на основе входных сигналов In1-In4 находит разницу между максимальным и минимальным напряжением на аккумуляторах – DU . Значение DU сравнивается с заданным пределом. Если оно меньше

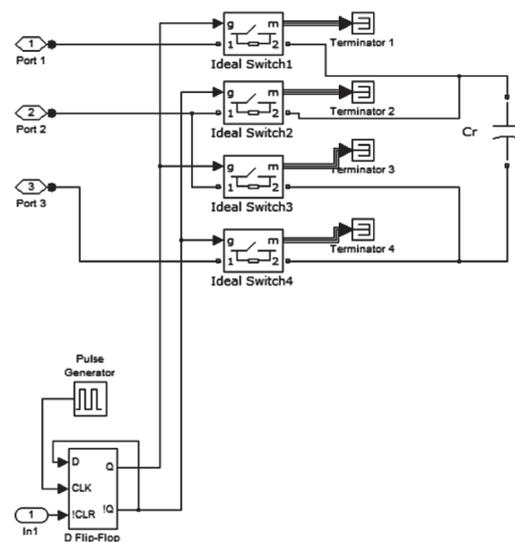


Рис. 3. Блок Balancer в среде Matlab Simulink

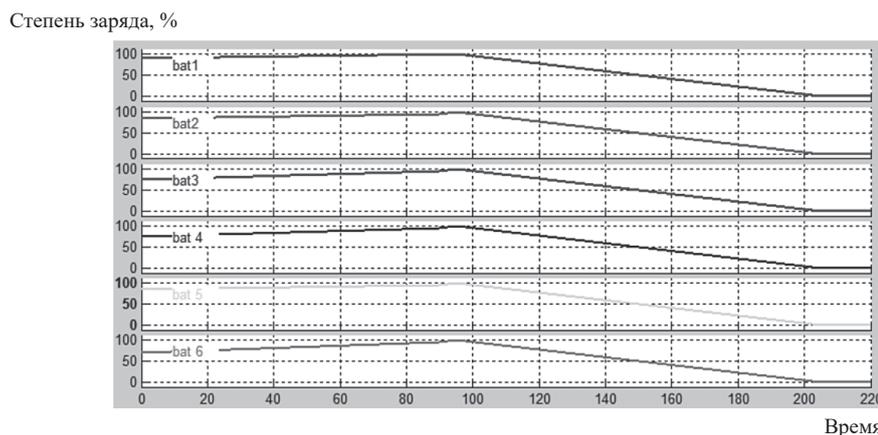


Рис. 4А. Результаты моделирования с устройством балансировки в среде Matlab Simulink

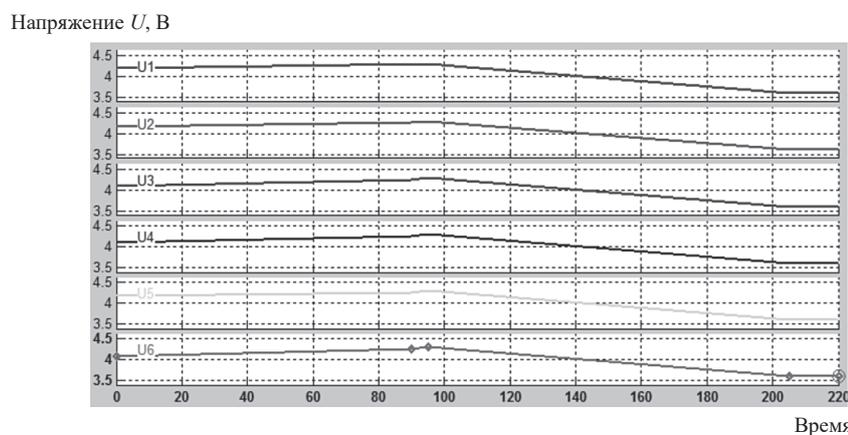


Рис. 4Б. Результаты моделирования с устройством балансировки в среде Matlab Simulink

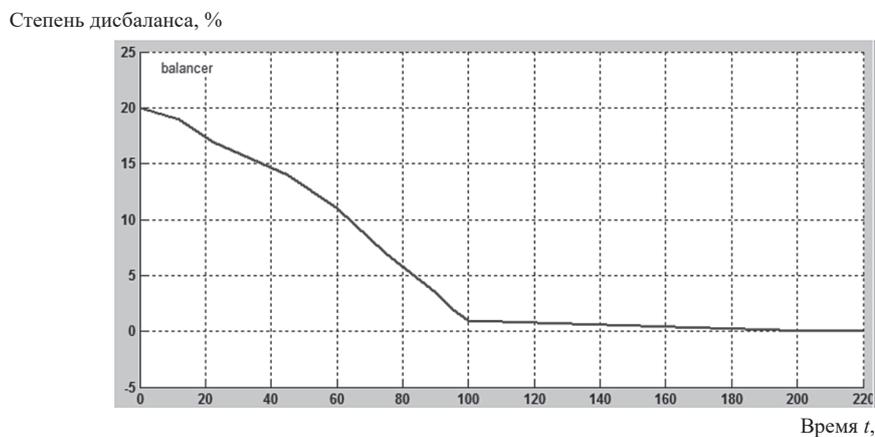


Рис. 4В. Результаты моделирования с устройством балансировки в среде Matlab Simulink

заданного предела (0.1В), то через свой выход подсистема ControlEqualizer выключает подсистема Balancer1-Balancer3. Работа схема осуществляется только по сигналам на вход In5 от подсистемы Charge/ DischargeControl. Эти сигналы подсистемы Charge/DischargeControl посылает в моменты окончания заряда и разряда АБ (из-за нелинейной зависимости напряжения аккумулятора от его степени заряда в такие моменты наблюдается максимальное зна-

чение величины DU). Таким образом, эта подсистема принимает решение о включении или выключении подсистем Balancer1-Balancer3 только в моменты достижения максимальных значений DU.

Результаты моделирования

На рис. 4А–4В получены в ходе моделирования характеристики степени заряда, напряжения и величины дисбаланса по степени за-

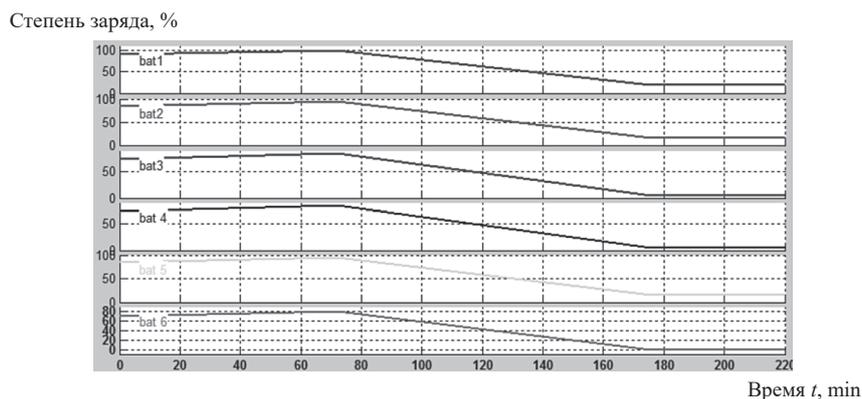


Рис. 5А. Результаты моделирования без устройства балансировки в среде Matlab Simulink

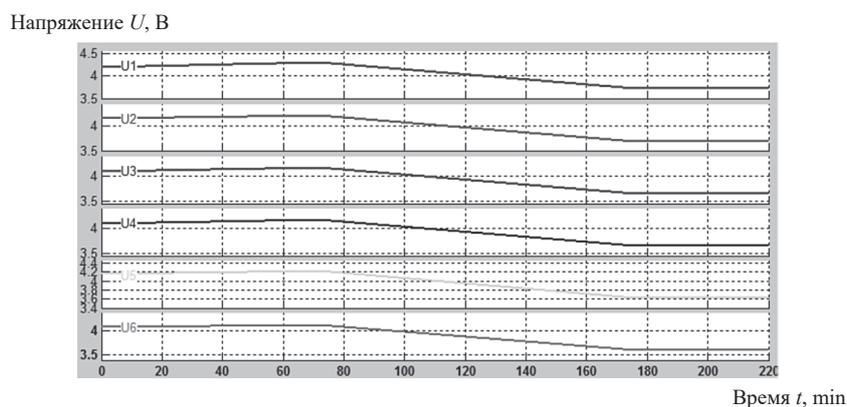


Рис. 5Б. Результаты моделирования без устройства балансировки в среде Matlab Simulink

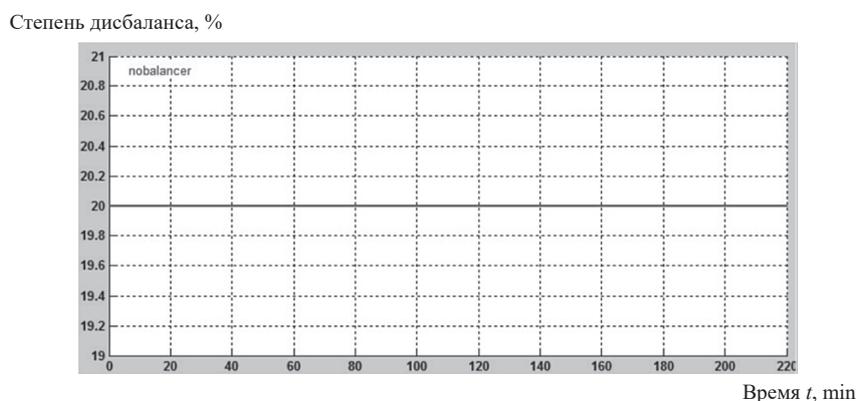


Рис. 5В. Результаты моделирования без устройства балансировки в среде Matlab Simulink

ряда при работающем устройстве балансировки. Как видно из осциллограммы, время заряда АБ до момента, когда напряжение на одном из аккумуляторов (Cell1) достигло 4,3 В, составило 72 мин. Величина дисбаланса осталась постоянной. Время разряда АБ составило 110 мин.

На рисунках 5А–5В представлены полученные в ходе моделирования характеристики степени заряда, напряжения и величины дисбаланса по степени заряда без работающего устройства балансировки. На осциллограмме

видно, время заряда АБ до момента, когда напряжение на одном из аккумуляторов (Cell1) достигло 4,3 В, составило 72 мин. Величина дисбаланса осталась постоянной. Время разряда АБ составило 104 мин.

Заключение

1. Использование устройств балансировки повышает баланс напряжений и заряда ячеек АБ, что позволяет в полной мере использовать емкость аккумуляторов.

2. Поскольку, время заряда АБ при использовании устройства балансировки значительно

но возрастает, то активную балансировку следует производить не каждый цикл заряда/разряда, а по мере необходимости.

3. Производить балансировку аккумуляторов эффективнее на конечном этапе заряда/разряда АБ, когда разница между напряжениями на аккумуляторе увеличивается. При средней степени заряда АБ напряжения на разба-

лансированных аккумуляторах практически одинаковы.

4. Устройство балансировки с коммутируемым конденсатором может использоваться для АБ гибридного автомобиля и электромобиля, так как ячейки АБ за каждый цикл работы проходят полный цикл заряда/разряда. Такие условия значительно повышают эффективность метода.

Литература

1. Уэн С. Выравнивание заряда батарей обеспечивает долгое время работы и продлевает срок службы. /Уэн С. – США: Техас Инструментс, 2010. – 14с.
2. Marozka A. A. Structure Development and Simulation of Plug-in Hybrid Electric Vehicle /A. A. Marozka, Y. N. Petrenko. – System Analysis and Applied Information Science. 2013, № 1–2, pp. 17–26.
3. Морозько О. А. Matlab simulation and user satisfaction assessment of PHEV. /О. А. Морозько, Ю. Н. Петренко. [Электронный ресурс]. – 2015 – Режим доступа: [http:// rep. bntu. by/handle/data/12043](http://rep.bntu.by/handle/data/12043). – Дата доступа: 07.07.2016. – 6 с.
4. Иншаков А. П. Проблема мониторинга и балансировки аккумуляторных батарей транспортных средств./А. П. Иншаков, Ю. Б. Федотов, С. С. Десяев, Д. В. Байков. – Россия, Саранск: ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н. П. Огарёва», 2016. – 9 с.
5. Рыкованов А. С. Активные и пассивные системы баланса Li-ионаккумуляторных батарей./ А. С. Рыкованов, С. А. Беляев, – Россия: Силовая электроника, Статья, 2009. – 4 с.
6. Аносов В. Н. Методы и средства повышения эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств./ Аносов В. Н., –Новосибирск: Автореферат диссертации., 2008. – 2 с.
7. Варламов Д. О. Моделирование устройства балансировки Li – Ion батареи с коммутируемыми конденсаторами для электромобиля./ Варламов Д. О., – Россия, Москва: МГТУ МАМИ, 2008. – 7 с.
8. Шаркович Р. П. Анализ векторного управления синхронных двигателей с постоянными магнитами. / Шаркович Р. П., – Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2015–8 с.

References

1. Wen S. Equation of battery for a long operating work time and extend the battery life. /Wen S. – США: Texas Instruments, 2010. – 14 p.
2. Marozka O. A. Structure Development and Simulation of Plug-in Hybrid Electric Vehicle /A. A. Marozka, Y. N. Petrenko. – System Analysis and Applied Information Science. 2013, № 1–2, pp. 17–26.
3. Marozka O. A. Matlab simulation and user satisfaction assessment of PHEV./ O. A. Marozka, Ju. N. Petrenko. [Elektronnyj resurs]. – 2015 – Rezhim dostupa: [http:// rep. bntu. by/handle/data/12043](http://rep.bntu.by/handle/data/12043). – Data dostupa: 07.07.2016. – 6 s
4. Inshakov A. P. The problem of monitoring and balancing batteries vehicles. / A. P. Inshakov, U. B. Fedotov, S. S. Desyaev, D. V. Baykov. – Russia, Saransk: MSU, 2016. – 9 p.
5. Rykovanov A. S. Active and passive systems balance Li-ion batteries. /A. S. Rykovanov, S. A. Belyaev, – Russia: Power electronics, Article, 2009. – 4 p.
6. Ansonov V. N. Methods and means of improving the efficiency of the systems of traction electric drive autonomous vehicles. /Ansonov V. N., – Novosibirsk: Abstract of the thesis., 2008. – 2 p.
7. Varlamov D. O., Modeling of balancer Li – Ion battery with switched capacitors for electric vehicle. / Varlamov D. O. – Russia, Moscow: MSTU MAMI, 2008. – 7 p.
8. Sharkovich R. P. An analysis of vector control of synchronous motors with permanent magnets. / Sharkovich R. P. – Minsk: UIMNASBelarus, 2015–8 p.

Поступила
08.10.2016

После доработки
08.11.2016

Принята к печати
28.11.2016

Sharkovich R. P.

OPTIMIZATION BALANCING DEVICES LI-ION BATTERIES FOR HYBRID AND ELECTRIC VEHICLES

The article discusses and proves the feasibility of using the proposed system balancing Li-ion battery consisting of a plurality of series-connected cells, applied to hybrid and electric transportation. The main objective of the system is to increase the performance and operating time of Li-ion batteries.

Keywords: battery, hybrid car, unbalanced battery balancing system, electric.



Шаркович Роман Петрович, младший научный сотрудник Объединенного института машиностроения Национальной академии наук Беларуси. В 2015 г. окончил Белорусский национальный технический университет по специальности «Автоматизированный электропривод». С 2015 г – магистрант Международного института дистанционного образования Белорусского национального технического университета по специальности «Распределенная автоматизация на основе промышленных компьютерных сетей».

E-mail: rsharcovich@yahoo.com.

Sharkovich Roman Petrovich, Junior Researcher of the Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus. In 2015 graduated from the Belarusian National Technical University on a specialty «Automatic Electric.» From 2015 and currently enrolled in the «Belarusian National Technical University» in «Distributed automation based on industry computer networks».

E-mail: rsharcovich@yahoo.com