

УСЛОВИЯ ЗА БЕЗОПАСНА И ДЪЛГОТРАЙНА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ЛИТИЕВО-ЙОННИ БАТЕРИИ ЗА ЕЛЕКТРОМОБИЛИ

Борис Велев

bori_velev@abv.bg

*Институт по електрохимия и енергийни системи – БАН,
София 1113, ул. Акад. Г. Бончев № 1, бл.10,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *BMS – система за управление на батерията, Еквалайзер(балансир), OCV- напрежение при отворена верига, SOC - състояние на зареждане на батерията, EV- електромобил, HEV- хибриден електромобил.*

Резюме: *Направен е кратък анализ на употребяваните тягови батерии в електрическите превозни средства. Показани са предимствата и недостатъците на литиево-йонните батерии пред оловно-киселите батерии, които са все още най-употребяваните батерии, особено за електрокарите. Правилното електрическо и топлинно управление на една литиево-йонна батерия, състояща се от много клетки е наложително. По време на работа, разликите в напрежението и температурата в клетките може да доведе до електрически дисбаланс от клетка към клетка и причина на спад на капацитета на цялата батерия с близо 25%. За избягване на този дисбаланс е необходимо използването на система за управление на батерията (BMS). Показано е действието на двата основни типа - пасивна и активна система за управление на литиево-йонна батерия, като са анализирани техните предимства и недостатъци. Направени са изводи за приложението им при EV/HEV.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Поради продължаващото изчерпване на изкопаемите енергийни ресурси и повишаване на информираността за опазването на околната среда, индустриите свързани със зелената енергия и нейните приложения например като тяговите батерии за EV /HEV ще бъдат изгряващите звезди в следващите 30 до 50 години. Заедно с нарастващите алтернативни източници на зелена (екологична) енергия и транспорт, търсенето на решения за екологично съхранение на енергията ще се увеличават бързо.

2. ЦЕЛ НА РАБОТАТА

Цел на настоящата работа е да се направи кратко проучване и анализ на начините и средствата за безопасна и дълготрайна експлоатация на основните видове тягови батерии за електрическите превозни средства. Да се направят експериментални изследвания за конкретна литиево-йонна батерия и инструкция за начална и постоянна безопасна експлоатация. Да се направи кратък обзор и сравнителен анализ на видовете BMS. Да се направят експериментални изследвания за конкретна литиево-йонна

батерия за начална и постоянна безопасна експлоатация. Да се направят изводи за приложението на литиево-йонната батерия в EV/HEV.

3. АНАЛИЗ НА БЕЗОПАСНАТА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ТЯГОВИ БАТЕРИИ

Оловно-киселите батерии са все още най-широко използваните батерии за приложение в транспортните средства. Те са най-евтин и сравнително безопасен избор. Въпреки това, поради токсичното замърсяване на околната среда, ограничен жизнен цикъл и изключително голямото тегло, оловно-киселите батерии са почти изключени за сравнения при приложения за EV/HEV. До настоящия момент най-голямо развитие получават литиево-йонните батерии, които са приложими за висока съхранявана мощност, както и за дълъг жизнен цикъл. Литиево-йонните кобалтови батерии (LiCoO_2) са по-мощни и имат по-голям капацитет [1], но все пак, поради високия риск от запалване и експлозия в сравнение с други типове литиево-йонни батерии, те не са подходящи за джобни устройства или съоръжения за съхранение на енергия с голям капацитет. В момента само литиево-йонната желязо-фосфатна батерия (LiFePO_4) покрива едновременно стандартите за безопасност, опазването на околната среда и ефективността на разходите [2].

4. ВИДОВЕ ТЯГОВИ БАТЕРИИ, БЕЗОПАСНА РАБОТА И АПАРАТУРА ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ.

В момента най-атрактивни по отношение на цена и качество за приложение в EV са предлаганите от [2] литиево-йонни батерии тип LiFeYPO_4 . Най-добро съотношение тегло/мощност/цена показва литиево - йонната батерия LiFeYPO_4 -120V/100Ah. За сравнение на експлоатационните характеристики, на изпитване е подложен и нов тягов

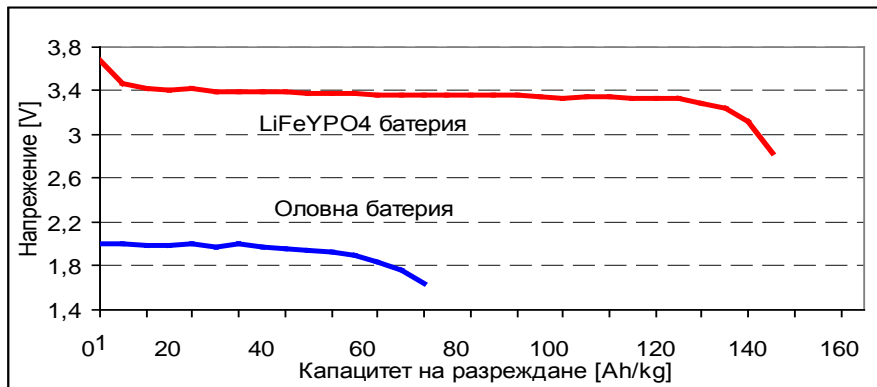


Фиг. 1 Стенд за изпитване на тягови батерии

акумулатор 12V/100Ah, производство на “Монбат”[4]. Експериментите са направени със специален изпитвателен стенд, показан на фиг. 1. Принципът на действие на стенда е представен в [5].

4.1. Енергийна плътност на тягови батерии

Оловно-киселите батерии са водна система. Индивидуалното клетъчно напрежение е номинално 2V по време на разреждане. Оловото е тежък метал, конкретният му капацитет е само 44ah/kg. За сравнение, литиево-йонната батерия на основата на желязен фосфат (LiFeYPO_4) е неводна система, като номиналното клетъчно напрежение е 3,3V. Нейният специфичен капацитет е повече от 145ah/kg. На фиг. 2. е показан графично капацитета на разреждане в A/kg при характеристиките на разреждане с постоянен ток на разреждане 50A на клетки от двата вида батерии.



Фиг.2 Капацитет на разреждане на клетки от оловно-кисели и литиево-йонни батерии

От графиката на фиг.2. се вижда, че капацитета на оловно-киселата батерия бързо спада и работната зона на характеристиката на разреждане е много по-малка (плоската зона). В сравнение работната зона на LiFeYPO₄ батерия е по-голяма и капацитета на разреждане е по-голям.

4.2. Инstrukция за безопасна и дълготрайна експлоатация на LiFeYPO₄ батерия

За повишаване на безопасността и увеличаване на дълготрайността на новодоставена литиево-йонна батерия трябва стриктно да се спазват следните правила, адаптирани за конкретната батерия [2]:

- ◆ Предварително балансиране на клетките.
- ◆ Първоначално зареждане на целия пакет батерия.

Задължително се монтира BMS с най-малко следните функции:

- ◆ Защита на клетките по време на зареждане и експлоатация.
- ◆ Текущ клетъчен баланс по време на експлоатация.

Предварителното балансиране на клетките се прави за да се гарантира, че всички клетки са с едно и също състояние на зареждане (SOC), т.е. всички клетки трябва да имат едни и същи напрежения при отворена верига (OCV), защото OCV е пряко свързано с SOC. За целта, преди зареждане всички клетки се свързват директно паралелно една с друга с двупроводна линия. След известно време крайните напрежения на клетките ще бъдат изравнени, въпреки че първоначалното OCV на клетките е било различно. Това става чрез принудително зареждане от клетките с по -



Фиг. 3 Двупроводна мрежа за предварително балансиране на призматични клетки високо SOC в клетките с по-ниско SOC. На фиг. 3 е показана дву-проводна мрежа за изравняване на клетките с кабели и пръстен-терминали. След изравняването целия

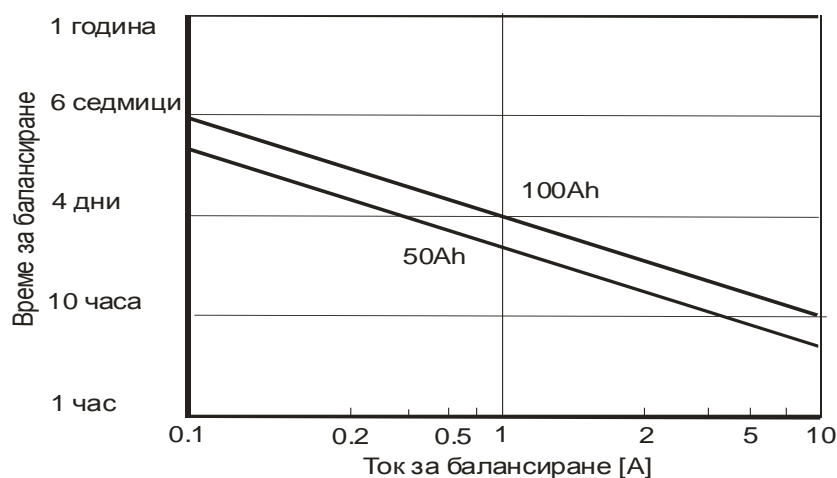
пакет батерия трябва да се зареди преди първа употреба до пълно напрежение на допустимото ниво.

4.3. Системи за управление на батерията (BMS)

Системата за управление на литиево-йонната батерия (BMS) е задължителен компонент при експлоатацията на мощни литиево-йонни батерии [6,7,8,9]. BMS изпълнява функцията мониторинг на батерията, проверка на ключовите оперативни параметри по време на зареждане и разреждане, като напрежения и токове, вътрешната температура на батерията и температурата на околната среда [7]. Мониторингът следи всички вериги при нормални условия, а ако някой от параметрите доближи или надмине нормалните граници, генерира звукова или светлинна аларма и изпраща сигнал на входа на защитните устройства, които ще изключат батерията от товара или зарядното устройство. Работата на батерията извън определените граници на допустимите параметри неминуемо ще доведе до нейната повреда. Освен неудобството, разходите за подмяна на батерията могат да бъдат непосилни. Това е особено вярно за високото напрежение и високата мощност на автомобилните батерии, които трябва да действат във враждебна среда и които в същото време може да са обект на злоупотреба от страна на потребителя. В електрическите вериги на литиево-йонната батерия винаги има малки разлики между клетките, поради производствените толеранси, които в зависимост от условията на работа са склонни да бъдат увеличавани с всеки цикъл на зареждане/разреждане. Слабите клетки стават претоварени по време на зареждане, карайки ги да стават още по-слаби при всеки цикъл на зареждане/разреждане, докато те в крайна сметка не причинят преждевременно излизане от строя на батерията. Текущото балансиране на клетките е начин за компенсиране на по-слабите клетки чрез изравняване на зареждането върху всички клетки във веригата и по този начин се удължава живота на батерията. За определяне на тока за балансиране на пакети батерии с капацитет 100 Ah и 50 Ah се използва графиката на фиг. 4, съгласно формула (1):

$$(1) \quad I_B [A] = C [Ah] / t [h]$$

Където: I_B - ток за балансиране; C - капацитет на батерията, t - време за брутно балансиране.



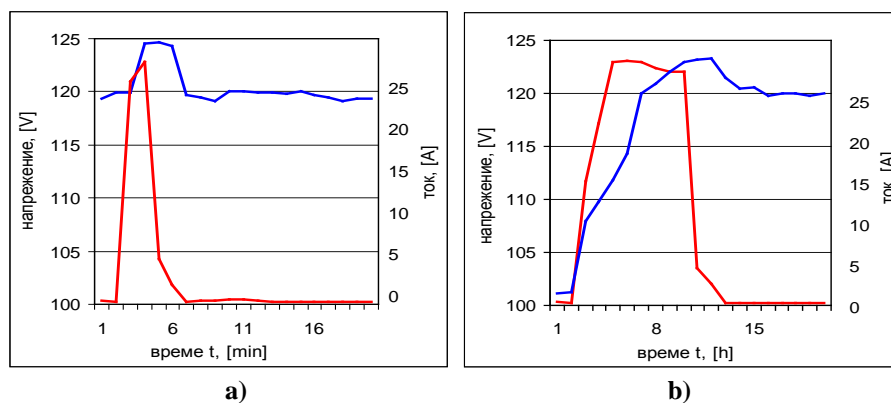
Фиг. 4 Време за балансиране в зависимост от тока за балансиране при небалансирана батерия

4.3. Видове системи за текущо балансиране на батерията

Текущото балансиране може да бъде дисипативно, недисипативно (дисипативно - излишната енергия се разсейва в топлина; недисипативно - енергията се прехвърля в нуждаещите се клетки и поради това не се губи) или “преразпределение” [6,7,8,9]. Дисипативното балансиране обикновено се нарича "пасивно", недисипативното балансиране често се нарича "активно". Недостатъците на пасивното балансиране са очевидни - губи се енергия, при високи токове на пасивно балансиране, генерираната топлина може да засегне клетките. На пръв поглед, активното балансиране е по-добро, защото не се губи енергия. В действителност, активното балансиране има някои недостатъци - има повече компоненти от пасивното балансиране, по-висока цена, по-ниска надеждност, по-голям обем и др. Преразпределението е подобно на активното балансиране, но при него DC-DC конверторите трябва да използват повече мощност и алгоритмите са малко по-сложни. Десетки BMS се предлагат на пазара, което прави избора малко обезсърчителен. В случая за нашата батерия сме избрали разработка на собствена BMS с “пасивно” балансиране и дигитален мониторинг на всяка клетка [7,8], която има според нас най-добро съотношение цена/простота/ надеждност.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА LiFePO_4 БАТЕРИЯ

Изследвани са призматични клетки на батерия тип LiFePO_4 - 120V/100Ah, заредена съгласно инструкцията, представена по-горе. За клетки с номинално напрежение 3.75V, пълното ниво на зареждане е 4V. В случая за пакет батерия с номинално напрежение 120V пълното ниво на зареждане е напрежение 128V. При сглобяване на 120V пакет се използват 8 броя модули по 4 клетки с номинално напрежение 15V. Много важно е да се зарядят всички модули на едно и също напрежение (15V) преди сглобяване на цялата опаковка. Това се прави за да се гарантира, че всички клетки са с едно и също състояние на зареждане (SOC). Всяко решение за това действие, което изисква електронно измерване на OCV на клетките, ще страда от ограничената резолюция на измерването, от факта, че при литиево-йонните клетки, в средата на нивото на SOC, OCV не се променя много заедно с SOC. Ние използваме един прост начин за предварително балансиране, за да се премахне измерването на напрежението като източник на грешки – това е дву-проводната линия (фиг. 3). Новодоставените клетки се поставят една до друга, с полярност в една и съща посока. Свързват се с дву-проводната мрежа в паралел, като се внимава за полярността. Свързват се със зарядно устройство 3,75V/10A. Изчаква се предварително зададено време или по-добре, докато токът на зарядното устройство падне до 0A. Изключват се клетките от мрежата, тъй като те вече са готови да бъдат вградени в пакета на батерията. След това се зарежда целия пакет на батерията чрез използване на



Фиг.6 Зареждане на LiFePO_4 батерия 120V /100Ah.

128V зарядно устройство. На всяка клетка е монтиран еквайзер (балансир) за пасивно балансиране на напрежението. Еквайзерите ще започнат балансиране на клетката, веднага след като пълното ниво на зареждане е достигнато. BMS контролира еквайзерите и състоянието на клетките по време на експлоатация. На фиг. 6 са показани са експериментални изследвания на батерия 120V/100Ah за действието на BMS:

- На фиг.6а. напълно заредена батерия се зарежда отново - напрежението се увеличава много бързо от 120V до 125V и на границите на текущия ток BMS спира зареждането, токът рязко спада до нула, напрежението на батерията спада до номиналното за няколко минути.

- На фиг.6в. е показано зареждане на разредена батерия: - напрежението се увеличава от 102V до 120V, докато се зарежда на пълен ток (25A). След достигане на 123V токът се намалява постепенно докато се достигне пълното напрежение на зареждане (125V), след около 8 часа BMS спира зареждането, като същевременно балансира клетките.

6. ИЗВОДИ

- Литиево-йонната тягова батерия е много по-подходяща за приложение в EV и HEV от оловно-киселата батерия.

- Пасивното и активното балансиране компенсират състоянието на зареждане (SOC) на отделните клетки. То не компенсират дисбаланса на капацитета (което се прави с т.н. "преразпределение").

- Балансиращият пакет на батерията е в състояние да предостави максималната мощност ограничена само от клетката с най-малък капацитет (за да предостави цялата мощност, неограничен от някоя клетка, е необходима функцията "преразпределение"). В момента "преразпределението" се извършва от много скъп хардуер и софтуер, все още е много сложно и ненадежно и за EV и HEV приложения все още се използва BMS с пасивно или активно балансиране.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] http://www.phet.com.tw/Technology/Comparison_Table.aspx.

[2] www.ev-power.eu/.../WB-LYP100AHA-LiFeYPO4-3-2V-100Ah.html.

[3] Claus, D. Materials and processing for lithium-ion batteries. J. Miner. Metals Mater. Soc. 2008, 60, 43–48, 2008 .

[4] <http://www.monbat.com/articles.php>.

[5] Velev B., B. Banov, G. Velev, System for Testing of Lithium-ion Batteries and Electric Motors for Electrical Vehicles, trans&MOTAUTO'12, 20th Anniversary International Scientific Technical, Варна 27-29 Juni, ISSN 1313-5031,2012.

[6] Davide A., Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs Artech House, Sep 30, ISBN 1608071049, 2010, 231-238 str.

[7] Velev B, B. Banov, G. Velev, System for Control and Monitoring of LI-Ion Battery, IX International congress "Machines, technologies, materials, 19-21 sept., Varna 2012, 45-47, ISBN1310-3946, 2012.

[8]. T. A. Stuart, W. Zhu, Modularized Battery Management for Lithium Ion Cells, Journal of Power Sources, 196, No.1, pp. 458-464, Jan. 2011.

[9] C. Chen, K.L. Man, T.O. Ting, Chi-Un Lei, T. Krilavičius, T.T. Jeong, J.K. Seon, Sheng-Uei Guan and W.H. Prudence Wong, "Design and Realization of Smart Battery Management System," in proceedings of the IAENG International MultiConference of Engineers and Computer Scientists - IMECS'12, Hong Kong, pp.1173-1176, 2012.

CONDITIONS FOR SAFE OPERATION AND LONG LITHIUM-ION BATTERIES FOR ELECTRIC VEHICLES

Boris Velev
bori_velev@abv.bg

*Institute of Electrochemistry and Energy Systems – BAS,
1113 Sofia, akad.G. Bonchev № 1 bl.10
Bulgaria*

Key words: *BMS - battery management system, EQU (equalizer), OCV- Open circuit voltage, SOC - state of charge, EV-electric vehicle, HEV- hybrid electric vehicle.*

Abstract: *A short analysis of used traction batteries in electric vehicles. Below are the advantages and disadvantages of lithium-ion batteries to lead-acid batteries are still the most commonly used batteries, especially for electric vehicles. Proper electrical and thermal control of a lithium-ion battery consisting of many cells is necessary. During operation, the differences in pressure and temperature in the cells may result in an electrical imbalance of the cell to the cell and cause a decline in the capacity of the entire battery of about 25%. To prevent this imbalance, it is necessary to use a control system of the battery (BMS). Shown is the effect of the two main types - active and passive management system lithium-ion battery, by analyzing their advantages and disadvantages. Conclusions are made for their use in EV / HEV.*