МЛАД ФОРУМ
Механика Транспорт Комуникации
Научно списание http://www.mtc-aj.com

ISSN 2367-6558 (print)
ISSN 2367-6612 (online)
том 14, брой 1, 2025г.
статия № 2688

СЪВРЕМЕННИ ТЕНДЕНЦИИ ЗА РАЗВИТИЕ НА ЛИТИЙ-ЖЕЛЯЗО-ФОСФАТНИ АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

Николай Велев, Ивайло Петров, Александър Петров, Йордан Йорданов, Ирена Божичкова, Мартин Златков
nikivelev7@gmail.com, milenium_26@abv.bg, dj_marti79@mail.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
ул. „Гео Милев“ 158, София 1574
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *Акумулаторна батерия, електромобил, източник на електрическа енергия, електродвигател, литиевойонни, литиево-полимерни, литий, никел-метал-хидридна, химически източник, заряд-разряд, автономно захранване, електролит.*

Резюме: *Акумулаторната батерия е един от основните елементи на хибридната соларна система и електромобила. Тя е източник на електрическа енергия, необходима за захранване на консуматорите през тъмната част от денонощието или електродвигателя при електромобила. Темата на доклада е изцяло насочена към съвременните литий-желязо-фосфатни LiFePo4 акумулаторни батерии, тенденциите за развитието им, включително и асемблиране на батерия за електромобил с елементи от нов тип.*

Многократното ù циклично зареждане и разреждане позволява съхранение на енергия и автономно захранване на различни електрически устройства и оборудване, както и за осигуряване резервни източници на енергия в транспорта, енергетиката, електромобилите, битови и промишлени соларни системи.

В доклада, са представени основни технически данни за литий-желязо-фосфатни LiFePo4 акумулаторни батерии от по-нов тип. Направена е съпоставка между литиевойонни елементи от типа 18650 и новите LiFePo4 от типа LF304. Посочени са предимствата и недостатъците на малките и големите акумулаторни елементи. Представена е графика на цикличния живот на батерията. Дадена е информация за BMS системите, които са задължителна част от състава на една съвършена батерия. Табличен вид показва основните параметри на съответен акумулатор.

УВОД

Литиевополимерната батерия е с усъвършенстван дизайн и наследник на литиевойонната батерия. Опитите на учените да решат проблемите свързани с безопасността и високата цена на Li-ion батерия доведоха до появата на Li-poli батерии. Основната разлика в сравнение с Li-ion е в наименованието и се състои във вида на използвания електролит.

1. ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ТРУДНОСТИ ПРИ РАБОТА С ЛИТИЕВО-ЙОНЕН ЕЛЕМЕНТ 18650

С течение на времето литиевойонния елемент 18650 е усъвършенстван от 1500mAh до над 6000mAh. Съществуват и други елементи с подобен размер напр. 26650, 32700 [1][2][3]и др, но 18650 си остана най-широко разпространения, като продължава да се използва и при електромобилите Tesla и др. Енергията която носи един „малък“ елемент 18650 е приблизително:

(1) E = U . I . t = 3,65 . 2,6 . 1 = 9,49 Wh

Фиг. 1. Литиевойонни елементи 18650, 26650, 32700

С популяризацията на хибридните соларни системи се появиха някои експлоатационни трудности с батериите:

1. Трудно е да се извърши заместване на традиционен оловнокиселинен 12,6V акумулатор с Li-ion елементи 18650 с напрежение от 3,65V.

- три последователно свързани елемента ще дават напрежение 10,95V;
- четири последователно свързани елемента ще дават напрежение 14,6V;

2. Събирането на множество акумулаторни елементи 18650 за получаване на батерия с голям капацитет също е трудна инженерна задача:

- изисква се подходящо подреждане и правилно асемблиране на елементите;
- изисква се направата на стотици и даже хиляди точкови заварки на токопроводящата лента към елементите. Така батерията става неремонтопригодна. Информативно – електромобил Tesla Model 3 съдържа 7104 елемента 18650.

3. Токоограничението на BMS-а не позволява батерията да се ползва като стартерна, което пречи на внедряването ѝ в автомобилната индустрия.

4. Липсва стандарт на формата, размерите, големината, капацитета, куплунга за присъединяване, закрепване на кутията на новосъздадената батерия.

5. Много на брой елементи означават:

- много материал за корпусите;
- много на брой технологични процеси за изработка;
- голямо сумарно тегло на самите корпуси;
- висока цена на изделието.

6. Заради цилиндричната форма на елементите остава свободно пространството между тях.

7. Малкият елемент има и предимство – от него лесно се извлича топлината, която се отделя при интензивен заряден или разряден процес, какъвто съществува при експлоатацията в електромобили с високи динамични показатели.

2. ПРИЛОЖЕНИЕ НА БАТЕРИИТЕ В СОЛАРНИ СИСТЕМИ

Неадекватна политика на Европейските държави по отношение на евтините енергийни ресурси доведе до рязко повишаване цените на електроенергията и другите енергийни ресурси. Поради тази причина доста домакинства и фирми прибягнаха към инсталиране на хибридни соларни системи за собствено потребление. Както е известно соларните системи са екологично чист (това подлежи на обсъждане!) възобновяем енергиен източник, но не и алтернативен!!! При лоши метеорологични условия производството от соларна система е слабо 0,5÷20% от инсталираната мощност. Нощем производството от соларната система се преустановява. Този проблем може частично да бъде решен с използването на хибриден соларен инвертор и наличие на голяма акумулаторна батерия към него. Необходимо е разбира се и инсталирането на значително по-голяма соларна мощност за да може през светлата част от денонощието да натрупа в батериите достатъчно енергия, която да покрие енергийните нужди през тъмната част от денонощието. Така погледната енергийната независимост отново не изглежда песимистично, тъй като през зимния период има цели седмици облачно време през които соларните панели не произвеждат никаква електроенергия. Съвременните 3,2V LiFePo4 акумулаторни елементи, с достъпната си цена и обещаващи параметри са добра перспектива за създаване на акумулаторна батерия за соларна система с добри параметри.

3. СЪВРЕМЕННИ LIFEPO4 АКУМУЛАТОРНИ ЕЛЕМЕНТИ

Асемблирането на голяма акумулаторна батерия с малки елементи (напр. 18650) не е лесна инженерна задача и е труднопостижимо в домашни условия. Така последните няколко години се развиха „големите“ LiFePo4 акумулаторни елементи (до 320Ah) (фиг. 2) с напрежение 3,2V, които носят енергия:

(2) $E = U . I . t = 3,2 . 304 . 1 = 972,8$ Wh

Фиг. 2. Големи литий-желязофосфатни LiFePo4 акумулаторни елементи

Това напрежение на елемента е подходящо, като стойност тъй като:

- 4 елемента осигуряват напрежение 12,8V, които са удобни за система 12,6V;

- 8 елемента осигуряват напрежение 25,6V, които са удобни за система 25,2V;

-16 елемента осигуряват напрежение 51,2V, които са удобни за система 50,4V.

Нарастващия капацитет на клетките е 32, 50, 100, 105, 200, 230, 280, 304, 320, 560Ah.

Фиг. 3. Графична зависимост на остатъчния капацитет на литий-желязофосфатни LiFePo4 акумулаторни елементи

Най-голям интерес представлява 320 амперчасовия елемент, чието тегло някои производители са успели да намалят до 2,8kg.

Графиката на фигурата дава ориентировъчна информация, че в батерията ще са останали приблизително около 83% от нейния капацитет на 3500-тния зарядно-разряден цикъл (при 1C), което съответства на 10 години експлоатация.

Таблица 1. Основните параметри на литий-желязофосфатни LiFePo4 акумулаторен елемент LF320

Battery Type:	**Lithium iron phosphate**	**Тип на батерията**	**Литий-желязо фосфатна**
Shell Material:	Aluminium	Материал на корпуса	Алуминий
Nominal Capacity:	300Ah-320Ah	Номинален капацитет	300Ah-320Ah
Nominal Voltage:	3.2V	Номинално напрежение	3.2V
Cut off Charge Voltage:	3.65V	Максимално зарядно напрежение	3.65V
Cut off Discharge Voltage:	2.5V	Минимално разрядно напрежение	2.5V
Internal impedance:	≤0.3 mΩ	Вътрешно съпротивление	≤0.3 mΩ
Cycle life	8000 + times	Живот в цикли	8000 + цикъла
Recommend Constant Charge Current:	0.5C	Препоръчителен продължителен заряден ток	0.5C
Max Charge Current:	1C	Максимален заряден ток	1C
Recommend Constant Discharge Current:	0.5C	Препоръчителен продължителен разряден ток	0.5C
Max Discharge Current:	3C	Максимален разряден ток	3C
Dimensions (L*W*H):	206,9*71,72* 174mm±1mm	Размери (Д*Ш*В)	206,9*71,72* 174mm±1mm
Weight:	5.50±0.15Kg	Тегло	5.50±0.15Kg
Charging Temperature:	0℃~ 60℃	Температура на околната среда при зареждане	0℃~ 60℃
Discharging Temperature：	-30~60 ℃	Температура на околната среда при разреждане	-30~60 ℃

Screw Size :	M6	Размер на болта на клемата	M6
Suit for System : **Solar Energy Storage System**	12V 24V 48V 72V 96V 108V	Подходящ за системи за съхранение на соларна енергия	12V 24V 48V 72V 96V 108V

4. СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА БАТЕРИЯТА BMS

Система за управление на батерията BMS е задължителна при експлоатацията на LiFePo4 акумулаторна батерия. BMS-а се подбира със зарядно-разряден ток, не по-голям от тока на елемента съответстващ на 3C. Това осигурява правилната и дълговременна работа на батерията. Съществуват BMS-и за 4S, 8S, 16S, 24S - LiFePo4 елемента.

Съвременните BMS-и обезпечават най-малко 7 работни и защитни функции:

- защита от късо съединение. Минусовия проводник минава през силовата схема на BMS-а;
- защита от прекомерно голям разряден ток;
- защита от прекомерно голям заряден ток;
- защита от прекалено ниско напрежение при разреждане – при напрежение 2,5V прекратява по-нататъшно разреждане на батерията;
- защита от прекалено високо напрежение по време на зареждане – подава на елементите напрежение не по-високо от максимално допустимото 3,65V;
- функцията за балансиране между клетките работи и по време на заряд и по време на разрад. Дори и когато батерията е в покой „balancer-а“ черпи малък ток от клетките с по-високо напрежение и го подава на клетките с по-ниско напрежение, като така се стреми винаги да уеднаквява тяхното напрежение;
- следене на температурата се осъществява от един или няколко термодатчика. Излизането извън нормалния работен температурен диапазон е признак за неправилна експлоатация или повреда на батерията. Това води до изключване на минусовата входно-изходна верига контролирана от BMS-а.

Фиг. 4. Система за управление на батерията BMS

5. КОНВЕРСИЯ НА ТЯГОВА БАТЕРИЯ

Забелязва се интерес от страна на сервизи и частни лица да правят успешни конверсии, при които остарялата оригинална тягова батерия на електромобил да бъде заменяна с подходящи LiFePo4 елементи (фиг. 5 и 6) [4][5]. Новите елементи са по-леки, с по-висока енергийна плътност, по-ниска цена и предполагаем по-дълъг живот.

С развитието на електромобилите стана ясно, че е трудно да се асемблира голяма батерия с множество малки акумулаторни елементи. Включително Nissan и Renault използват по-големи елементи.

Фиг. 5. Конверсия на автомобил в електромобил

Фиг. 6. Конверсия на батерията на електромобил Рено Флуенс с нови елементи LFP 105

ИЗВОДИ:

Новите елементи са с по-добри параметри в сравнение с тези произведени преди 12-15 години. Асемблират се по-лесно в голяма акумулаторна батерия, подходяща за соларна система или елекромобил.

Напрежението на клетката е подходящо за направа на голяма батерия, която да замени оловна такава със стандартно напрежение 12, 24 или 48V

Акумулаторния елемент LF304 е с 50 до 100 пъти по-голям от акумулаторния елемент 18650. Това дава възможност да бъде направена акумулаторна батерия за електромобил само със 124 елемента.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] https://sdgoldencell.en.made-in-china.com/product/wmZYKvFdGrpS/China-LiFePO4-Battery-3-2V-18650-Lithium-Li-Ion-1600mAh-1100mAh-1800mAh-Li-ion-Battery-Cells-100-Authentic.html

[2] https://batteryspecialists.com.au/products/3-2v-26650-size-3-8ah-cylindrical-26650-lithium-iron-phosphate-lifepo4-3-2v-3-7ah-ifr26650-38a

[3] https://www.alibaba.com/product-detail/LFP-32650-26650-26700-32700-38120s_1600546220714.html

[4] https://www.youtube.com/watch?v=Dy7HKV9sYec

[5] https://www.youtube.com/watch?v=-FCVx_3zt9E

MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF LITHIUM-IRON-PHOSPHATE BATTERIES

Nikolay Velev, Ivaylo Petrov, Alexander Petrov, Yordan Yordanov, Irena Bozhichkova, Martin Zlatkov
nikivelev7@gmail.com, milenium_26@abv.bg, dj_marti79@mail.bg

Todor Kableshkov University of Transport
str. "Geo Milev" 158, Sofia, 1574,
BULGARIA

Key words: *Rechargeable battery, electric vehicle, source of electrical energy, electric motor, lithium-ion, lithium-polymer, lithium, nickel-metal hydride, chemical source, charge-discharge, autonomous power supply, electrolyte.*

Abstract: *The battery is one of the main elements of the hybrid solar system and the electric vehicle. It is a source of electrical energy necessary to power consumers during the dark part of the day or the electric motor in the electric vehicle. The topic of the report is entirely focused on modern lithium-iron-phosphate LiFePo4 batteries, their development trends, including the assembly of an electric vehicle battery with new type elements.*

It's repeated cyclic charging and discharging allows for energy storage and autonomous power supply of various electrical devices and equipment, as well as for providing backup energy sources in transport, energy, electric vehicles, household and industrial solar systems.

The report presents basic technical data for lithium-iron-phosphate LiFePo4 rechargeable batteries of a newer type. A comparison is made between lithium-ion cells of the 18650 type and the new LiFePo4 of the LF304 type. The advantages and disadvantages of small and large rechargeable cells are indicated. A graph of the battery's cyclic life is presented. Information is given about BMS systems, which are an integral part of the composition of a perfect battery. A tabular view shows the main parameters of a corresponding battery.