МЛАД ФОРУМ
Механика Транспорт Комуникации
Научно списание http://www.mtc-aj.com
ISSN 2367-6558 (print)
ISSN 2367-6612 (online)
том 15, брой 1, 2026 г.
статия № 2805

МОДЕРНИЗАЦИЯ НА СИСТЕМАТА ЗА ТЯГОВО ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАНЕ НА МАЛЪК ЕЛЕКТРОМОБИЛ С ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЕНИЕ

Димитър Маринов, Петко Костадинов
dimitar5110a@abv.bg, petko__kostadinov@abv.bg

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

Ключови думи: *електромобили, екология, батерии, въглероден отпечатък, възобновяема енергия, рециклиране, литий, устойчив транспорт*

Резюме: *Докладът разглежда модернизацията на системата за тягово електрозахранване на малък електромобил с дистанционно управление, първоначално работещ с шест последователно свързани батерии тип AA. Анализирани са електрическите параметри на оригиналната конфигурация, при която напрежението варира в диапазона 5.6–9.9 V, като това напрежение се приема като диапазон, в който са оразмерени електронните компоненти на автомобила. Предложена е замяна с четири литиево-полимерни клетки, свързани в конфигурация 2S2P, снабдени с BMS (2S), за защита от презареждане, дълбоко разреждане и токови претоварвания. Новата батерия осигурява напрежение 6.4–8.4 V, което остава в допустимите граници на системата и намалява електрическото натоварване върху двигателя и управляващата електроника. Модернизацията включва и внедряване на зарядна система с алгоритъм константен ток/константно напрежение (CC/CV), гарантираща безопасно и ефективно зареждане. Разгледани са екологичните ползи от премахването на еднократните батерии, като се подчертава, че една литиево-полимерна батерия може да замени 1200–5000 еднократни AA елемента, което значително намалява отпадъците и въглеродния отпечатък. В заключение се доказва, че модернизираната система е по-ефективна, по-надеждна и екологично устойчива, като същевременно запазва пълна електрическа съвместимост с оригиналния дизайн на автомобила.*

УВОД

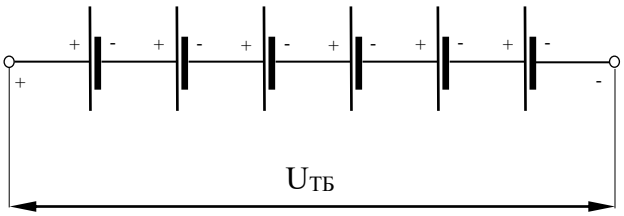
Малките електромобили с дистанционно управление традиционно използват батерии тип AA поради тяхната достъпност и ниска цена. Въпреки това този тип захранване има редица недостатъци: нисък капацитет, нестабилно напрежение при разреждане, високи загуби и необходимост от честа подмяна. Това води до ограничен пробег, непостоянна мощност и значително количество отпадъци от еднократни батерии.

Съвременните литиево-йонни технологии предлагат значително по-добри електрически характеристики, по-висока енергийна плътност и възможност за многократно зареждане.

Целта на настоящия доклад е да се предложи модернизация на захранващата система чрез използване на литиево-полимерни клетки, BMS и зарядна система, като се докаже, че новата конфигурация е напълно съвместима с електрическите параметри на автомобила.

КОНФИГУРАЦИЯ НА ТЯГОВАТА БАТЕРИЯ ПРЕДИ МОДЕРНИЗАЦИЯТА

Тяговата система на батерията на малкия електромобил с дистанционно управление първоначално е проектирана да се захранва от шест броя химични източници на електроенергия за еднократно използване тип AA (LR6), свързани последователно Фиг.1. Те могат да бъдат цинково-въглеродни или алкални, но производителя препоръчва да се използват алкални елементи поради по-големия им стартов ток.



Фиг. 1. Схема на свързване на елементите в тяговата батерия

Тази конфигурация е типична за малки играчки и модели, тъй като позволява лесно постигане на по-високо напрежение чрез използване на широко разпространени и евтини елементи, но има следните съществени недостатъци:

- Честа подмяна на батериите при интензивна употреба;
- Високи експлоатационни разходи в дългосрочен план;
- Голямо количество отпадъци от еднократни батерии, съдържащи метали и електролити;
- Ниска енергийна ефективност поради високото вътрешно съпротивление и силния спад на напрежението при натоварване.

Тези фактори правят първоначалната конфигурация функционално приемлива, но технологично и екологично остаряла, което обосновава необходимостта от модернизация.

Чрез използване на каталожни данни относно различните видове елементи AA и формула (1) може да бъде определен диапазонът от захранващи напрежения в който устойчиво работят модулът за дистанционно управление и тяговото електрозадвижване.

(1) $$U_{\text{ТБ}} = n.U_{\text{елемент}}$$

където:

$U_{\text{ТБ}}$ – напрежение на тяговата батерия – V;

n – брой на последователно свързаните елементи – в случая n = 6;

$U_{\text{елемент}}$ – напрежение на един елемент – V.

- Работен диапазон на батерия съставена от елементи AA (LR6)

Типични стойности на капацитета и работните напрежения (минимално, номинално и максимално) на един елемент, както и на батерия съставена от шест елемента (минимално и максимално) изчислени чрез формула 1, са представени в таблица 1 [1, 2, 3].

Таблица 1. Работни напрежения на един елемент и батерия съставена от шест елемента

	$U_{\text{елемент } min}$	$U_{\text{елемент } n}$	$U_{\text{елемент } max}$	C	$U_{\text{ТБ } min}$	$U_{\text{ТБ } max}$
	V	V	V	mAh	V	V
Цинково-въглеродни батерии	0,9	1,5	1,65	400÷800	5,6	9,9
Алкални батерии	1,0	1,25	1,6	1500÷2700	6,0	9,6
Диапазон на работното напрежение на електромобила					5,6	9,9

- Работен диапазон на новата батерия

В следствие на направените проучвания и изчисления е определен диапазона от работни напрежения (Табл. 1), за който е оразмерен електромобила. За се гарантира максимална работоспособност на електромобила с новата тягова батерия е необходимо нейния работен диапазон да бъде в границите определени от работния диапазон на старата тягова батерия.

КОНФИГУРАЦИЯ НА НОВАТА ТЯГОВА БАТЕРИЯ ЗА ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМОБИЛА

За реализиране на новата тягова батерия е взето решение да се използват презареждащи се литий-полимерни елементи модел 13400 (Фиг. 2), чиито основни параметри са показани в Таблица 2 [4].

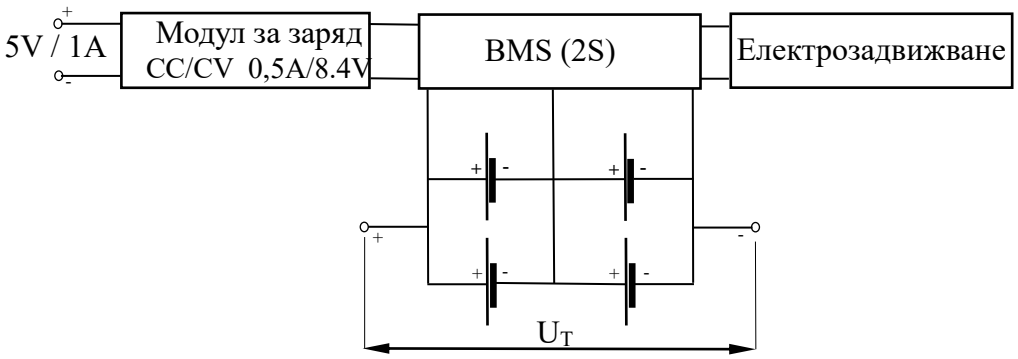
Фиг. 2. Общ вид на Литий-полимерен елемент 13400

Таблица 2. Работни напрежения на един елемент и батерия съставена от 4 елемента (конфигурация 2+2)

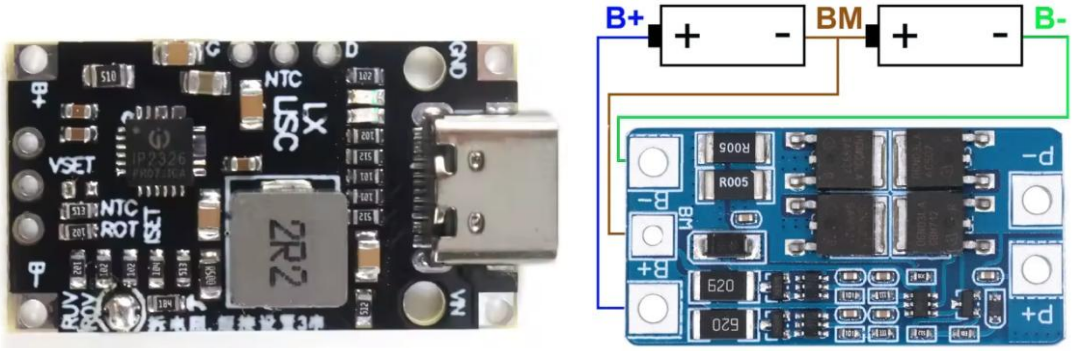
	$U_{\text{елемент } min}$	$U_{\text{елемент } n}$	$U_{\text{елемент } max}$	$C_{елемент}$	$U_{\text{ТБ } min}$	$U_{\text{ТБ } max}$	$C_{тб}$
	V	V	V	mAh	V	V	mAh
Литий-полимерна батерия	3,0	3,7	4,2	550	6,0	8,4	1100

Изборът е направен въз основа на тяхното работно напрежение и геометричните им размери, позволяващи поместването им пространството предвидено за елементи LR6.

Избрана е конфигурация на тяговата батерия (2+2) в която са изпълнени две групи от два паралелно свързани елемента, а групите са свързани последователно, което се вижда на Фиг. 3.



Фиг. 3. Схема на свързване на елементите в новата тягова батерия 2S2P



а. **б.**

Фиг. 4. а. Модул осъществяване на заряда тяговата батерия с алгоритъм на работа CC/CV

б. модул за контрол на заряда и разряда на елементите от батерията BMS 2S

Новата литиево-йонна батерия работи изцяло в допустимия диапазон, за който е проектиран електромобилът.

Предвиден е модул осъществяване на заряда тяговата батерия с алгоритъм на работа CC/CV (Constant Current / Constant Voltage - константен ток / константно напрежение) Фиг. 4.а. [5].

Литиево-йонните клетки изискват задължителна защита:

- защита от презареждане (над 4.2 V на клетка);
- защита от дълбоко разреждане (под 3.0 V);
- ограничаване на тока;
- температурна защита;
- балансиране на клетките.

За изпълнението на тези функции е избран BMS 2S (Battery Management System) за два последователно свързани елемента Фиг. 4.б. [6]. Наличието на модул за защита и баланс на заряда на елементите от батерията, гарантира безопасността и дългият и живот.

При така предложената модернизация, новата тягова батерия ще бъде с капацитет при едно зареждане $C_{ТБ}$ = 1100 mAh. Като се отчете факта, че производителя декларира минимум 300 цикъла заряд-разряд, сумарния минимален капацитет през целия и експлоатационен период, достига стойност $C_{ТБсум}$ = 330 Ah.

В Таблица 3 е направено сравнение между тягова батерия изградена по предложения начин и тягова батерия изградена с елементи LR6. Тъй като

електрозадвижването се нуждае от голям тягов ток за сравнението са използвани минималните стойности на капацитета на съответните елементи.

Таблица 3. Сравнение между литиево-полимерна тягова батерия и тягова батерия изградена с елементи LR6

Вид тягова батерия	**Количество комплекти за общ капацитет 330 Ah, бр.**	**Маса на един комплект за тягова батерия, g**
Цинково-въглеродни батерии	825	150
Алкални батерии	220	150
Литий-полимерна батерия с BMS, система за заряд и окабеляване	1	55

От направеното сравнение, ясно се вижда, че чрез направената модернизация се избягва използването на 4950 броя цинково-въглеродни или 1320 алкални елемента LR6 за еднократна употреба.

Макар производството на Li-ion клетки да е енергоемко, многократната им употреба компенсира първоначалните емисии, като могат да бъдат очаквани следните резултати от модернизацията

- Увеличен пробег;
- По-висока мощност;
- По-ниско тегло на батерийния пакет;
- Значително намаляване на отпадъците;
- По-ниски разходи за експлоатация;
- Повишена надеждност.

Понижената маса на тяговата батерия способства за подобряване на динамиката и енергийната ефективност на електромобила.

Като недостатък може да се посочи, че направената модернизация създава определени ограничения относно използването на електромобила поради, това че батерията не е заменяема а е вградена вътре в него.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модернизацията на захранващата система чрез използване на литиево-йонни клетки, BMS и подходящо зарядно устройство представлява ефективно, безопасно и екологично решение. Новата батерия осигурява напрежение в рамките на проектните граници на електромобила, като същевременно подобрява неговата енергийна ефективност и експлоатационни характеристики.

Екологичният ефект от премахването на еднократните батерии е значителен и допринася за устойчивото използване на ресурси.

Модернизацията е технически оправдана, икономически изгодна и екологично необходима. Като недостатък на направената модернизация може да се посочи необходимостта от време за зареждане, между две използвания на електромобила.

ЛИТЕРАТУРА:
[1] https://data.energizer.com/pdfs/carbonzinc_appman.pdf
[2] https://www.batteryequivalents.com/aa-battery-voltage.html
[3] https://docs.rs-online.com/585c/0900766b81249809.pdf
[4] https://www.encorecn.com/13400-cylindrical-550mah-lipo-battery.html
[5] https://www.aliexpress.com/item/1005012224644884.html
[6] https://www.aliexpress.com/item/1005008699325245.html

MODERNISATION OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM FOR A SMALL REMOTE-CONTROLLED ELECTRIC VEHICLE

Dimitar Marinov, Petko Kostadinov
dimitar5110a@abv.bg, petko__kostadinov@abv.bg

Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.
THE REPUBLIC OF BULGARIA

Key words: *Electric vehicles, ecology, batteries, carbon footprint, renewable energy, recycling, lithium, sustainable transport.*

Abstract: *The paper presents the modernization of the traction power supply system for a small remote-controlled electric vehicle, originally operating with six series-connected AA batteries. The electrical parameters of the original configuration were analyzed, where the voltage varies within the range of 5.6–9.9 V; this voltage interval is considered the baseline for which the vehicle's electronic components are rated. A replacement consisting of four lithium-polymer cells arranged in a 2S2P configuration is proposed, equipped with a 2S Battery Management System (BMS) for overcharge, deep discharge, and overcurrent protection. The new battery pack provides a voltage range of 6.4–8.4 V, which remains well within the system's permissible limits and reduces the electrical stress on the motor and control electronics. The modernization also includes the implementation of a charging system utilizing a constant current/constant voltage (CC/CV) algorithm, ensuring safe and efficient charging. The environmental benefits of eliminating single-use batteries are discussed, highlighting that a single lithium-polymer battery can replace 1,200 to 5,000 disposable AA cells, thereby significantly reducing waste and carbon footprint. In conclusion, it is demonstrated that the modernized system is more efficient, more reliable, and ecologically sustainable, while maintaining full electrical compatibility with the vehicle's original design.*