

## Література

1. ДСТУ UN/ECE R 13-09:2002 Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій M, N і O стосовно гальмування (Правила ЕЭК ООН № 13-09:2000, IDT)
2. ГСТУ 204.04.05.002 -2004 Системи гальмівні трамвайних вагонів та тролейбусів. Експлуатаційні вимоги до ефективності гальмування та методи контролю.
3. ДСТУ UN/ECE R 36-03:2005 Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження пасажирських транспортних засобів великої місткості стосовно загальної конструкції (Правила ЕЭК ООН № 36-03:1999, IDT) ДСТУ UN/ECE R
4. ДСТУ 3649:2010 БЗ № 11—12— 2010/436 Колісні транспортні засоби Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання
5. ДСТУ 3333-96 Стенди роликові для перевірки гальмівних систем дорожніх транспортних засобів в умовах експлуатації. Загальні технічні вимоги .
6. Правила експлуатації трамвая і тролейбуса. Затв. Міністерством інфраструктури України 03.02.2020 (Наказ № 36), зареєстровано в Міністерстві юстиції України 17.04.2020 за № 353/34636 / корп. «Укрелектротранс» - Харків: Золоті сторінки, 2020.-256 с.

УДК 629.331

### АКТИВНЕ БАЛАНСУВАННЯ ПРИ ЗАРЯДІ І ПРИ РОЗРЯДІ ЛІТІЙЄВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

**Двадненко Володимир Якович**, докт. техн. наук, професор кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [dvadnenkovvladimir@gmail.com](mailto:dvadnenkovvladimir@gmail.com)

**Дзюбенко Олександр Андрійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [dzyubenko.alan@gmail.com](mailto:dzyubenko.alan@gmail.com)

**Шарко Яків Едуардович**, магістр, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [karl.13.born@gmail.com](mailto:karl.13.born@gmail.com)

### Вступ

Тема роботи пов'язана з особливостями експлуатації літійєвих акумуляторів у тягових батареях електромобілів та гібридних автомобілів.

Метою дослідження є розробка найпростішого активного балансиру для батареї, що складається з послідовно з'єднаних елементів акумуляторної батареї.

Розглянемо акумулятори, що найбільш широко застосовуються в якості тягових батарей електромобілів та гібридних автомобілів – літій-залізофосфатні. Завдяки високому електрохімічному потенціалу літію вони мають високу напругу одного елемента, отже, і високу питому енергію.

Однак, через високу хімічну активність літію, необхідно уникати хімічних реакцій, що ведуть до появи металевого літію в акумуляторі. Для цього робота літійових акумуляторів заснована на процесах інтеркаляції та деінтеркаляції іонів у матеріали анода та катода.

В основі безпечної та ефективної експлуатації літій-іонних батарей лежить безперервний контроль за основними параметрами акумулятора, а також моніторинг історії заряду, розряду та фактичної ємності. При формуванні багатоелементної послідовно з'єднаної літій-іонної акумуляторної батареї виникає проблема розкидання напруги та рівнів заряду окремих акумуляторних комірок (банок) - розбалансування.

При розряді, після досягнення хоча б на одній з комірок мінімальної критичної напруги, необхідно відключити батарею від навантаження, оскільки подальший розряд спричинить порушення вимог експлуатації. Відповідно, під час заряду, при досягненні хоча б на одній з комірок максимальної критичної напруги, необхідно відключити батарею від зарядного пристрою. У цьому випадку ємність батареї визначатиметься ємністю найслабшої комірки, яка повністю зарядиться/розрядиться раніше за інші.

Таким чином, щоб підвищити експлуатаційні характеристики акумуляторних батарей, необхідно керувати розрядним та зарядним процесом акумуляторної батареї, а також для повного зарядження забезпечити при зарядці балансування акумуляторних осередків. Вигляд балансування акумулятора визначається технічними, експлуатаційними та економічними вимогами, а також особливостями побудови акумулятора. Отже, актуальним завданням є розробка системи управління режимами експлуатації батареї, що складається з  $n$  послідовних акумуляторних комірок.

### **Методи балансування акумуляторних батарей**

За методом балансування балансири можна розділити на активні і пасивні.

Пасивна схема балансування технічно є найпростішою, її завдання обмежити напругу на тих елементах, які заряджені більше за інших [1], працює вона лише при заряді, пропускаючи частину струму (або весь струм) через себе, що дає можливість зарядитися решті комірок акумуляторів.

Така схема забезпечує дуже високу точність балансування і може робити це за один цикл заряду, але така схема має два недоліки:

- струм у ланцюгу ніколи не знизиться, а постійно протікатиме або через батарею, або через балансир, тобто зарядний пристрій може відключатися лише за таймером;

- оскільки весь струм в подальшому протікає через балансир, то пристрій виділяє велику кількість тепла наприкінці заряду, що з великі акумуляторні зборки мають застосовувати активні системи охолодження, що не дозволяє використовувати такий балансир в закритому корпусі батареї.

До переваг пасивного методу балансування можна віднести простоту та дешевизну реалізації, а до недоліків - малий струм балансування, відповідно

якщо різниця буде дуже великою, то балансир не зможе вирівняти потенціали між комірками за один цикл заряду.

Активні балансири дозволяють усунути ці недоліки. В активних балансирах використовується схема з перенесенням енергії від одного осередку до іншого [2]. Відносно простим є конденсаторний балансир: спочатку від акумулятора з більшою напругою конденсатор заряджається, відбираючи частину його енергії, а потім перемикається на акумулятор з меншою напругою, підзаряджаючи його. В результаті заряджений акумулятор поступово віддає частину заряду менш зарядженому акумулятору. Фактично, таким чином, елементи отримують віртуальне паралельне включення.

Активний балансир може працювати як під час заряду, так і під час розряду, так і під час зберігання енергії [3]. При цьому процес балансування починається тоді, коли між елементами з'являється різниця потенціалів, а не лише тоді, коли на одному з акумуляторів вже досягнуто максимальний рівень напруги.

До недоліків активних балансірів слід віднести вищу вартість в порівнянні з пасивними, витрати часу та коштів на проектування та виготовлення. А також те, що в підключеному до батареї стані активні системи балансування мають помітне споживання струму на неробочому ході, тому їх часто проектують як керовані, тобто балансир вмикають у необхідні моменти часу. Управління має здійснюватися від системи забезпечення функціонування (BMS), що передбачає наявність алгоритму в самій BMS для управління балансиrom.

### **Розробка активного балансуєчого пристрою**

Для спрощення зарядно-балансуєчого пристрою та покращення співвідношення ціна-якість запропоновано метод, що реалізовано в пристрої [4]. В пристрої використані гальванічно-розв'язані перетворювачі постійної напруги для кожного елемента батареї, і введені нові операції (рисунок 1). Таким чином, заряджання здійснюється в два етапи: на першому етапі заряджання для всіх елементів проводиться від загального потужного джерела зарядного струму зі стабілізацією номінального значення струму, причому одночасно кожен елемент батареї заряджається ще й від індивідуального джерела зарядного струму, струм якого менший за номінальний струм і який підсумовується із загальним зарядним струмом. Крім того, індивідуальні джерела зарядного струму забезпечують спочатку обмеження їх зарядного струму, а потім стабілізацію їх граничної зарядної напруги елементів. Вхід кожного такого індивідуального джерела при заряді живиться від напруги загального потужного джерела зарядного струму і вихід індивідуального джерела розв'язаний від його входу.

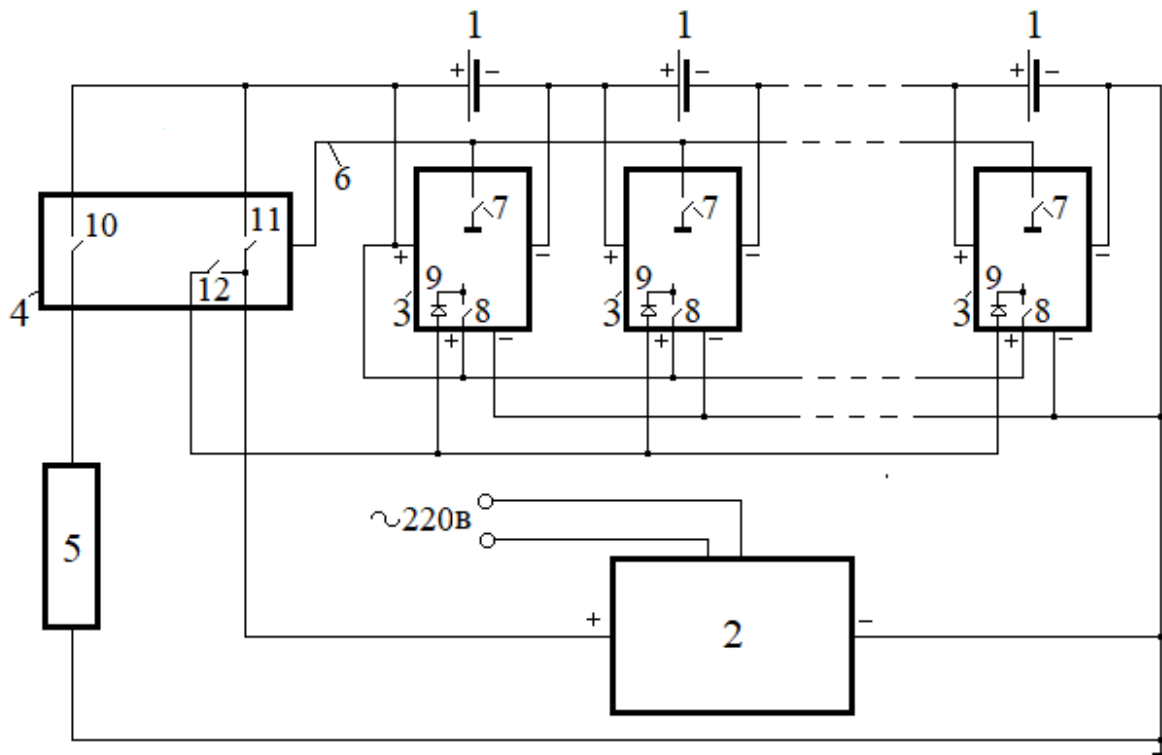


Рис.1. Функціональна схема зарядно-балансуючого пристрою

Другий етап зарядки настає тоді, коли буде досягнуто гранична зарядна напруга на будь-якому елементі батареї, причому на другому етапі загальний зарядний струм потужного джерела відключається, а всі елементи продовжують заряджатися від індивідуальних джерел зарядного струму, дозаряджаючи елементи до граничної зарядної напруги, приблизно , зарядний струм елемента плавно знижується. Другий етап заряджання закінчується, коли зарядний струм кожного елемента стане меншим за задане значення і тоді всі індивідуальні джерела будуть відключені.

Розряд на навантаження акумуляторної батареї також проводиться в два етапи: на першому етапі маємо загальний розрядний струм, але як тільки на будь-якому елементі напруга знизиться нижче заздалегідь заданого при калібруванні для даного елемента значення, вхід його індивідуального джерела зарядного струму підключається до загальної напруги акумуляторної батареї індивідуальне джерело починає дозаряджати цей елемент від загальної енергії акумуляторної батареї. Так відбувається з кожним елементом батареї і так відбувається доти, поки в процесі розрядки напруга хоча б одного елемента стане меншою за встановлене мінімально допустиме значення, тоді розрядний струм буде відключений і другий етап розрядки закінчується.

Блок керування 4 (рисунок 1) працює по-різному в режимах заряду та розряду. Режим заряду в блоці 4 буде завжди, коли на точку з'єднання контактів 11 і 12 надходить напруга від потужного джерела струму 2. При роботі в режимі заряду, при надходженні сигналу по шині 6, відбувається відключення потужного зарядного пристрою контактами 10, тим самим запобігає неприпустимому перезаряду акумуляторів. При роботі в режимі розряду, при надходженні сигналу по шині 6, блок керування 4 виконує відключення

потужного корисного навантаження 5 і тим самим запобігає недопустимому перерозряду комірок акумуляторної батареї.

Запропонований балансуєчий зарядний пристрій для літєвих акумуляторних батарей вимагає відносно недорогих індивідуальних джерел зарядного струму, наприклад, для акумуляторної батареї ємністю 100 А·год достатньо зарядних пристроїв зі значенням потужності близько 5 - 15 Вт на одну акумуляторну комірку.

### **Висновки**

В роботі запропоновано метод вирішення завдання спрощення та покращення співвідношення ціна-якість зарядно-балансиючого пристрою тягової акумуляторної батареї гібридного автомобіля, що особливо актуально для м'яких гібридних автомобілів.

### **Література**

1. Passive Battery Cell Balancing / Kevin Scott, Sam Nork // Analog Devices. - Aug 18 2016. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/passive-battery-cell-balancing.html>
16. Battery Cell Balancing for Improved Performance in EVs - Part II: ActiveBalancing Technologies Por Lee H. Goldberg Colaboración de Hearst Electronic Products 12/07/2011
2. Active Battery Cell Balancing. - August 1, 2020. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/37427-active-battery-cell-balancing?r=7478>
3. Пат. на кор. модель № 15622U, МПК Н01М 10/44, Н02J 7/00. Спосіб активного балансування при заряді та при розряді літій-іонних акумуляторних батарей/ Гнатов А.В., Дзадненко В.Я., Дзюбенко О.А., Сохін П.А.

**УДК 629.331**

## **АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО КРУЇЗ-КОНТРОЛЮ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ**

**Дзюбенко Олександр Андрійович**, к.т.н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, тел. (066)7684116

**Товстокорий Максим Юрійович**, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, тел. (098)7902317

### **Вступ**

Дорожня безпека стикається з серйозними викликами із-за постійного зростання протяжності доріг і збільшення кількості автомобілів на них. В умовах важких дорожніх аварій і екологічних проблем у всьому світі були запропоновані інтелектуальні транспортні системи та системи допомоги