

## АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.341

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.94.0.173

## АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ ЛІТІЙ-ІОННИХ ТЯГОВИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Серіков Г. С.<sup>1</sup>, Серікова І. О.<sup>1</sup>,<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Розглянуто можливі реалізації систем термостабілізації тягових батарей електромобілів. Здійснено аналіз можливостей підвищення ефективності використання літій-іонних акумуляторних батарей завдяки їхньої температурної стабілізації. Доведено вплив температурного фактора на корисну ємність тягових акумуляторних батарей. Запропоновано мікроконтролерну систему температурної стабілізації подвійної дії з функцією таймера, що дозволяє передчасно визначити режим як охолодження, так і нагрівання акумуляторних батарей.

**Ключові слова:** літій-іонна тягова акумуляторна батарея електромобіля, термостабілізація, мікроконтролерна система, температурний вплив, широтно-імпульсне моделювання.

**Вступ**

Електромобілі з кожним днем стають усе більш популярними. І це стосується не тільки технологічної комплектації, яка удосконалюється з виходом кожної нової моделі, але й переваг використання щодо економії палива. Зі збільшенням попиту підприємства-автовиробники почали випуск таких машин. Отже, зростання попиту та продажів триває.

Але, крім переваг, які мають електромобілі, на відміну від альтернативних бензинових і дизельних моделей, є й недоліки. Розглянемо їх докладніше.

Їзда на будь-якому електромобілі означає, що використовується транспортний засіб з нульовим викидом в атмосферу. З огляду на те, що глобальне потепління впливає на планету, кожний власник машини на електричному паливі бере участь у створенні сприятливого клімату як для себе, так і для майбутніх поколінь.

Електричні двигуни безшумні, тому на міських дорогах не тільки знижується загазованість, але й стає тихіше.

Двигун електричних транспортних засобів запускається за допомогою акумуляторної батареї і не вимагає механічного впливу. Відбувається мінімальне зношування мотора під час експлуатації. Крім цього, в електромоторі відсутня величезна кількість деталей, властивих двигуну внутрішнього згоряння. Це значна економія засобів як під час ремонту, так і під час експлуатації.

Пересування вздовж місту допускає часті зупинки й наступні запуски мотора. Якщо

для бензинових моделей це є проблемою, то для електромобілів – досить прийнятний режим їзди. Щодо бензину або дизеля, то економія перевищує 80 %.

Крім того, більшість станцій і робочі місця пропонують безкоштовне зарядження, а деякі моделі можна заряджати в комфортних домашніх умовах.

**Аналіз публікацій**

Дослідження демонструють, що залежність зниження ємності від температури відбувається через зменшення швидкості протікання хімічних реакцій. Швидкість протікання можна записати як рівняння Сванте Арреніуса, вона залежить від кількості молекул, що вступили в хімічну реакцію молекул за одиницю часу [1].

Згідно з теорією активних зіткнень  $A$  залежить від температури:

$$A = a \cdot \sqrt{T}$$

Рівняння Сванте Арреніуса визначає залежність константи швидкості хімічної реакції  $k$  від температури  $T$ :

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

де  $A$  – частота зіткнень молекул, що реагують;  $R$  – універсальна газова постійна.

Для того, щоб молекули вступили в хімічну реакцію, вони повинні мати деяку енергію активації. Ця енергія потрібна для подолання потенційного бар'єра (Рис. 1).

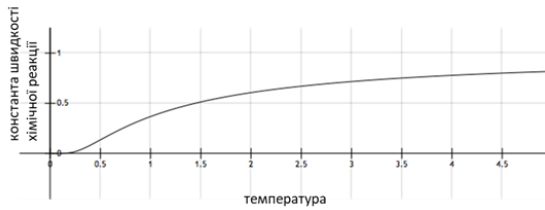


Рис. 1. Розподілення Больцмана

Кількість молекул, що володіють енергією  $E > E_a$ , пропорційна:

$$\exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

Застосовуючи додаткові нагрівачі, можна підвищити енергію активації молекул, тим самим збільшити ефективність використання енергії, що запасасться тяговою батареєю [2].

Нині в автомобілебудуванні для охолодження тягової батареї електромобілів використовують рідинні або повітряні системи охолодження [3] (Рис. 2.).

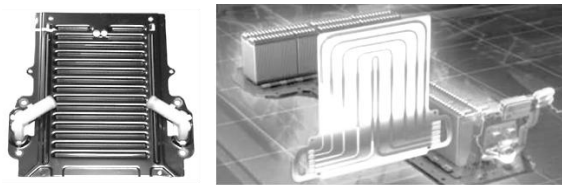


Рис. 2. Система терморегуляції за допомогою рідини

Для підігріву тягової батареї доцільно використовувати систему на основі резистивних підігрівачів (Рис. 3), оскільки системи типу «тепловий насос» взимку малоефективні.

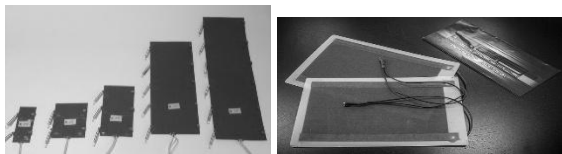


Рис. 3. Резистивні елементи підігріву

#### Мета і постановка завдання

Аналіз впливу температурного стану АКБ на кількість доступної енергії демонструє, що для підвищення ефективності використання тягової АКБ електромобіля необхідно здійснити термостабілізацію подвійної дії. Таким чином, необхідно вирішити завдання розроблення системи, здатної стабілізувати

температуру АКБ та здійснити моніторинг її стану з метою підвищення строку її служби та дистанції пробігу від однієї зарядки.

#### Термостабілізація подвійної дії

Під час експлуатації тягових батарей на електромобілях температурна стабілізація (нагрівання та охолодження) повинна здійснюватися однією системою. Це суттєво зменшить її розміри та вагу. Як основний елемент системи стабілізації подвійної дії можна застосувати елементи Пельтьє, що є набором послідовно з'єднаних різнорідних провідників.

Ефект Пельтьє – термоелектричне явище перенесення енергії під час проходження електричного струму в місці контакту (спаяного) двох різнорідних провідників (від одного провідника до іншого) (Рис 4).

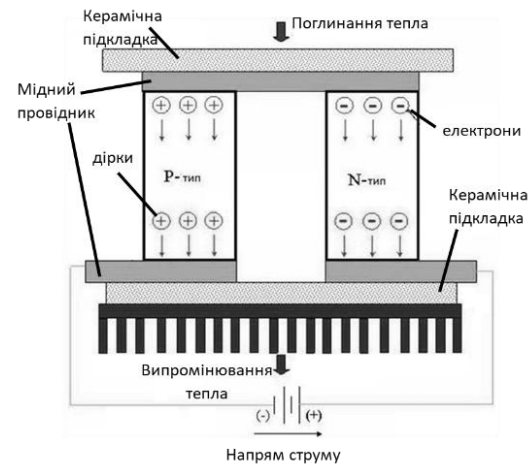


Рис. 4. Конструкція модуля Пельтьє

Величина переміщеної енергії і напрямок її перенесення залежать від виду та речовин, що контактують, від напрямку та електричного струму. Таким чином, підбір матеріалів, що контактують, та кількість послідовно з'єднаних елементів дає можливість перенесення достатнього рівня надлишкової теплової енергії від тягових акумуляторних батарей електромобіля. Ця теплова енергія може бути утилізована в навколишній простір або застосована для допоміжних потреб (наприклад підігрів салону електромобіля). Одночасно властивості елементів Пельтьє дозволяють застосовувати «реверсивний» режим роботи системи термостабілізації, коли зміна напрямку струму призводить до нагрівання активної поверхні елементів Пельтьє. У цьому випадку теплова енергія буде перетікати

від джерела тепла до акумуляторної батареї електромобіля.

Конструктивне дотримання «реверсивного» режиму роботи під час зміни напрямку струму можливе в разі застосування мостової схеми живлення елементів Пельтьє (Рис 5).

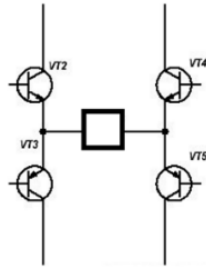


Рис. 5. Мостова схеми живлення елементів Пельтьє

Як джерело тепла можливе використання резистивних нагрівачів, що застосують в автомобільній промисловості, або інших джерел (теплова енергія від тягового електродвигуна).

**Визначення температури тягової батареї**

Використання системи термостабілізації тягової батареї потребує постійного моніторингу її температурного стану. Для цього необхідно застосовувати розглянуті раніше резистивні нагрівачі (Рис.3). У роботі температурний стан акумуляторних батарей пропонується досліджувати за допомогою вимірювання внутрішнього опору залежно від температури пластин нагрівача, використовуючи температурну залежність металів та сплавів:

$$Imp(t) := R_{st} \cdot [1 + \alpha \cdot (t - T_{st})]$$

Для розрахунку внутрішнього опору необхідно здійснити вимірювання струму, що протікає крізь нагрівач, та напруги (рис. 6, 7).

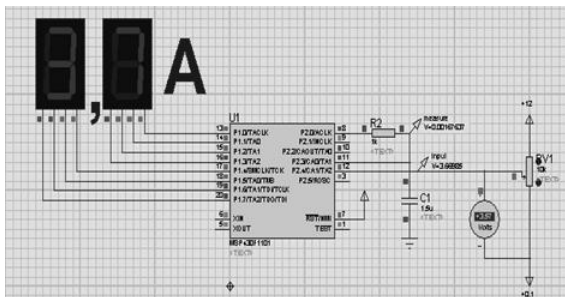


Рис. 6. Визначення струму

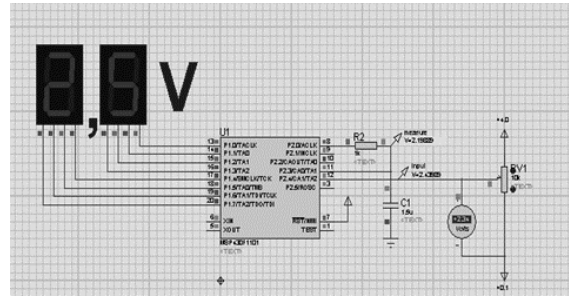


Рис. 7. Визначення напруги

Для цього необхідно застосувати допоміжні багатокаскадні підсилювачі сигналів, що мають лінійну амплітудно-частотну характеристику та дозволяють підвищити сигнал з одиниць мілівольт до значень в одиниці Вольт без спотворень.

У підсилювачах сигналів використовують різноманітні схеми. Для наочного зображення пристрою підсилювача пропонуємо електричну структурну схему, на якій прямокутниками зображені основні частини пристрою, що здійснюють певні функції, та основні взаємозв'язки між ними (рис. 8).



Рис. 8. Структурна схема підсилювача

Звичайне підсилення сигналу, створюване одним каскадом, є недостатнім, тому необхідно використовувати багатокаскадні схеми підсилювачів. Сигнал, підсилений першим каскадом, подається на вхід другого, з виходу другого – на вхід третього тощо. Тобто здійснюється послідовне підсилювання сигналу колом каскадів [3].

Вхідний каскад є входом підсилювача. Призначенням вхідного каскаду є забезпечення узгодження вихідного опору джерела сигналу з вхідним опором першого каскаду попереднього підсилювання. Якщо вихідний опір джерела сигналу дорівнює вхідному опору попереднього каскаду або він набагато більший, то в цьому випадку вхідний каскад не треба застосовувати, а якщо він менший, то його необхідно використовувати.

Вимоги до каскадів попереднього підсилення залежать від їхнього призначення – підсилювати напругу або струм, створені

джерелом сигналу на вході, до величини, необхідної для збудження каскадів підсилення потужності. Тому найбільш важливими показниками для попереднього каскаду є коефіцієнти підсилення напруги та струму, частотна характеристика та частотні зміни.

Передкінцевий каскад є джерелом сигналу для кінцевого каскаду. Він повинен забезпечити такі умови роботи вхідного кола кінцевого каскаду, за яких останній зможе віддати у вимірювач максимальний неспотворений сигнал. Основні вимоги, які висувують до передкінцевого каскаду, – велика амплітуда незміненого сигналу на виході та малий вихідний опір. Вибір схеми передкінцевого каскаду в конкретному підсилювачі залежить від виду та режиму кінцевого каскаду.

Умови роботи каскадів підсилення залежать також від типу зовнішнього навантаження. Розрахунок каскадів потужного підсилення здійснюємо на активне навантаження [4].

Обґрунтуванням вибору структурної схеми підсилювача є його якісні й кількісні характеристики, параметри та їхня сукупність.

Найпростішим способом підключення вимірювача до каскаду підсилювача є безпосередня передача навантаження до вихідного кола підсилювального елемента без вихідного пристрою. Перевагами такої схеми є її простота, відсутність додаткових деталей, втрат потужності у вихідному каскаді, додаткових нелінійних, частотних та перехідних спотворень і можливість посилення сигналів у широкій смузі частот. Недоліками є протікання крізь навантаження постійної складової струму живлення.

Регулювання потужності електричного струму, що притікає крізь елементи системи доцільно здійснювати за допомогою широтно-імпульсного регулювання (ШІМ) [5] (рис. 8).

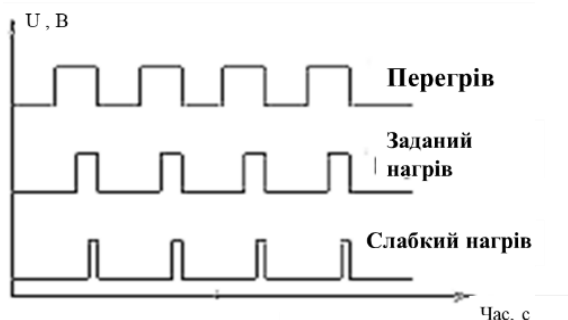


Рис. 8. Принципи регулювання потужності підігрівача за допомогою ШІМ

Застосування ШІМ-регулювання дозволяє значно скоротити час реагування системи температурної стабілізації завдяки використанню режиму м'якого пуску, коли струм на нагрівачі або елементі Пельтьє зростає за експоненціальним законом. Додатковою перевагою є збільшення терміну служби елементів системи.

Використання мікропроцесорної системи керування дозволяє використовувати програмну логіку для вирішення різноманітних завдань та постійно поновлювати функціонал пристроїв, що працюють під її керуванням [6]. Для комфортної експлуатації електромобіля доцільно застосовувати можливості мікроконтролерних систем та заздалегідь розраховувати час вмикання підігріву відповідно до поточної температури тягових батарей, температури навколишнього середовища та очікуваного часу початку поїздки. До складу мікроконтролерів належить модуль аналого-цифрового перетворення, що дозволяє сканувати температурний стан тягової акумуляторної батареї зі швидкістю 10 вимірів в секунду. Це достатньо для підтримки теплового режиму в припустимому діапазоні [7].

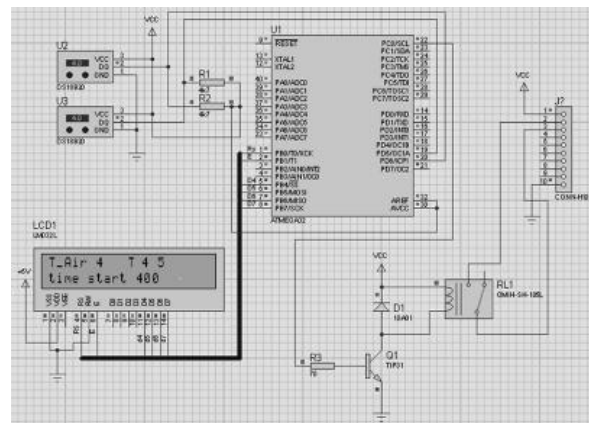


Рис. 9. Робоча модель роботи системи в системі Proteus 8

За допомогою програми Proteus 8 була створена імітаційна модель системи (рис. 9) та здійснено моделювання в інтерактивному режимі, коли під час роботи змінювались параметри температур. Режим роботи системи термостабілізації відображено на моделі рідинно-кришталевому екрані.

### Висновки

Під час досліджень були отримані такі результати:

- внаслідок попереднього підігріву було мінімізовано негативний вплив негативних

температур на ємність батареї;

- систематизацію температурної стабілізації доцільно здійснювати з можливістю реверса режиму циркуляції термічної енергії;

- спростити процес визначення температури можливо внаслідок непрямих вимірювань внутрішнього опору нагрівача;

- у разі застосування ШІ-регулювання термін служби нагрівачів зростає, а час розігріву скорочується за умови незмінної споживаної потужності.

- застосування мікропроцесорної системи дозволяє підвищити функціональність і гнучкість налаштування блока підігріву під різні тягові батареї.

### Література

1. Fontes E. Почему автомобильные аккумуляторы плохо работают в холодную погоду? [https://www.comsol.ru/blogs/why-car-batteries-perform-poorly-in-cold- /](https://www.comsol.ru/blogs/why-car-batteries-perform-poorly-in-cold-/).
2. Оптимальная температура эксплуатации литиевого аккумулятора, 2020 <https://virtustec.ru/news/optimalnaya-temperatura-ekspluatatsii-litievogo-akkumulyatora-zalog-ego-dolgoj-sluzhby.html>.
3. Техническое описание систем охлаждения и обогрева Chevrolet Volt [https://volt-club.ru/ams/Техническое описание систем охлаждения и обогрева Chevrolet Volt /](https://volt-club.ru/ams/Техническое_описание_систем_охлаждения_и_обогрева_Chevrolet_Volt/).
4. Картер Б., Манчини Р. Операционные усилители для всех. Москва: Додэка XXI, 2011. 510с.
5. Спосіб управління свічками розжарювання: пат. UA 101035; опубл 02.01.2006.
6. Козлов А. Н. Микропроцессорные средства управления: учебное пособие. Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. 62 с.
7. Логан С. Какой аналого-цифровой преобразователь подходит для конкретного приложения?, 2017. [https://www.compel.ru/wordpress/wp-content/uploads/2017/11/which-a\\_d-converter-is-right-for-my-application\\_-electronic-products.pdf](https://www.compel.ru/wordpress/wp-content/uploads/2017/11/which-a_d-converter-is-right-for-my-application_-electronic-products.pdf).

### References

1. Fontes YE. Pochemu avtomobil'ni akumuljatory plokhо pratsyuyut' u kholodnu pohodu? <https://www.comsol.ru/blogs/why-car-batteries-perform-poorly-in-cold-weather/>.
2. Optymal'na temperatura ekspluatatsiyi lityi-akkumulyatornoyi systemy, 2020 rik <https://virtustec.ru/news/optimalnaya-temperatura-ekspluatatsii-litievogo-akkumulyatora-zalog-ego-dolgoj-sluzhby.html>.
3. Tekhnichne opys systemy okholodzhennya ta obohrev Chevrolet Volt [https://volt-club.ru/ams/Tekhnichne opys systemy okholodzhennya ta obohreva Chevrolet Volt/](https://volt-club.ru/ams/Tekhnichne_opys_systemy_okholodzhennya_ta_obohreva_Chevrolet_Volt/).

4. Karter B., Manchyny R. Operatsiyni pidsylyuvachi dlya vsikh. Moskva: Dodéka XXI, 2011. 510 s.
5. Panikars'kyu. Sposib upravlinnya svichkamy rozzharyuvannya: pat. UA 101035; opublikovano 02.01.2006
6. Kozlov A. N. Mikroprotsesorni zasoby upravlinnya: navchal'ne posobie. Blahoveshchens'k: Yzd-vo AmHU, 2014. 62 s.
7. Lohan S. Yakyu analohovo-tsyfrovyyu peretvorennya-zovatel' pidkhodyt' dlya konkretnykh dodatyv ?, 2017. [https://www.compel.ru/wordpress/wp-content/uploads/2017/11/which-a\\_d-converter-is-right-for-my-application\\_-electronic-products.pdf](https://www.compel.ru/wordpress/wp-content/uploads/2017/11/which-a_d-converter-is-right-for-my-application_-electronic-products.pdf).

Серіков Георгій Сергійович<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380679478687, e-mail: [georgy301212@gmail.com](mailto:georgy301212@gmail.com)

Серікова Ірина Олексіївна<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380671085237, e-mail: [irinaserikova\\_ae\\_khadi@ukr.net](mailto:irinaserikova_ae_khadi@ukr.net)

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

### Analyzing the thermostabilization systems of lithium-ion traction batteries of electric vehicles

**Abstract. Problem.** Possible implementations of thermal stabilization systems for traction batteries of electric vehicles are considered. The analysis of possibilities to increase the efficiency of using lithium-ion rechargeable batteries at the expense of their temperature stabilization is carried out. The influence of the temperature factor on the useful capacity of traction batteries is shown. The microcontroller system of temperature stabilization of double action with function of the timer allowing to establish prematurely a mode of both cooling, and heating of storage batteries is offered. **Methodology.** The methods of theoretical basic electrical engineering have been developed in the production and calculation of circuits as well as the classical methods of statistics of signals from ADC. **Results.** The technique of processing information from the current, voltage and temperature sensors using a mathematical apparatus without using harmonic analysis is presented. The hardware implementation of the proposed method allows the use of simplified computing tools. **Originality.** Complex analysis of the data obtained from the current, voltage and temperature sensors is carried out. During the analysis, the range of velocities with stable operation of the measurement system was determined. Based on the data obtained, it is concluded that the use of a horn antenna as a concentrator substantially eliminates lateral interference and extends the range of possible velocity measurements. It is shown that the level of sampling significantly affects the upper limit of the measurement temperature. **Practical value.** The following results were obtained:

- minimizing the harmful effects of negative tempera-

tures on the battery capacity is possible through the use of preheating;

- the system of temperature stabilization should be performed with the possibility of reversing the mode of circulation of thermal energy;

- simplification of the process of determining the temperature is possible due to indirect measurements of the internal resistance of the heater;

- in the case of pulse-width control, the service life of the heaters increases, and the heating time is reduced at constant power consumption;

- application of the microprocessor system allows to increase functionality and flexibility of adjustment of the heating unit under various traction batteries.

**Key words:** lithium-ion traction battery of the electric car, thermal stabilization, microcontroller system, temperature influence, pulse-width modeling.

**Serikov Georgy Sergeevich**<sup>1</sup>, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +380679478687, e-mail: georgy301212@gmail.com.

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

**Serikova Irina Alekseevna**<sup>1</sup>, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +380671085237, e-mail: irinaserikova\_ae\_khadi@ukr.net.

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

---