

Шифр «Балансування АКБ»

ПРИСТРІЙ БАЛАНСУВАННЯ І ЗАХИСТУ ТЯГОВОЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

АНОТАЦІЯ

Різні типи акумуляторів мають свої особливості експлуатації.

Розглянемо літій-іонні акумулятори, що найбільш широко застосовуються для електромобілів. Завдяки високому електрохімічному потенціалу літію в них найбільш висока напруга одного елемента (однієї банки), а значить і висока питома енергія. 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 й деінтеркаляції іонів у матеріали анода й катода.

Для використання тягової батареї потрібно підтримувати належні режими заряджання тягової акумуляторної батареї (ТАБ). Для цього було розглянуто алгоритми заряду ТАБ. Проведено аналіз існуючих методів, що дозволяють підвищити строк служби літійової батареї. Обґрунтовано використання пасивного методу балансування. Розглянуто проблеми вирівнювання заряду Li-Ion батарей.

Результати роботи можуть бути використані як у навчальному процесі, так і у виробничій діяльності.

ВСТУП

Тягова акумуляторна батарея (ТАБ) в електромобілі або в підзаряджайомому гібридному автомобілі в значній мірі визначає основні параметри електромобіля або гібридного автомобіля (PHEV), що підзаряджається. Виробники постійно вдосконалюють параметри ТАБ, такі як питома енергоемність, питома потужність, робочий діапазон температур, довговічність, максимальне число робочих циклів. Однак реалізувати повністю можливості ТАБ можна тільки, якщо строго забезпечувати рекомендовані виготовлювачем режими заряду й розряду, тобто підтримуючи в припустимих межах струми, напруги, температурний режим. При експлуатації електромобіля контроль над цими параметрами повинна здійснювати спеціальна керуюча система, англійська аббревіатура BMS (Battery Manger System) [3]. Можливим варіантам виконання такої системи й присвячена ця робота.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЛІТІЙ-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ

Різні типи акумуляторів мають свої особливості експлуатації. Розглянемо літій-іонні акумулятори, що найбільш широко застосовуються для електромобілів. Завдяки високому електрохімічному потенціалу літію в них найбільш висока напруга одного елемента (однієї банки), а значить і висока питома енергія. Однак через високу хімічну активність літію необхідно уникати хімічних реакцій, що ведуть до появи металевого літію в акумуляторі. Для цього робота літієвих акумуляторів заснована на процесах інтеркаляції й деінтеркаляції іонів у матеріали анода й катода. У таких акумуляторах залежно від хімічного складу електродів і електроліту в акумуляторі, можуть бути різні межі зарядних і розрядних напруг і струмів [1]. Розглянемо вимоги й обмеження, які необхідно дотримувати, а також проблеми, які виникають при заряді й при розряді таких акумуляторів, тобто акумуляторів, у яких

установлені тверді граничні значення зарядного й розрядного напруг кожного елемента акумуляторних батарей.

Будемо розглядати алгоритм заряду ТАБ, у якій у першій фазі зарядний пристрій стабілізує струм заряду, а потім, у другій фазі заряду стабілізує максимально припустиме при заряді напруга ТАБ. Контролювати необхідно струм і напругу кожної банки ТАБ. Оскільки елементи ТАБ включені послідовно, то струм у них загальний і контролюється датчиком струму ТАБ. По сигналу цього датчика проводиться захисне відключення або обмеження зарядного або розрядного токи акумулятора, а також звичайно проводиться й керування крутним моментом тягового електродвигуна. Для швидкодіючого струмового захисту ключів інвертора цей датчик не підходить із-за великої ємності конденсаторів у ланцюзі живлення інвертора. Конденсатори необхідні для відсікання індуктивності проводів, що з'єднують ТАБ і інвертор. Захист ключів інвертора звичайно забезпечує захист із датчиками струму у фазних проводах тягового електродвигуна й (або) струмовий захист інтелектуальних силових модулів (IPM) інвертора [2].

Напругу на кожному елементі ТАБ необхідно контролювати індивідуально для того, щоб на жодному елементі не відбулося ні підвищення напруги при заряді вище максимально припустимого, ні зниження напруги при розряді нижче мінімально припустимого. Обмеження граничного розряду важливо для запобігання виходу з ладу окремих елементів ТАБ через них переполюсовки. Переполюсовка виникає тому, що розрядний струм ТАБ для повністю виряджених елементів стає зарядним, але із протилежною полярністю виводів. Це веде до ушкодження цих елементів. Крім того, необхідний контроль температури ТАБ, звичайно в декількох точках. У випадку занадто високої температури знижується (або вимикається) струм заряду або розряду. Якщо є для ТАБ система охолодження, може збільшуватися інтенсивність її роботи. У випадку занадто низької температури ТАБ, заряд проводиться після попереднього прогріву батареї електричними нагрівачами від мережі.

Для розгляду роботи системи керування режимами заряду й розряду (BMS) застосуємо модель елемента (гнізда, банки) ТАБ у вигляді, зображеному на рис. 1.

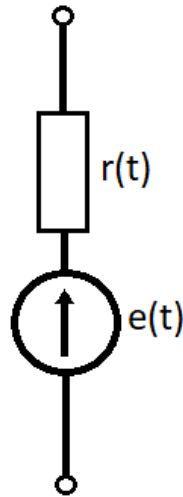


Рис.1. Модель гнізда акумуляторної батареї

Модель складається із джерела напруги e і включеного послідовно з ним внутрішнього опору r . І e , і r є функціями багатьох змінних, вони залежать від ступеня заряду ТАБ, її температури, числа попередніх циклів заряд-розряд і інших факторів. У кожний момент часу вони фактично будуть мати нові значення, тому на рис. 1 вони позначені як функції часу t , тобто $e(t)$ і $r(t)$. При виготовленні ТАБ намагаються застосовувати елементи з однаковими параметрами. Заряд і розряд ТАБ роблять так, щоб забезпечити максимально близькі значення e и r кожного елемента. Однак через розкид параметрів елементів ТАБ виникають проблеми, розглянемо їх докладніше.

Спочатку розглянемо зарядку ТАБ. Перша фаза зарядки припускає, що зарядний пристрій буде працювати в режимі джерела струму, яке будується на основі системи автоматичного регулювання (САР). Величина цього зарядного струму визначає час зарядки, залежить від параметрів ТАБ і від потужності, яку може забезпечити джерело зарядного струму.

БОРТОВИЙ ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ

Якщо джерелом зарядного струму для електромобіля є мережа змінного струму, то для бортового зарядного пристрою може бути застосована функціональна схема, наведена на рис. 2. Бортівий зарядний пристрій, як правило, розраховане на підключення до звичайної побутової однофазної мережі змінного струму 220 – 230 В, розрахованої на струм 16 А або на підключення до могутнішої мережі з розеткою (розніманням) на 32 А.

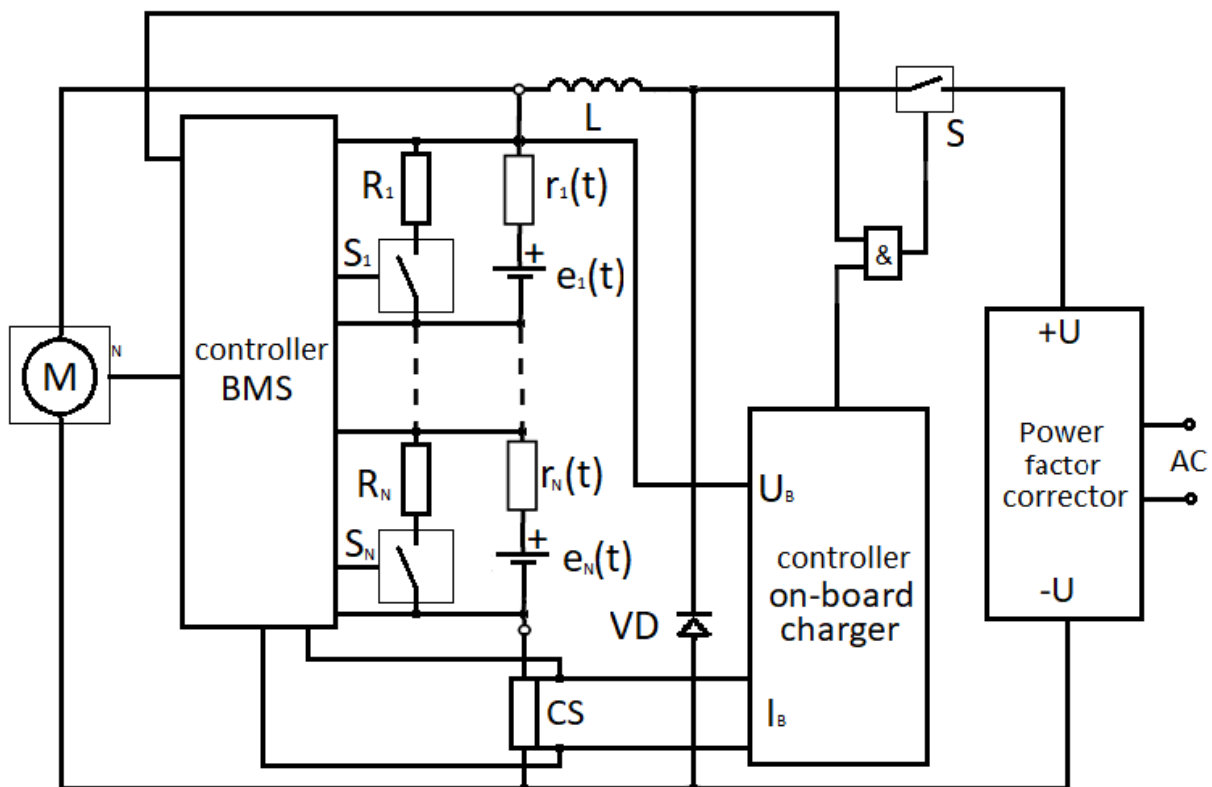


Рис. 2. Функціональна схема бортового зарядного пристрою

Така зарядка ставиться до повільної зарядки й дозволяє заряджати ТАБ електромобіля за 6 – 12 годин (за ніч). Повільна зарядка забезпечує максимальну довговічність ТАБ, і, як буде розглянуто нижче, дозволяє порівняно просто здійснити балансування ТАБ.

Розглянемо роботу бортового зарядного пристрою електромобіля або гібридного автомобіля, що підзаряджається. Сіткова напруга при зарядці подається на вхід АС (рис. 2) коректори коефіцієнта потужності (ККМ). ККМ також містить гальванічну розв'язку від мережі.

З виходу ККМ постійна стабілізована напруга подається на понижувальний перетворювач, що полягає з електронного ключа S , котушки індуктивності L і діода VD . Управляє перетворювачем контролер бортового зарядного пристрою. Цей контролер управляє зарядним струмом I_{ch} і зарядною напругою U_{ch} . Керуючим впливом для контролера бортового зарядного пристрою є сигнал з датчика зарядного струму CS і зарядна напруга ТАБ, подаване на контролер через дільник напруги. Завданням бортового зарядного пристрою є підтримка зарядного струму й обмеження граничної напруги ТАБ при зарядці. З виходу контролера сигнал у вигляді послідовності імпульсів, у якій регулюється коефіцієнт заповнення, подається через логічний елемент 2-І на керуючий вхід електронного ключа S . Другий вхід логічного елемента 2-І використовується для вимикання режиму зарядки. У якості електронного ключа звичайно використовують IGBT або MOSFET транзистори, а також ІРМ модулі. Для ТАБ, яка складається з N елементів, з'єднаних послідовно, при зарядці струмом I_{ch} напруга U_{ch} являє собою суму ЕДС усіх елементів і суму спадань напруги на внутрішніх опорах цих елементів

$$U_{ch} = \sum_{n=1}^N e_n + I_{ch} \sum_{n=1}^N r_n \quad (1)$$

Гранична напруга ТАБ при зарядці $U_{ch_{\max}}$ обмежується до значення:

$$U_{ch_{\max}} = N e_{\max} + I_{ch} \sum_{n=1}^N r_n, \quad (2)$$

де $e_{\max}$ _максимально припустиме значення ЕДС для одного елемента ТАБ.

Закінченням першої фази зарядки ТАБ є досягнення на якому-небудь елементі n максимально припустимого значення ЕДС тобто $e_n = e_{\max}$.

Контролювати значення e_n можна безперервне при включеному струмі зарядки шляхом виміру напруги u_{chn} на виводах елемента n , тоді його ЕДС обчислюють:

$$e_n = u_{chn} - I_{ch} r_n \quad (3)$$

де величина r_n визначається по формулі

$$r_n = \frac{u_{chn} - e_n}{I_{ch}}, \quad (4)$$

де напруга u_n періодично виміряється на виводах елемента n при попередньо відключеному струмі зарядки. Величина r_n міняється в процесі зарядки повільно, тому контроль r_n може бути досить рідким. Величина u_{chn} тобто напруга на виводах елемента n , виміряється із застосуванням мультиметра й АЦП контролера BMS. При цьому за допомогою контролера BMS проводиться вирахування з позитивного потенціалу n -того елемента щодо мінуса ТАБ позитивного потенціалу $(n - 1)$ -вого елемента щодо мінуса ТАБ.

Після досягнення на якому або елементі ТАБ рівності $e_n = e_{max}$ продовження заряду незмінним струмом для літій-іонних акумуляторів неприпустимо, оскільки на цьому елементі стане $e_n > e_{max}$, що може стати причиною розгерметизації й загоряння []. Однак відразу після першої фази елемент n не буде повністю заряджений. Для повної зарядки необхідна друга фаза зарядки. У другій фазі зарядки елемента слід підтримувати на елементі n напругу рівна e_{max} ще якийсь час. Друга фаза заряду припускає, що зарядка елемента перейде в режим, при якому на елементі підтримується задане значення зарядної напруги. При цьому струм заряду буде знижуватися, і коли він знизиться до 10% зарядного струму першої фази, зарядка цього елемента вважається завершеною []. У такому двофазному режимі проводиться зарядка батарей, що полягають із одного елемента, наприклад, у стільниковому телефоні. У багатоеlementній ТАБ через розкид параметрів елементів умови

переходу першої фази в другу наступають на різних елементах неодноразово, тому виникає необхідність балансування ТАБ. Балансування може бути пасивної, коли при зарядці підключаються розрядні резистори паралельно випереджальним елементам ТАБ і може бути активної, коли проводиться зарядка відстаючих елементів додатковим струмом за рахунок енергії взятої у випереджальних елементів []. Активне балансування може бути й при заряді, і при розряді ТАБ. Однак істотне підвищення складності й вартості BMS з активним балансуванням і досить незначний виграш у вигляді приросту пробігу електромобіля на одній зарядці ТАБ, робить установку активного балансування, як правило, невиправданою []. Тому далі будемо розглядати бортові зарядні пристрої тільки з пасивним балансуванням. На мал.2 елементами пасивного балансування є резистори $R_1 - R_N$ і гальванічески розв'язані електронні ключі $S_1 - S_N$, звичайно MOSFET транзистори, керовані контролером BMS.

Слід зазначити, бортовий зарядний пристрій з BMS є обов'язковим для сучасних електромобілів і подзаряджаємих гібридних автомобілів, оскільки тільки при повільній зарядці можливе вирівнювання заряду на елементах ТАБ. При швидкій зарядці більшим зарядним струмом на зарядній станції, електромобіль, (PHEV як правило не мають швидкої зарядки), підключають до потужного джерела постійного струму. На мал.2 це підключення до вихідних затискачів PFC $+U$ і $-U$ (при цьому PFC не працює). Контролер BMS при швидкій зарядці тільки стежить за ЕДС кожного елемента й за температурою ТАБ і дає команду на припинення заряду всієї ТАБ або по наявності граничної ЕДС на якому-небудь елементі ТАБ, або граничної температури. Вимикання зарядки проводиться вихідним сигналом контролера BMS. Цей сигнал управляє ключем S (мал.2). Заряд ТАБ при швидкій зарядці звичайно не перевищує 70 – 80% від можливого при повільній зарядці й наявності балансування. Балансування при швидкому заряді не проводиться, оскільки вона суперечить змісту швидкого заряду, тому що займає дуже багато часу. Після швидкої зарядки ТАБ пробіг електромобіля менше, чим після повільної. Крім того,

бажане часто швидкою зарядкою не користуватися, і перемежовувати її з повільною зарядкою, інакше суттєво скорочується ємність і термін служби ТАБ.

Як було сказано вище, зарядний струм для повільного заряду вибирають припустимим для потужності мережі й з урахуванням рекомендацій виробника акумуляторів, а також з урахуванням температури елементів ТАБ. Як правило, бортовий зарядний пристрій можна підключати до мережі на необмежений час, оскільки контролер зарядного пристрою сам відключить зарядний струм після закінчення заряду.

Можливі два варіанти побудови режиму роботи пасивного балансування й, відповідно, два варіанти алгоритму роботи контролера BMS. У першому варіанті, якщо для якого-небудь окремого елемента буде виконана умова $e_n = et_{max}$, зарядний струм не відключається, і розряд n –го елемента через підключений до нього ключем S_n розрядний резистор R_n буде проводитися разом із зарядом інших елементів. У другому варіанті, під час зарядки, при настанні події $e_n = et_{max}$, загальний зарядний струм відключається, і розряд n –го елемента проходить без заряду інших елементів доти, поки розряд n –го елемента не понизить його напруга до нижнього порога гістерезису ключа S_n і відбудеться відключення резистора R_n . Потім знову ввімкнеться зарядний струм, і зарядка буде тривати доти, поки знову не ввімкнеться який-небудь ключ, підключить відповідний розрядний резистор і знову відключиться зарядний струм. Процес буде повторюватися поки не зарядяться всі елементи ТАБ.

Визначимо умови й межі застосовності цих двох варіантів. Для цього розглянемо еквівалентну схему, наведену на мал.3 роботу, що імітує, елемента (акумуляторної банки) у складі ТАБ при замкненому ключі, що підключає розрядний резистор.

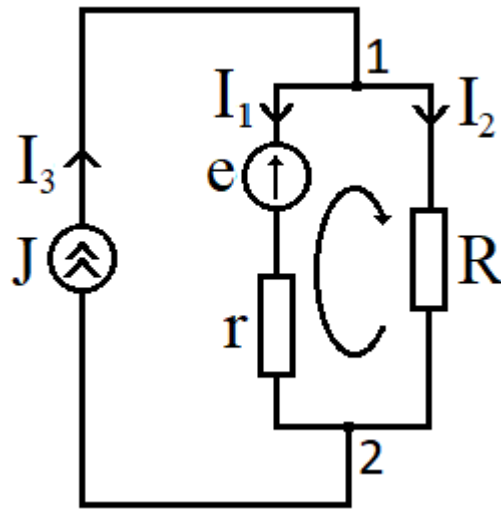


Рис.3. Еквівалентна схема зарядки елемента ТАБ
при підключеному розрядному резисторі

У схемі джерело струму J задає зарядний струм $I_3 = Ich$ а джерело напруги e міняє напругу. При цьому його напруга не повинна перевищувати значення $e = e_{max}$. Для аналізу схеми складемо рівняння з використанням законів Кирхгофа для струмів вузла 1 і для напруг контуру, який обходимо по стрілці, показаній на мал.2. Невідомими в системі є струми I_1 і I_2

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ -rI_1 + RI_2 = e \end{cases} \quad (5)$$

Вирішуючи систему одержимо потрібні струми

$$I_1 = I_3 - I_2 \quad (6)$$

$$I \frac{e + rI_3}{R + r} \quad (7)$$

Розглядаючи перший варіант пасивного балансування відзначимо, що умовою переходу від заряду до розряду (через розрядний резистор R_n) при включеному джерелі зарядного струму буде перехід через нуль струму I_1 , тобто $I_1 = 0$. Тоді з (6) випливає, що момент переходу відбудеться при зарядному струмі Ich рівному однаковим струмам I_2 і I_3 , тобто $I_2 = I_3 = Ich$. Розряд елемента ТАБ буде, якщо розрядний резистор задовольняє умові

$$R < \frac{e}{I_{ch}} \quad (8)$$

Оскільки через резистор іде весь зарядний струм, і, якщо резистор задовольняє умові (8), то ще із зарядним струмом підсумується й розрядний струм шунтуємого цим резистором елемента. У результаті маємо істотне нагрівання розрядного резистора, тому що на ньому виділяється потужність не менш $P = R$.

Розглянемо як приклад зарядку літій-іонної акумуляторної батареї з елементів форм-фактору 18650 з ємністю 2000 мА·ч зарядним током 1А, $e_{\max} = 4,2\text{В}$, критичне значення $R = 4,2\text{ Ом}$. На розрядному резисторе буде розсіюватися потужність 4,2 Вт. Це означає, що перший варіант пасивного балансування в цьому випадку може бути використаний, якщо використати резистор потужністю 5 Вт, тем паче, що частина потужності перерозподілиться на нагрівання електронного ключа. Вибір першого варіанта в даному випадку дозволяє скоротити загальний час повної зарядки цього акумулятора.

Розглянемо в якості другого прикладу зарядку літій-іонної акумуляторної батареї з елементів з ємністю 60 А*год струмом 20А, $e_{\max} = 4,2\text{В}$. Струм $I_1 = 0$ буде при критичнім значенні $R = 0,21\text{ Ом}$. На розрядному резисторі буде розсіюватися потужність 84 Вт. У цьому випадку нагрівання розрядних резисторів створить більші проблеми для реалізації першого варіанта пасивного балансування. Другий варіант пасивного балансування є більш раціональним, такий вибір дозволяє збільшити опір розрядних резисторів і суттєво зменшити їх нагрівання. Це трохи збільшить час балансування, але при нічній зарядці це не викличе великих незручностей.

Другою важливою функцією BMS є запобігання глибокого розряду елементів ТАБ. Для цього при розряді необхідно контролювати напругу на кожному елементі акумулятора у всіх діапазоні зміни струмів. Це дозволить стежити не тільки за ЕРС, але й обчислювати по формулах (3) і (4) внутрішній

опір кожного елемента. При наближенні до вирадженого стану внутрішній опір елемента суттєво зростає [3]. Облік критичних значень зниження ЕРС і підвищення внутрішнього опору дозволяє більш точно визначати вираджений стан окремих елементів і правильно обмежити або повністю відключити розрядний струм. На рис. 2 показаний зв'язок контролера з інвертором вентильного електродвигуна, через який проводиться відключення або зменшення розрядного струму. Зменшення струму або його відключення відбувається шляхом керування силовими електронними ключами інвертора вентильного електродвигуна.

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ БОРТОВОГО ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ ІЗ СИСТЕМОЮ BMS

Бортовий зарядний пристрій практично реалізований на подзаряджаємому мікрогібридному автомобілі на основі автомобіля Ланос-Пікап [1,2]. ТАБ цього автомобіля складається з 20 банок літій-залізофосфатних акумуляторів WB-LYP90АНА, ємністю 90 Ач. Робоча напруга однієї банки 3,2 В, батареї 64 В. Гранична напруга заряду однієї банки 3,6 В, батареї 72 В. Основна зарядка проводиться від однофазної мережі змінного струму. Додаткова зарядка відбувається при рекуперативнім гальмуванні автомобіля.

Потужність мережного зарядного пристрою 2 кВт. Функціональна схема бортового зарядного пристрою із системою балансування й захисту наведений на мал.4. На вході бортовий зарядний пристрій містить ККМ, сполучений з гальванічною розв'язкою. ККМ виконаний на основі мікросхеми IR1155S [9]. Гальванічна розв'язка виконана у вигляді резонансного напівмостового DC/DC конвертора з вихідною напругою $U=80\text{В}$ на основі мікросхеми IR2153 [10].

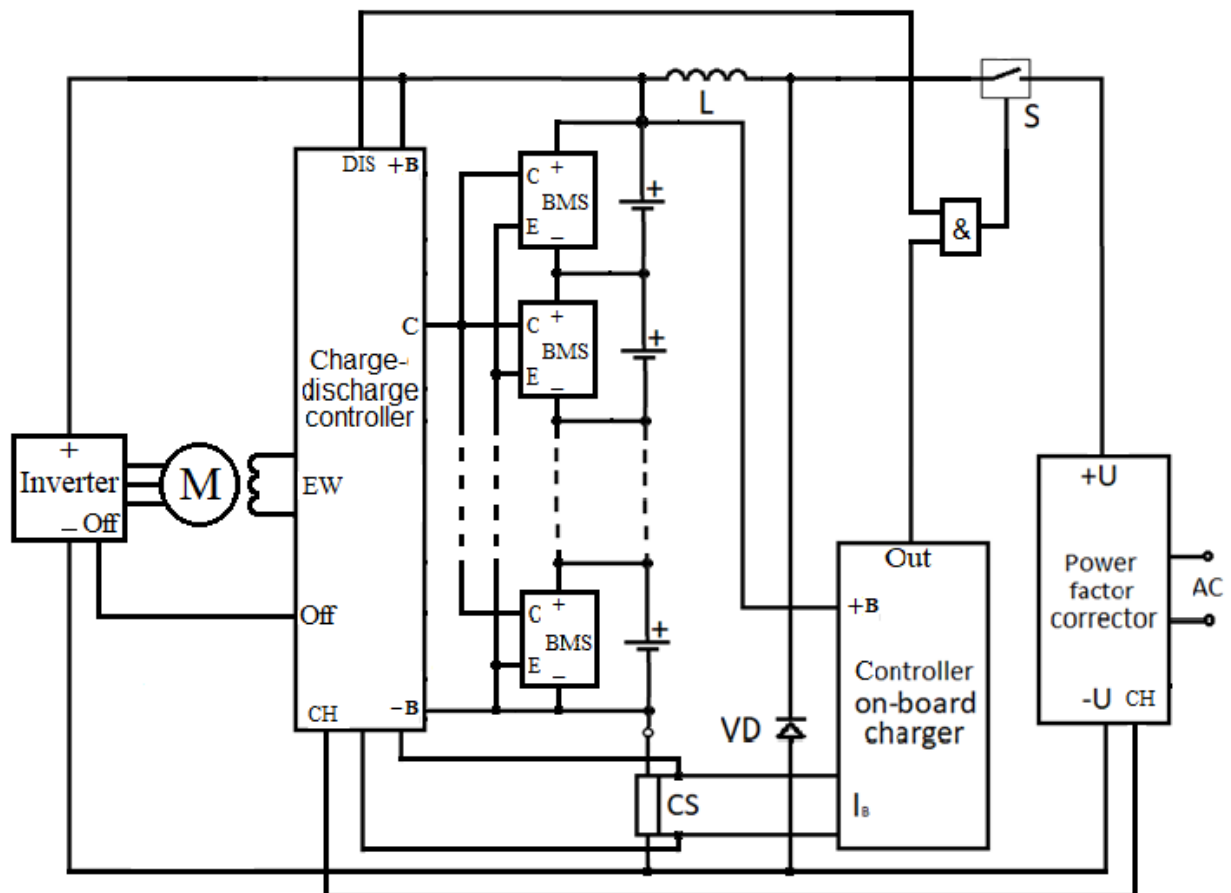


Рис.4. Функціональна схема бортового зарядного пристрою
із платами BMS

Контролер бортового зарядного пристрою, для керування ключем S, формує на виході Out імпульсну послідовність. Шляхом зміни коефіцієнта заповнення цієї послідовності, з урахуванням сигналу з датчика струму CS, здійснюється стабілізація зарядного струму на рівні 20A. Коли в процесі зарядки напруга ТАБ досягнеться максимального значення 72В, контролер починає зменшувати коефіцієнт заповнення, а значить і зменшувати зарядний струм. У такий спосіб відбувається стабілізація необхідної максимальної напруги ТАБ. Контроль цієї напруги відбувається по входу +В контролера зарядного пристрою. Контролер зарядного пристрою виконаний на основі мікросхеми TL494 [6]. Однак перш ніж буде досягнута максимальна напруга ТАБ, буде досягнута максимальна напруга окремих елементів ТАБ. Для цих

елементів подальша зарядка стає неприпустимою, тому необхідна робота системи балансування (BMS).

Система балансування виконана з використанням тієї обставини, що при наближенні до повної зарядки внутрішній опір елементів ТАБ WB-LYP90АНА змінюється незначно, а ЕРС, навпаки, помітно збільшується. Згідно з розрахунками, описаними вище, для зазначених акумуляторів, при підключенні розрядного резистора, загальний зарядний струм повинен відключатися. З метою спрощення системи збільшена різниця між напругами включення й вимикання розрядних резисторів системою BMS, тобто відповідно 3,65 В и 3,55 В, при цьому плати BMS зроблені окремо для кожної банки. Кожна плата контролює як заряд, так і розряд відповідної банки. Інформація про необхідність відключення зарядного або розрядного токи передається по одnobітовій шині на вхід 3 контролера заряду-розряду. Система балансування виконана на основі плат BMS, схема яких наведена на рис. 5. Розглянемо роботу цієї плати. Вхід мікросхеми керованого стабілітрона TL431 [7] через дільник підключений до плюса й мінусу елемента ТАБ, анод TL431 підключений до мінусу елемента ТАБ. Дільник напруги підібраний так, щоб коли ЕРС елемента ТАБ досягнеться 3,65 В опір між анодом і катодом TL431 суттєво поменшається й струм через TL431 відкриє транзистор BC857C, напруга на колекторі цього транзистора через резистор 51 до підвищить напруга на вході TL431 таким чином, щоб вимикання провідності стабілітрона відбулося при зниженні ЕРС елемента ТАБ до 3,55 В. Одночасно відкритий транзистор BP857C відкриє транзистор BD137 і транзистор BD244C. У колекторному ланцюзі транзистора BD244C включений навантажувальний резистор 3,3 Ом з потужністю 5 Вт. Цей резистор забезпечить розряд елемента ТАБ.

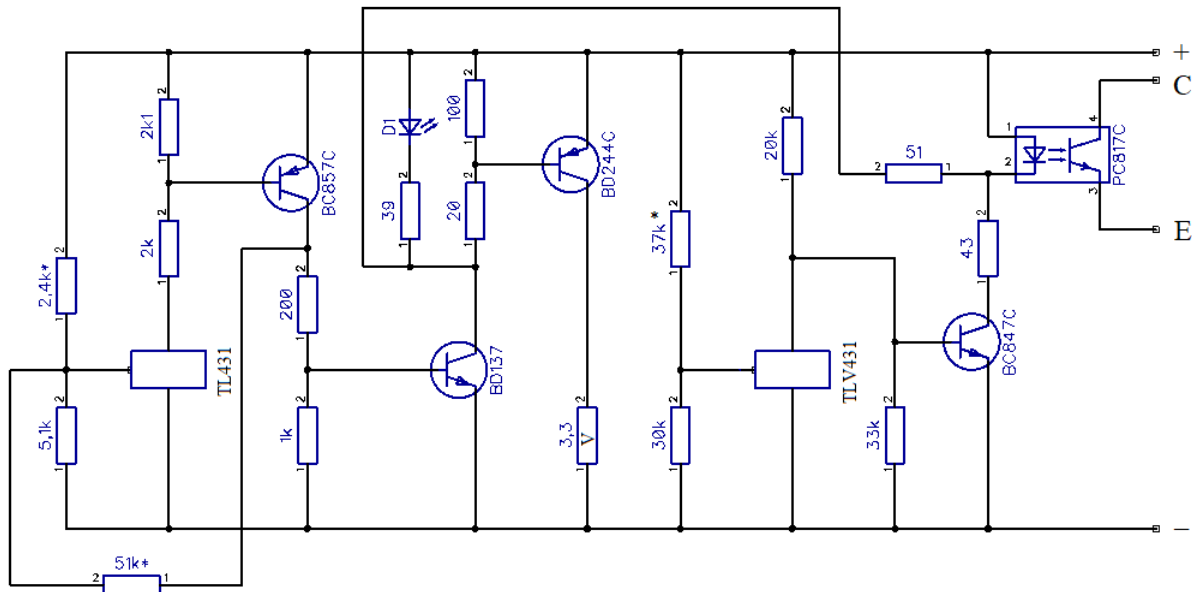


Рис.5. Схема плати BMS

Крім того, відкритий транзистор BD137 включить світлодіод D1, який позначить елемент ТАБ, де $e = e_{max}$ і включить світлодіод оптрона PC817C, який забезпечує гальванічну розв'язку з контролером BMS. Контролер BMS під час зарядки, на час, поки є цей сигнал, тобто поки відкритий транзистор оптрона, відключає зарядний струм і тільки тоді включає зарядний струм, коли транзистор оптрона закриється. Контролер BMS визначає наявність режиму зарядки по сигналу з виводу CH блоку PFC. Цей сигнал з'являється, коли на PFC є напруга мережі.

Відключення тягового електродвигуна відбувається, коли напруга на клеммах елемента опускається нижче заданого порога, наприклад, нижче 2,0 - 2,5 В. Стежить за зниженням напруги мікросхема керованого стабілітрона TLV431 [8], яка перестає пропускати струм від катода до анода й, тим самим, відкриває транзистор BC847C. Цей транзистор включає світлодіод оптрона PC817C, тим самим подає сигнал контролеру BMS. Контролер BMS у режимі, коли немає зарядки, реагує на відкриття транзистора оптрона відключенням розрядного струму, і вже не дозволить його включити, поки знову не буде

заряджена ТАБ. У цьому випадку підзаряджаємий гібридний автомобіль може рухатися тільки на ДВС.

Схема бортового зарядного пристрою із платами BMS (рис. 4) має більш просту й більш надійну структуру зарядно-розрядного контролера, недоліком цієї схеми є велика кількість плат BMS.

ВИСНОВКИ

Розглянуті особливості літій-іонних ТАБ. Запропоновані варіанти контролю режимів заряду й розряду ТАБ дозволяють забезпечити її захист при заряді й розряді. Запропонований варіант побудови бортового зарядного пристрою із системою вирівнювання заряду. Отримані теоретичні й експериментальні результати мають практичне значення для транспортної галузі. Для використання тягової батареї потрібно підтримувати належні режими заряджання тягової акумуляторної батареї (ТАБ). Для цього було розглянуто алгоритми заряду ТАБ. Проведено аналіз існуючих методів, що дозволяють підвищити строк служби літєвої батареї. Обґрунтовано використання пасивного методу балансування. Розглянуто проблеми вирівнювання заряду Li-Ion батарей.

Результати роботи можуть бути використані як у навчальному процесі, так і у виробничій діяльності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Двадненко В. Я., Пушкар О. Б. Поліпшення економічних і екологічних характеристик мікрогібридного автомобіля. /Автомобільний транспорт: сб. науч. тр. – 2019.- Вып. 45. - С.12-22
2. Dvadnenko V., Arhun Shch., Bogajevskiy A., Ponikarovska S. Improvement of economic and ecological characteristics of a car with a start-stop system. International Journal of Electric and Hybrid Vehicles, 2018. Vol. 10, № 3, pp. 209-222. doi: 10.1504/IJEHV.2018.097377
3. Рыкованов А. С. Системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей // Силовая Электро-ника. 2009. № 1.
4. Рыкованов А. С. Элементная база систем обеспечения функционирования Li-ion аккумуляторных батарей // Компоненты и технологии. 2012. № 8.
5. Рыкованов А. С. Способы балансирования портативных железо-фосфатных Li-ion аккумуляторных батарей // Компоненты и технологии. 2012. № 10.
6. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/12679/ONSEMI/TL494.html>
7. <https://pdf1.alldatasheetscom/datasheet-pdf/view/5774/MOTOROLA/TL431.html>
8. <https://pdf1.alldatasheetscom/datasheet-pdf/view/28993/TI/TLV431.html>
9. <https://pdf1.alldatasheetscom/datasheet-pdf/view/427261/IRF/IR1155S.html>
10. <https://pdf1.alldatasheetscom/datasheet-pdf/view/542363/IRF/IR2153.html>