

Недоступ Леонід Аврамович, доктор технічних наук, професор, к федр теоретичної р діотехніки т р діовимірюв нь, Н цюон льний університет «Львівськ політехнік », Укр ін , e-mail: lnedostup@polynet.lviv.ua.

Кіселичник Мирослав Дмитрович, к ндид т технічних наук, професор к федр теоретичної р діотехніки т р діовимірюв нь, Н цюон льний університет «Львівськ політехнік », Укр ін , e-mail: mkiselychnyk@polynet.lviv.ua.

Заярнюк Павло Михайлович, спір нт, к федр теоретичної р діотехніки т р діовимірюв нь, Н цюон льний університет «Львівськ політехнік », Укр ін , e-mail: zayarnyukpm@gmail.com.

Бобало Юрий Ярославович, доктор технических наук, профессор, к федр теоретической р диотехники и р диоизмерений, Н цюон льный университет «Львовск я политехник », Укр ин .

Бондарев Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор, к федр теоретической р диотехники и р диоизмерений, Н цюон льный университет «Львовск я политехник », Укр ин .

Недоступ Леонид Аврамович, доктор технических наук, профессор, к федр теоретической р диотехники и р диоизмерений, Н цюон льный университет «Львовск я политехник », Укр ин .

Киселичник Мирослав Дмитриевич, к ндид т технических наук, профессор к федр теоретической р диотехники и р диоизмерений, Н цюон льный университет «Львовск я политехник », Укр ин .

Заярнюк Павел Михайлович, спір нт, к федр теоретической р диотехники и р диоизмерений, Н цюон льный университет «Львовск я политехник », Укр ин .

Bobalo Yuriy, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: bobaloyu@lp.edu.ua.

Bondarev Andriy, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: bondap@ukr.net.

Nedostup Leonid, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: lnedostup@polynet.lviv.ua.

Kiselychnyk Myroslav, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: mkiselychnyk@polynet.lviv.ua.

Zayarnyuk Pavlo, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: zayarnyukpm@gmail.com

УДК 621.317.7

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.42517

**Щербань А. П.,
Ларін В. Ю.**

ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛІТІЙ-ПОЛІМЕРНИХ АКУМУЛЯТОРІВ

В ст тті розглянуті основні принципи побудови порт тивних джерел живлення, зокрем кумуляторів н основі літію. Приведені ілюстр ції хімічних процесів, що проходять в них. Т кож опис ні конструктивні особливості різних видів кумуляторів н основі літію, с ме літій-іон-них т літій-полімерних кумуляторів, особливості їх використ ння т режими з рядж ння.

Ключові слова: хімічне джерело струму, літій-полімерний кумулятор, ефект п м'яті, систем б л нсув ння.

1. Вступ

Акумулятори є електрохімічними систем ми, в яких ре лізуються функції н копичув чів електричної енергії. Акумулятори, як джерело електричної енергії з стосовують в пристроях, п р т х бо систем х, дія яких з снов н н втономному принципі функціонування, тобто нез лежно від н явності у безпосередньої близькості електричної мережі.

В кумулятор х під ч с з рядки електричн енергія перетворюється в хімічну і систем зн ходиться в рівнов зі доти, доки між електрод ми протік є н віть дуже м лий струм. При підключенні конт ктів кумулятор до спожив ч електричної енергії (елементу з кінцевим електричним опором) відбув ється зворотний процес: хімічн енергія перетворюється в електричну — при цьому ч стин її перетворюється в тепло [1, 2].

Мірюю з ряду, який кумулятор може н копичити в процесі з рядки, є ємність (це поняття слід відрізнити від електричної ємності конденс торів), як вимірюється в м-пер-годин х. Корисний з ряд, що відд є кумулятор, з лежить від струму розрядки і поч ткового ступеня з ряду.

Н сьгоднішній день поширені кумулятори п'яти різних електрохімічних схем:

— нікель-к дмієві (Ni-Cd);

- нікель-мет лгідридні (Ni-MH);
- свинцево-кислотні (Sealed Lead Acid, SLA);
- літій-іонні (Li-Ion);
- літій-полімерні (Li-Polymer).

Визн ч льним ф ктором для всіх перер хов них елементів живлення є не тільки порт тивність (тобто невеликий об'єм і в г), ле і висок н дійність, т - кож велик трив лість роботи.

Акту льність цієї теми обумовлен особливостями н шого ч су, с ме використ нням порт тивних пристроїв у різних сфер х життя, почин ючи від мобільних телефонів т пл ншетів і з кінчуючи безпілотними повітряними судн ми. У будь-якому з цих пристроїв необхідне порт тивне джерело живлення (кумулятор). А від вибору типу кумулятор будуть з леж ти особливості використ ння т ких прил дів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

З д ною темою існує б г то публік цій в іноземних вид ннях. Але більшість із них приділяє особливу увагу хімічним тонкощ м побудови літєвих кумуляторів, н томість омин ючи конструктивні особливості. Н прикл д, в ст тті [3] пропонується використовув ти

літій-йодид як основу батерей, додаючи до нього полімерний електроліт. А в роботі [4] автори пропонують використовувати обплення кристалічної структури полімеру для покращення внутрішньої і зовнішньої мікроструктури полімеру, що в свою чергу буде стимулювати покращення електропровідності і стабільності з заряду/розряду конденсаторів.

Дослідження, які описані в статті [5], включають детальну інформацію про передові розробки в області твердих полімерних електролітів і гелі полімерних електролітів, що використовуються в літєвих конденсаторах, включаючи в себе поглиблений аналіз характеристик батерей на основі цих полімерних електролітів.

Згаданий аналіз джерел живлення в залежності від використання електроліту приведений в статті [6]. Автор цієї роботи намагається узагальнити знання про деякі окремі мембрани в літій-іонних батереях. Розглядається це з точки зору типових батерей з використанням керамічного скла, полімерних твердих іонних провідників і полімерного гелю в якості електроліту. Але і в цій роботі недостатньо приділено уваги саме конструктивним особливостям та принципам використання батерей на основі літію.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — конденсаторні батерей на основі літію.

Мета дослідження — систематизувати знання про конструктивні тонкощі побудови літєвих конденсаторів, принципи їх використання, особливості з заряду/розряду та переваги й недоліки певних різновидів конденсаторів на основі літію.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Дослідити і класифікувати різні види літєвих конденсаторів в залежності від допоміжних речовин та принципів побудови.
2. Проаналізувати переваги та недоліки кожного з представлених видів літєвих конденсаторів.
3. Описати принципи з заряду літєвих конденсаторів та особливості їх розрядження.
4. Зробити вибір найбільш перспективного виду конденсаторів на основі літію та обґрунтувати його.

4. Результати дослідження літєвих конденсаторів

4.1. Конденсаторні батареї з використанням літію.

Літєві конденсатори працюють з ривком окислювально-відновної реакції. У батереях на основі літію з окислювальною речовиною — відновником, катод — з речовини-окислювача, між ними знаходиться електроліт — рідина. Окислювач збирає у собі відновник електрони. Іони, що утворилися, проходять через електроліт і приєднуються до окислювача, електрони ж по зовнішньому ланцюзі подіються на пристрій, що вимірює

живлення. Чим активнішими є окислювач і відновник, тим ефективніше працює батерея.

Літій використовують в якості анода, він володіє найбільшим електродним потенціалом ($-3V$). Як відомо, літій — найбільш активний з металів. Він володіє величезним ресурсом зберігання енергії. 1 kg здатний зберегти $3860\text{ A}\cdot\text{h}$. Наприклад, для цинку цей показник складе $820\text{ A}\cdot\text{h}$. Елементи на основі літію можуть виробляти напругу до $3,7V$. А лантано-термічні здатні виробляти навіть більшу напругу — близько $4,5V$.

Літій — найлегший метал, тому його використання зменшує вагу конденсатора. Катоди в літєвих конденсаторах роблять із сильних окислювачів. Коли в ході реакції відомі літію від'єднуються електрони, утворюються позитивні іони ($Li \rightarrow Li^+ + e^-$). Вони проходять через електроліт і осідають на позитивному електроді. Коли весь літій у вигляді іонів осів на катоді, конденсатор розряджений. При зарядженні процес йде у зворотному напрямку — електрони рухаються від катода до анода, іони літію осідають на аноді, де насичуються електронами і стають нейтральними атомами (рис. 1).

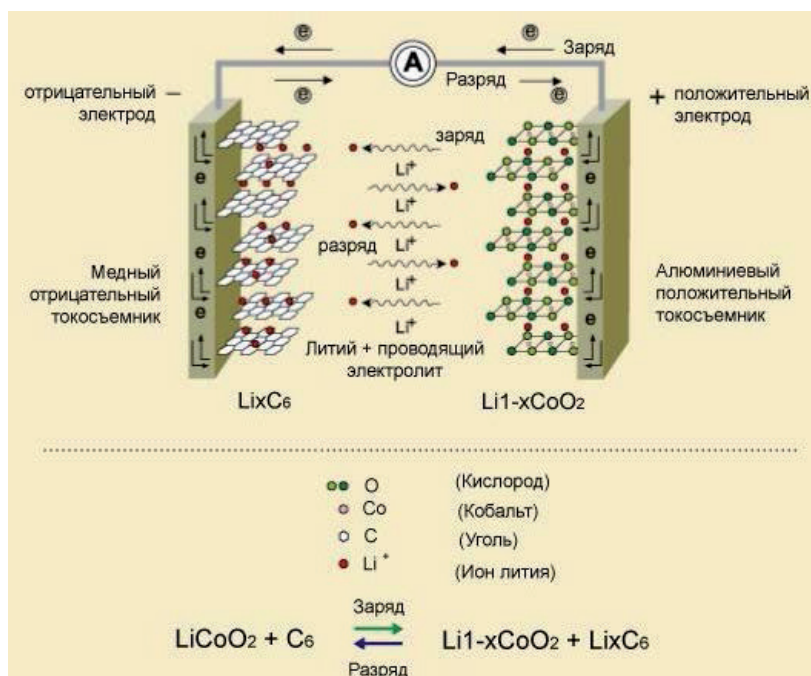


Рис. 1. Схема роботи літєвого конденсатора на прикладі літій-іонного конденсатора [7]

У сучасних літєвих конденсаторах чистий літій не застосовується. На цей час поширені 3 типи літєвих конденсаторів:

- Літій-іонні (Li-Ion). Номінальна напруга ($U_{ном}$) = $-3,6V$.
- Літій-полімерні (Li-Pol, Li-Polymer або «ліпо»). $U_{ном} = -3,7V$.
- Літій-літій-фосфатні (Li-Fe або LFP). $U_{ном} = -3,3V$.

Всі ці типи літєвих конденсаторів розрізняють за типом електроліту. В Li-Ion використовується катод з кобальт-літію $LiCoO_2$, в Li-Pol зстосовується електроліт з гелеподібного полімеру, в Li-Fe використовується катод з літій-феро-фосфату $LiFePO_4$.

4.2. Li-Ion-акумулятори. Ті кумулятори були розроблені ще в 1940 році, але промисловий випуск почався лише в 1991 р. Їх вважали одними з найперспективніших джерел автономного живлення, але при цьому вони досі залишаються одними з найдорожчих (рис. 2). Вони мають високу енергетичну щільність, порядку $100 \text{ Вт} \cdot \text{г/кг}$, і забезпечують приблизно 300–500 циклів заряд/розряд.



Рис. 2. Схема конструкції Li-Ion-акумулятора

Акумулятори мають дуже низьку швидкість саморозряду (приблизно 3–5 % в перший місяць, потім зменшення до 1–3 % в місяць, додатково близько 3 % споживає схема управління). Крім того, при однакових габаритах, літійові джерела живлення працюють втричі довше, у порівнянні з Ni-Cd-кумуляторами, і у них абсолютно відсутній ефект пам'яті. Що стосується недоліків — наспереди, це високі ціни. Тобто необхідно зберігати в зарядженому стані, і у них є ефект старіння, навіть якщо кумулятор не використовується. Цей ефект проявляється в тому, що через рік після виготовлення знижується його ємність, через дві роки він іноді виходить з ладу [8–10].

4.3. Li-Polymer-акумулятори. Це один з останніх розробок в літійовій технології. Потенційно такі кумулятори дешевші, ніж Li-Ion-кумулятори, але на сьогодні все ж залишаються найдорожчими джерелами живлення. Виробляють цей тип кумуляторів лише кілька відомих виробників. По конструкції вони подібні до своїх попередників, але використовують гелієвий електроліт, тому можуть мати нетрадиційну форму. Ці джерела мають ще більш високу енергетичну щільність (до $160 \text{ Вт} \cdot \text{г/кг}$) і малий струм розряду, причому нинішні зразки здатні витримати дуже велику кількість циклів заряд/розряд — близько 1000. Ще однією перевагою цих кумуляторів є те, що вони досить компактні і легкі.

Полімерно-літійові кумулятори складаються з секцій або стеків. Кожен з секцій містить три електрода і separator з полімером, який діє як електроліт і як зв'язуюча речовина. Негативний електрод розташований між двома позитивними і з допомогою термального впливу всі компоненти об'єднують у стек. Товщина однієї секції близько 0,6 мм. Залежно від кількості стеків можна отримати кумулятор тієї чи іншої ємності (рис. 3). Зовнішнє джерело живлення з'єднують в полімерно-літійову плівку (рис. 4). Принципово іонно-літійові і полімерно-літійові кумулятори не розрізняються, але останні мають одну живу перевагу. Але оскільки їх робочою речовиною є гель, що складається з суміші полімеру і електроліту, то витік рідини є просто неможливим.

Можливість змінити рідкого органічного електроліту на полімерний (при зниженні ймовірності його витоків) і збільшення безпеки роботи літій-іонного кумулятора вивчалися з самого початку комерціалізації цих джерел струму.

В основі ідеї літій-полімерного кумулятора (Li-Pol або Li-Polymer) лежить відкрите явище переходу деяких полімерів в напівпровідниковий стан в результаті впровадження в них іонів електроліту.

Літій-полімерні кумулятори в даний час — це один з найбільш досконалих конструкцій кумуляторних джерел живлення.

Провідність полімерів при цьому зростає більш ніж на порядок. До теперішнього часу розроблені і серійно виготовляються літійові джерела струму з електролітами, які можуть бути поділені на три групи:

- сухі полімерні електроліти (наприклад, на базі поліетиленоксиду, в який вводяться різні солі Li);

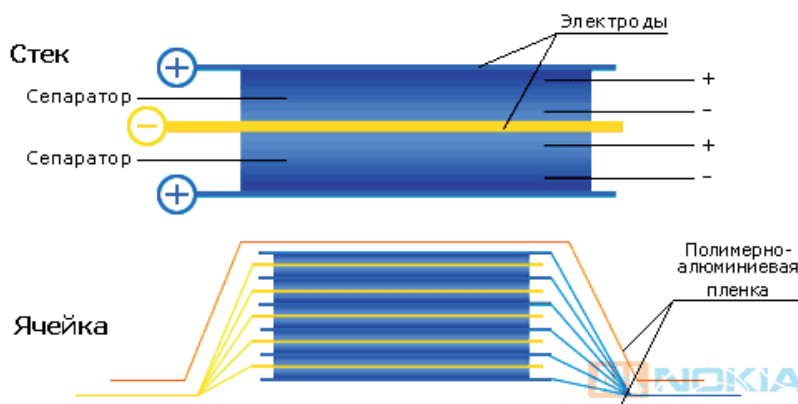


Рис. 3. Схема внутрішньої структури Li-Pol-акумулятора



Рис. 4. Зовнішній вигляд різних Li-Pol акумуляторів

— гелі-полімерні гомогенні електроліти, які утворюються при впровадженні в полімер (бо суміш полімерів) солей Li з пластифікатором-розчинником; — неводні розчини солей Li, сорбовані в мікропористій полімерній матриці.

У порівнянні з рідкими електролітами в літій-іонних кумуляторах, полімерні електроліти мають меншу іонну провідність, яка до того ж додатково знижується при температурі нижче нуля. Тому проблем розробок Li-Pol кумуляторів складеться не тільки в пошуку іммобілізованого електроліту з досить високою провідністю, сумісного з електродами матеріалами, й у розширенні температурного діпазону Li-Pol кумуляторів. Уже в першому поколінні літій-полімерних кумуляторів підбором співполімерів вдалося домогтися високої міцності електродів, іонну провідність електроліту б т рей збільшити практично втричі. Якщо не сному початку своєї історії дн груп кумуляторів використовував л лише для живлення портативних пристроїв, то в н ш ч с вон перетворився н одні з н йбільш потужних джерел струму, які з стосовують для з безпечення роботи сучасних електричних транспортних засобів. Нприкінці XX ст. к н дським вченим вдалося створити емнісну літій-полімерну б т рею для електромобіля.

Сучасні літій-полімерні кумулятори з безпечують не гірші питомі характеристики, ніж у літій-іонних кумуляторів. Звдяки відсутності рідкого електроліту вони більш безпечні у використанні. Li-Pol кумулятори компактні і можуть бути виконані в будь-якій конфігурації. Їх контейнер може бути виконаний з металізованого полімеру [8–10].

Сучасні Li-Pol кумулятори б т реї володіють хорошими питомими характеристиками. Кількість їх робочих циклів з заряду/розряду — 500 і більше. Відсутність рідкого електроліту робить ці кумулятори джерелом струму більш безпечними в експлуатації, ніж літій-іонні кумулятори попередніх поколінь.

Суттєвих обмежень в конструктивному виконанні ці кумулятори не мають, і можуть виготовлятися в будь-якій конфігурації. Як правило, зовнішня корпусна частина літій-полімерних б т рей виконується з металізованого полімеру.

Однак, робочі щільності струму і електричні характеристики Li-Pol кумуляторів незначно помітно погіршуються при зниженні температури через кристалізацію полімеру. Всі розробники відзначають, що на якість Li-Pol кумуляторів і стабільність їх роботи сильно впливає однорідність полімеру, на яку впливають як співвідношення компонентів електроліту, так і температур полімеризації.

4.4. Ефект пам'яті. Серед особливих переваг розглянутих кумуляторів варто відзначити відсутність в них ефекту пам'яті.

Ефект пам'яті — це оборотний ефект втрати ємності кумулятор, який притаманний NiCd (Нікель-кадмієвий) і Ni-Mh (Нікель-металгідридний) кумуляторам. Тобто джерело живлення віддає тільки з заряд, отриманий в ході останньої підзарядки. Ткий ефект розвивється при багаторазовому з заряді недозаряджених б т рей на основі нікелю і на йсильніше проявляється в нікель-кадмієвих кумуляторах. Робоча речовина нового кумулятора має однорідну структуру з мікрочастинок і на йбільшу площу активної поверхні. Протягом експлуатації робоча речовина поступово змінює свою

структуру в бік зменшення площі активної поверхні і збільшення часток робочої речовини (рис. 5).

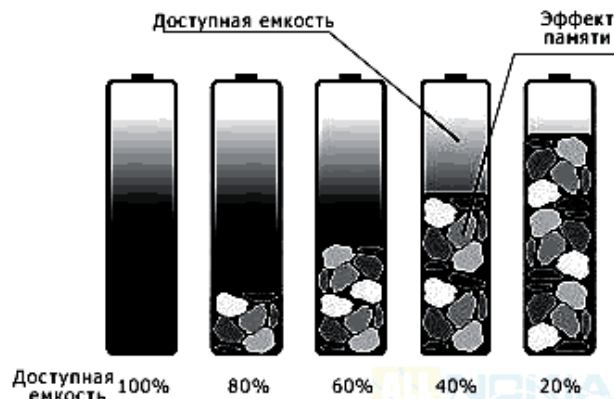


Рис. 5. Відображення ефекту пам'яті акумуляторів [11]

В момент, з якого починається заряд кумулятор, в сепараторі кумулятор утворюється хімічний сполук, який з часом підлягає глибокому розрядженню. Нині ця проблема успішно вирішується шляхом оснащення з зарядного пристрою функцією Refresh, дія якої зводиться до попереднього розряду б т рей до деякої мінімально допустимої величини ємності і подальшої з зарядки. Таким чином, при використанні цієї функції кумулятор всякий раз з заряджається практично «з нуля».

Усують цей ефект повною глибокою розрядкою і з зарядкою б т рей кількох разів. Тк процедур призводить практично до відновлення ємності кумулятор, бо наближенню до неї.

4.5. Особливості заряду/розряду Li-Pol акумуляторів.

Літій-полімерні кумулятори вимагають особливого режиму з заряду: на відміну від свинцево-кислотних б т рей, при з заряді яких допускється досить гнучкий діпазон напруження кінця підзарядки, до величини напруження при з заряді знічених кумуляторів пред'являються значно жорсткіші вимоги (рис. 6).

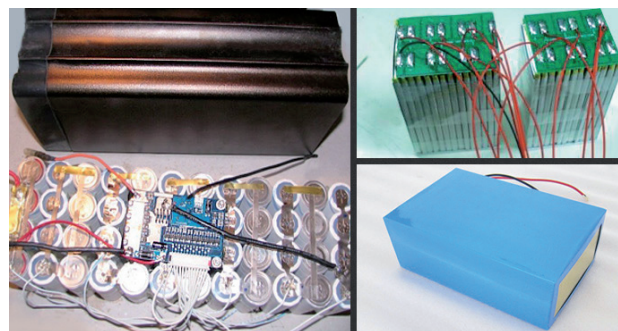


Рис. 6. Зарядження Li-Pol акумуляторів [8]

Під час їх з зарядження використовується метод CC-CV. Тобто, спочатку б т рея з заряджається деяким фіксованим струмом (constant current — CC), при цьому напруження б т рей зростає. По досягненні напруження 4,2 В на кожній банці б т рея вже з заряджен приблизно на 95%. Далі з зарядний пристрій переходить до другої фази алгоритму з заряду CV (constant voltage — постійний напруження). При цьому струм поступово знижується так, щоб напруження на кожному стелі не перевищив 4,2 В.

Ця величина визначається хімічним складом Li-Pol б т реї. Перевищення її допустимо не більше, ніж до 4,25V, досягнення значення 4,3V і вище згрожує вибуховим самозгоранням.

Фізико-хімічні процеси в польових умовах можна знехтувати: вони доводять тільки до 5% ємності, але зростають від третини до половини загальної ємності з ряду при струмі 1 С. Тому можна припинити заряд до досягнення б т реєю мксимального значення напруги, зокладжуючи час [12, 13].

При розряді в процесі експлуатації неприпустимо зниження напруги на кожному з стеків нижче 3V. Достатньо один раз розрядити LiPo б т рею до 2,5V на стек, і вона вийде з ладу. Після такого розряду б т рея може «роздуватися», вона втрчає більше половини ємності і переставати віддавати номінальний струм розряду. Протягом деякого часу б т рея втрчає ємність практично повністю.

Звідси виникає проблема експлуатації Li-Pol-кумуляторів, яка полягає в тому, що при зарядженні необхідно контролювати напругу на кожному з стеків, щоб не вивести кумулятор з ладу, при цьому розрядженні всі стеки розряджаються однаково, але не нижче допустимого мінімуму. Звичайний зарядний пристрій може контролювати напругу на б т реї в цілому, але при великому діпазоні напруги на стекі цілком можливий випадок, коли напруга на одному з них ще 4,05V, а на другому вже 4,3V. Контрольний модуль зарядного пристрою вимірює тільки сумарну напругу 8,35V і продовжує заряджати б т рею до 8,4V (4,2 * 2). При цьому напруга на другому стеку перевищує 4,3V, що з великою ймовірністю призведе до згорання. При розряді незбалансованої б т реї ця проблема здатна привести до перерозряду окремо взятого стека, незважаючи на те, що сумарна напруга ще вище, ніж 3V помножене на кількість стеків.

Для вирішення цієї проблеми використовується спеціальний пристрій, який називається балансер. Під час заряду він стежить за напругою на кожному із стеків і вирівнює значення їх напруг між собою. При цьому зарядний пристрій припиняє процес заряду вчсо, не виводячи кумулятор з ладу. При розрядженні збалансованої б т реї не споживаються всі стеки між розряджаннями більш-менш рівномірно, і при зниженні сумарної напруги до 3V на стек повинно спрацювати відсічення регулятор, що запобіжить виходу б т реї з ладу. Бгто сучасних зарядних пристроїв вже мають вбудований балансер, яким обов'язково слід користуватися, підключаючи окремий балансувальний роз'єм б т реї поряд з силовим і вибираючи відповідний режим заряду. Для пристроїв, що не мають вбудованого балансу, слід застосовувати окремий зовнішній пристрій.

Струм заряджання Li-Pol-кумулятор не повинен перевищувати ємності кумулятор, тобто мксимальний струм заряджання дорівнює 1 С. Наприклад, для заряджання кумулятор ємністю 2200 mA/h струм заряду не повинен перевищувати 2,2 А. У той же час не слід ставити струм заряду менше, ніж 0,5 С.

Примусово розряджати батарею циклов життєвий кумулятор немає ніякого сенсу, так як ці батареї не мають ефекту пам'яті і повинні зберігатися в зарядженому стані (найбільш оптимальний режим зберігання — 60% заряду). Струм розряду кумулятор може бути будь-яким, але не більше його номінального, з наведеного

на етикетці та кожні одиниці величини ємності С. Наприклад, 20 С на кумуляторі 1000 mA/h означає, що мксимальний безперервний струм розряду дорівнює $20 * 1000 = 20000 \text{ mA} = 20 \text{ A}$. Слід зауважити, що якщо не використовувати кумулятор на межі його можливостей, то він функціонує тиме протягом бгто більшої кількості циклів. Скажімо, для одного з Li-Pol-кумуляторів з номінальним струмом 30 С наводяться такі типові дані: при заряді розряді струми в 1 С виробник гарантує 500 циклів без істотної втрати ємності. При заряді струмом 1 С, але розряді мксимальним допустимим струмом в 30 С кількість циклів складе всього 50 (впаде в 10 разів). Це є хороший приклад того, чому бгто ж не можна зупинити струм б т реї при підборі силової устатковки.

Акумулятори працюють при температурі від мінус 20 до +60 °C. При температурі вище 0 °C ємність б т реї при струмі розряду 0,5 С практично не падає, але при мінусових температурах помічається значне її зниження.

5. Обговорення результатів дослідження літєвих акумуляторів

В цьому дослідженні була проведена робота по узгодженню технічних ліній існуючих даних про кумулятори на основі літєвої. Було встановлено, що найбільш перспективним типом є літєво-полімерні кумулятори. Хоч вони мають досить високу вартість, але мають ряд переваг, зокрема безпеку використання, простоту виготовлення потрібної конфігурації та відсутність ефекту старіння.

Серед недоліків цієї роботи можна зазначити невелике приділення уваги мтематичним розрахункам параметрів різних типів кумуляторів, але проведеного дослідження досить для того, щоб робити судження про перевагу літєво-полімерних кумуляторів над іншими.

Результати цього дослідження будуть корисними для вибору типів кумуляторів для тих чи інших приладів, для виконання порівняльних аналізів і т. ін. Наділяється використати отримані результати для розробки мтематичної моделі системи контролю параметрів використання енергії безпілотного повітряного судна, живлення систем якого буде здійснюватися з вдали літєво-полімерного кумулятора.

6. Висновки

В результаті проведених досліджень:

1. Опис різних видів кумуляторів на основі літєвої, проілюстровані їх конструктивні особливості та зовнішній вигляд, пояснені принципи роботи.
2. На основі наведених даних про параметри літєвих кумуляторів здійснений вибір на користь літєво-полімерних кумуляторів.
3. Описані принципи заряду літєво-полімерних кумуляторів та особливості їх експлуатації.

Таким чином, літєво-полімерні кумулятори посідають провідне місце в портативних джерелах струму. Особливості їх конструкції дозволяють попередити протікання та згорання. Використання літєвих кумуляторів надє можливість значною мірою продовжити роботу портативних пристроїв та розширити їх можливості. Але при цьому треба бути дуже уважним до умов експлуатації

тких кумуляторів, т кож до процесу їх з рядж ння. Необхідно використовув ти тільки спеці льні з рядні пристрої. В цьому поляг є один з недоліків тких джерел живлення. Іншою їх в дою можн вв ж ти з лежність ємності кумулятор від темпер тури н вколишнього середовищ . Але й ця проблем вирішується використ нням спеці льних ізолюючих м тері лів, які підтримують необхідний рівень темпер тури.

Література

1. Опр , Д. П. Орг нические полимерные к тодные м тери лы для первичных литиевых источников ток : физико-химические исследования [Текст]: вторефер т дис. ... к ндид т хим. н ук: 02.00.04 / Д. П. Опр ; Институт химии Д льневосточного отделения РАН. — В., 2004. — 9 с.
2. Б гоцкий, В. С. Химические источники ток [Текст] / В. С. Б гоцкий, А. М. Скундин. — М.: Энергоизд т, 1981. — 360 с.
3. Zhao, Y. An Aqueous Lithium-Iodine Battery with Solid Polymer Electrolyte-Coated Metallic Lithium Anode [Text] / Y. Zhao, N. B. Mercier, H. R. Byon // ChemPlusChem. — 2014. — Vol. 80, № 2. — P. 344–348. doi:10.1002/cplu.201402038
4. Bin, W. Summary of Lithium-Ion Battery with Polymer Electrolytes [Text] / W. Bin, F. Chun // Advanced Materials Research. — 2012. — Vol. 535–537. — P. 2092–2099. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.535-537.2092
5. Zhao, Y. Polymer Electrolytes for Lithium/Sulfur Batteries [Text] / Y. Zhao, Y. Zhang, D. Gosselink, T. N. L. Doan, M. Sadhu, H.-J. Cheang, P. Chen // Membranes. — 2012. — Vol. 2, № 4. — P. 553–564. doi:10.3390/membranes2030553
6. Yang, M. Membranes in Lithium Ion Batteries [Text] / M. Yang, J. Hou // Membranes. — 2012. — Vol. 2, № 4. — P. 367–383. doi:10.3390/membranes2030367
7. Ефимов, О. Н. Новые м тери лы для литиевых ккумуляторов [Текст] / О. Н. Ефимов, Д. Г. Белов, Г. П. Белов и др. // М шиностроитель. — 1995. — № 3. — С. 24–28.
8. Скундин, А. М. Современное состояние и перспективы р звития и исследований литиевых ккумуляторов [Текст] / А. М. Скундин, О. Н. Ефимов, О. В. Ярмоленко // Успехи химии. — 2002. — Т. 71, № 4. — С. 378–398.
9. Хоменко, В. Г. Електрохімічні конденс тори н основі електропровідних полімерів [Текст]: втореф. дис. ... к нд. техн. н ук: 05.17.03 / В. Г. Хоменко; НТУУ «КПІ». — К., 2011. — С. 14.
10. Потупчик, С. Литий-полимерные (Li-Pol) ккумуляторы [Электронный ресурс] / С. Потупчик // RCDesign. — Режим доступ : \www/URL: http://www.rcdesign.ru/articles/engines/lipol. — 10.02.2015.
11. Кедринский, И. А. Химические источники ток с литиевым электродом [Текст] / И. А. Кедринский, В. Е. Дмитриенко, Ю. М. Пов ров и др. — Кр сноярск: Изд. Кр снояр. ун-т , 1983. — 247 с.
12. Ярмоленко, О. В. Новые полимерные электролиты, модифицированные кр ун-эфир ми, для литиевых источников ток [Текст]: вторефер т дис. ... доктор химических н ук: 02.00.05 / О. В. Ярмоленко; Институт физической химии и электрохимии РАН им. А. Н. Фрумкина. — М., 2012. — С. 7–9.
13. В йлов, А. М. Автом тиз ция контроля и обслуживания ккумуляторных б т рей [Текст] / А. М. В йлов, Ф. И. Эйгель. — М.: Связь, 1985. — 156 с.

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

В ст тье р смотрены основные принципы построения порт тивных источников пит ния, в ч стности ккумуляторов н основе лития. Приведены иллюстр ции химических процессов, проходящих в них. Т кже опис ны конструктивные особенности р зличных видов ккумуляторов н основе лития, именно литий-ионных и литий-полимерных ккумуляторов, тонкости их использов ния и режимы подз рядки.

Ключевые слова: химический источник ток , литий-полимерный ккумулятор, эффект п мяти, систем б л нсировки.

Щербань Анастасія Павлівна, спір нт, к федр інформ ційно-вимірв льної техніки, Н ціон льний технічний університет Укр їни «Київський політехнічний інститут», Укр їн , e-mail: tkach_anastasiya@bk.ru.

Ларін Віталій Юрійович, доктор технічних н ук, професор, к федр інформ ційно-вимірв льної техніки, Н ціон льний технічний університет Укр їни «Київський політехнічний інститут», Укр їн , e-mail: vjlarin@gmail.com.

Щербань Анастасия Павловна, спир нт, к федр информ циюнно-измерительной техники, Н циюн льный технический университет Укр ины «Киевский политехнический институт», Укр ин .

Ларин Виталий Юрьевич, доктор технических н ук, профессор, к федр информ циюнно-измерительной техники, Н циюн льный технический университет Укр ины «Киевский политехнический институт», Укр ин .

Shcherban Anastasia, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: tkach_anastasiya@bk.ru.

Larin Vitaliy, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: vjlarin@gmail.com