

Щербань А. П.,
Ларін В. Ю.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ РОЗРЯДУ АКУМУЛЯТОРА

Обґрунтовано необхідність використання системи контролю і управління для акумуляторів на основі літію, зокрема літій-полімерних. Запропонована елементна база з можливістю вбудовування або окремого розміщення елементів від корпусу літій-полімерних акумуляторних батарей. Приведені схема побудови обмежувача розряду акумулятора для джерела безперебійного живлення та схема індикатора заряду акумуляторної батареї на операційних підсилювачах, як одні з варіантів побудови схем контролю та управління літій-полімерними акумуляторними батареями.

Ключові слова: акумуляторна батарея, хімічне джерело живлення, система контролю, індикатор рівня заряду.

1. Вступ

Акумулятори є електрохімічними системами, в яких реалізуються функції накопичувачів електричної енергії. Їх застосовують в тих випадках, коли, згідно з умовами роботи обладнання, необхідне забезпечення автономного режиму роботи. Наразі акумуляторні батареї різних електрохімічних систем повинні супроводжуватися електронним блоком зі схемою контролю їх параметрів. В батареях на основі літій-іонних і літій-полімерних акумуляторів такий блок має бути присутнім в обов'язковому порядку. Це дозволяє підвищити безпеку експлуатації батареї, реалізувати найбільш ефективні методи заряду, надавати користувачеві безпосередньо або через пристрій, в склад якого входить батарея, інформацію про поточну ємність, час до закінчення заряду або розряду, іншу корисну інформацію і в цілому підвищити експлуатаційні характеристики акумуляторної батареї.

Основна маса виробників дронів (безпілотних повітряних суден) практикують так звані «польоти з фіксованим часом» — тобто користувачу заздалегідь відомий час, протягом якого заряду акумулятора вистачає на якісне виконання роботи і при плануванні вильоту враховують ці дані [1, 2]. Але проблема виникає у випадках, коли погодні умови можуть різко змінитися — акумулятор в цьому випадку різко втрачає рівень заряду і безпілотне повітряне судно (БПС) може не тільки не виконати поставлену задачу, але й зазнати краху. Інша сторона цієї проблеми полягає у тому, що при надмірному розряді або постійному недорозряді акумулятор втрачає свої властивості і його строк служби значно скорочується.

Саме на вирішення цих проблем направлено дане дослідження. Необхідно розробити схему контролю розряду акумулятора, яка буде відповідати технічним потребам і конструктивним особливостям використання у складі БПС.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом даного дослідження є літій-полімерні акумуляторні батареї (АБ), що володіють високими питомими

енергетичними показниками, високим рівнем напруги і зниженим саморозрядом. Однак при використанні літій-полімерних АБ неприпустимі наступні:

- надмірні струми заряду або розряду;
- коротке замикання;
- перезаряд акумуляторів вище або нижче певних рівнів напруги;
- перевищення максимально допустимого значення температури акумуляторів.

Недотримання цих вимог може призвести до виникнення аварійних ситуацій.

Літій-полімерні акумуляторні батареї (ЛПАБ) допускають формування паралельних ланцюжків з n акумуляторів для забезпечення необхідної ємності. Необхідна напруга ЛПАБ забезпечується послідовним з'єднанням окремих акумуляторів або ланцюжків. Таким чином, приєднанням акумуляторів по паралельно-послідовній схемі можлива побудова ЛПАБ заданої ємності і напруги. Однак кожен акумулятор або кожен ланцюжок паралельно з'єднаних акумуляторів вимагають певного контролю. При заряджанні ЛПАБ з послідовно з'єднаних акумуляторів (або послідовно з'єднаних ланцюжків з n паралельних акумуляторів) заряд окремих елементів відбувається нерівномірно, що викликано технологічними розбіжностями внутрішніх опорів акумуляторів, або нерівномірним зниженням ємності акумуляторів внаслідок їх старіння в процесі експлуатації. Акумулятори зі зниженою ємністю або високим внутрішнім опором мають тенденцію до великого коливання значень напруги під час заряду і розряду. При строго фіксованих кінцевих напругах заряду і розряду для окремого акумулятора різниця від циклу (заряд-розряд) до циклу буде збільшуватися і призводити до поступово зростаючого недозаряду і недорозряду ЛПАБ, тобто, фактично до зниження ємності [3].

При заряді і розряді необхідно забезпечувати захист акумуляторів від перегріву. Для зручності експлуатації споживачу або системі, до складу якої входить ЛПАБ, бажано отримувати інформацію про експлуатаційні характеристики ЛПАБ, основною з яких є її ємність (резервна і номінальна). Пряме вимірювання резервної та номінальної ємності пов'язано з безпосереднім розрядом

ЛПАБ, що займає багато часу і вимагає відключення батареї від системи, яка споживає енергію.

Методи оперативної оцінки стану ЛПАБ ґрунтуються на характеристиках, отриманих опосередковано в результаті аналізу параметрів, які можна виміряти досить швидко. Значення вимірюваних параметрів дозволяють оцінити технічний стан і спрогнозувати значення резервної та номінальної ємності акумуляторної батареї.

Зрозуміло, що методи контролю та оцінки стану повинні бути неруйнівними: без втрат енергії або при малій втраті. Найбільш бажана діагностика одномоментна на протязі самого короткого часу. При такій процедурі у ХДС в уніфікованому для цього стані можуть бути виміряні всі зазначені діагностичні параметри.

Відповідно, необхідність використання системи контролю і управління продиктована необхідністю рішення вищезазначених та інших питань, що виникають в процесі експлуатації ЛПАБ.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – створення імітаційної моделі системи контролю розряду АБ БПС, яка буде відповідати технічним потребам і конструктивним особливостям використання у складі БПЛА.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Дослідити та при необхідності обґрунтувати необхідність використання СКУ для акумуляторних батарей на БПС.
2. Розглянути основні методи побудови СКУ для АБ БПС та існуючу елементну базу.
3. Побудувати варіанти схем контролю рівня розряду АБ БПС в середовищі Multisim.

4. Аналіз літературних даних

Літій – хімічно активний елемент. Він у чистому вигляді відсутній при експлуатації у сучасних акумуляторах, однак при нештатних ситуаціях (надмірні струми заряду або розряду, струми короткого замикання, перезаряд вище або перезаряд нижче певних рівнів напруги на акумуляторах) може виділятися на внутрішніх електродах акумулятора, що в певних випадках може призвести до займання і вибуху.

Літій-полімерні акумулятори по праву заслужили звання «найпримхливіших, небезпечних, недовготривалих», але незважаючи на всі ці недоліки, використання даних акумуляторів в авіамоделному світі стрімко зростає, так як вони мають неперевершений показник питомої (на масу) енергії, а також здатні видавати великі струми розряду. Водночас відсутність рідкого електроліту робить ці акумуляторні джерела струму більш безпечними в експлуатації, ніж літій-іонні акумулятори попередніх поколінь. Так що в моделях з силовою електроустановкою цим акумуляторам, практично, немає поки альтернативи. Суттєвого обмеження в моделі конструктивного виконання ці акумулятори не мають і можуть виготовлятися будь-якої конфігурації. Як правило, зовнішні корпусні частини літій-полімерних батарей виконуються з металізованого полімеру [4, 5].

Для попередження виходу акумулятора з ладу або вибуху при їх заряджанні використовують так звану систему балансирів – пристрій, який контролює і ви-

рівнює напруги (максимально 4,2 V) на кожній секції акумулятора в послідовно з'єднаній батареї. При цьому зарядний пристрій відключить заряд вчасно, не вивільняючи акумулятор з ладу.

В свою чергу при експлуатації АБ бажано використовувати систему контролю та управління [6].

Система контролю і управління (СКУ) – це деякий набір елементів, що забезпечують (в загальному випадку):

- Відстеження заданих параметрів акумуляторів та акумуляторних батарей (наприклад, значення напруги, струму, температури).
- Певний алгоритм функціонування акумуляторної батареї з метою її безпечного використання і підвищення експлуатаційних характеристик (наприклад, аварійне вимкнення акумуляторів від зовнішніх кіл заряду або розряду при надмірних струмах; повторне підключення при встановленні рівнів, що відповідають допустимим).
- Передачу користувачу інформації про значення контрольованих параметрів.
- Можливість зміни налаштувань контрольованих параметрів користувачем.
- Виконання інших функцій для забезпечення оптимальних режимів заряду, розряду, а також споживчих характеристик.

Реалізація необхідних функцій в СКУ може бути забезпечена за допомогою елементної бази загального призначення, або з використанням спеціалізованих мікросхем. Кожен варіант має свої плюси і мінуси [7].

В загальному випадку для реалізації необхідних функцій система повинна включати в себе наступні модулі – датчики температури, вузли вимірювання струму і напруги, АЦП, пристрій обробки інформації від датчиків, пристрій розрахунку ємності ЛПАБ, пристрій управління силовими ключами, що від'єднують блок акумуляторів від полюсів ЛПАБ і зовнішніх кіл заряду-розряду, інтерфейс для зв'язку з зовнішніми пристроями, а також пристрої індикації поточної ємності [8].

В деяких випадках, при реалізації меншої кількості функцій склад і структура СКУ може бути значно простішою.

В спеціалізованих мікросхемах необхідні вузли можуть бути інтегровані в одному або декількох корпусах, наприклад, мікроконтролер ATmega406 фірми Atmel, або пара bq25504, bq20z80 фірми Texas Instruments [9] – це мікросхеми призначені для СКУ батареї з 2–4 послідовно з'єднаних акумуляторів. Вони забезпечують захист акумуляторів від перезаряду, перерозряду, перенавантаження по струму і короткого замикання в зовнішніх колах, виконують вирівнювання зарядів послідовно з'єднаних акумуляторів, здійснюють розрахунок поточної ємності ЛПАБ з урахуванням саморозряду при зберіганні [10].

Для підвищення надійності функціонування Texas Instruments пропонує формувати в СКУ два незалежних канали контролю напруги акумуляторів. З цією метою може бути сформований так званий вторинний рівень захисту на спеціалізованій мікросхемі bq2940x додатково до основного рівня на bq29312 [11]. Мікросхема вторинного рівня захисту формує сигнал для перепалювання одноразового запобіжника, який відключає блок акумуляторів від одного з виводів ЛПАБ у випадку не спрацювання (несправності) схеми захисту першого рівня.

Функціонування менш складних СКУ можуть бути реалізовані, на спеціалізованих мікросхемах, що забезпечують контроль мінімуму необхідних параметрів акумулятора одноелементної ЛПАБ. Тоді варто врахувати те, що силові ключі, що відключають акумулятор від ланцюгів заряду і розряду можуть або входити до складу мікросхеми, або бути зовнішніми. Використання зовнішніх ключів дає можливість застосування СКУ в ЛПАБ з вищими рівнями струму заряду-розряду, а також можливість використання цих ключів для організації ланцюгів захисту акумуляторів за іншими параметрами, наприклад, за температурою [7].

Використання спеціалізованих мікросхем на основі типових схем включення є оптимальним рішенням для створення СКУ ряду акумуляторних батарей відносно невеликої ємності, для високо ємнісних ЛПАБ з високими струмами заряду-розряду необхідне використання елементної бази загального призначення. Функціональні вузли в такому випадку можуть представляти собою окремі конструктивно рознесені блоки, що об'єднані системою управління. В такому випадку треба врахувати наступні моменти:

Енергоспоживання елементної бази повинно бути зведене до мінімуму. У випадку довгого зберігання ЛПАБ бажано мати можливість переведення мікросхем СКУ в «сплячий» режим. Для збільшення часу зберігання ЛПАБ без підзарядки струм споживання СКУ в цілому повинен бути нижчим ніж струм саморозряду ЛПАБ [7].

5. Матеріали і методи досліджень

Елементи СКУ можна умовно розділити на три групи:

1. Елементи, що вбудовані в СКУ. Струм короткого замикання літєвого акумулятора може досягати значення $20-30C_n$ (де C_n — номінальна ємність акумулятора). При короткому замиканні невеликого акумулятора типорозміру 18650 (трохи більше акумулятора типорозміру AA) ємністю $1800 \text{ mA} \cdot \text{ч}$ значення струму становитиме $50-60 \text{ A}$. Для захисту від наслідків протікання таких струмів акумулятори можуть бути (а для використання в авіаційній техніці — повинні бути) оснащені засобами захисту від зовнішніх коротких замикань. Таким засобом захисту може бути запобіжник багаторазової дії (на основі полімерного провідника з позитивним температурним коефіцієнтом опору), призначений для вбудовування в конструкцію акумулятора на етапі виготовлення, як правило, під кришкою.

Під час розробки конструкції акумулятора і в процесі подальшої його експлуатації необхідно врахувати особливості функціонування таких запобіжників.

2. Вбудовані в ЛПАБ елементи СКУ. Можна вважати, що основне призначення запобіжників, що вбудовуються в літєві акумулятори — це захист від можливого короткого замикання до початку експлуатації акумулятора. На відміну від цього, елементи СКУ, вбудовані в ЛПАБ (а також зовнішні елементи СКУ по відношенню до ЛПАБ), призначені для забезпечення заданих безпечних режимів функціонування акумулятора при експлуатації батареї.

До складу ЛПАБ можуть входити також два додаткових елемента — запобіжник та електронний модуль контролю і управління. Перший з них може бути як звичайним плавким запобіжником, так і багаторазовим запобіжником на основі полімерного провідника.

Очевидно, що варто врахувати положення звичайного запобіжника, для можливості його легкої заміни у випадку необхідності. А розташування багаторазового запобіжника повинно бути таким, щоб його нагрівання при спрацюванні не викликало пошкодження акумуляторів і корпусу ЛПАБ.

В деяких випадках для встановлення багаторазового запобіжника в обмеженому внутрішньому просторі ЛПАБ доводиться вирішувати непросту задачу його розташування, що обґрунтовує використання звичайного плавкого запобіжника, який можна замінити. З тих самих причин використання плавкого запобіжника може бути виправдане і в ЛПАБ з великими струмами заряду-розряду, для яких довелося б вмикати паралельно велику кількість багаторазових запобіжників.

Інший важливий елемент СКУ, що входить до складу ЛПАБ, — це електронний модуль контролю і управління, конкретний набір функцій якого визначається вимогами до певної ЛПАБ, що розглядається в складі певного приладу. При цьому ряд функцій може виключатися або передаватися на елементи СКУ, що не входять до складу ЛПАБ. З іншого боку, для високоємнісних ЛПАБ у випадку відповідальних операцій може знадобитися введення додаткових функцій, наприклад:

- контроль внутрішнього опору акумулятора;
- контроль розгерметизації акумулятора;
- вимкнення несправних акумуляторів із блоку акумуляторів з можливістю їх «гарячої заміни»;
- контроль напруг в різних точках паралельного кола у випадку великої кількості паралельно з'єднаних акумуляторів (через можливість великого падіння напруги на струмовідних шинах).

3. Зовнішні елементи СКУ по відношенню до ЛПАБ.

В деяких випадках можливо і необхідно функціонально розділити систему контролю і управління та модуль контролю і управління, що конструктивно входить до складу ЛПАБ, а також елементи, що знаходяться поза корпусом батареї.

Інший приклад — частина СКУ, що виконує вирівнювання зарядів акумуляторів в батареї, і конструктивно може не входити в ЛПАБ і являє собою окремий блок, або входить до складу зарядного пристрою. Таке рішення може бути необхідним при жорстких вимогах до габаритів АБ. Але воно не завжди виправдане, оскільки вимагає введення в кабель, що з'єднує пристрій заряду і ЛПАБ, як мінімум $(n-1)$ додаткових проводів. А при високих струмах заряду і вирівнювання — для виключення впливу падіння напруги на проводах на точність вимірювання напруги — ще $(n+1)$ проводів, де n — кількість послідовно з'єднаних акумуляторів ЛПАБ.

У випадку, коли для вирівнювання зарядів послідовно з'єднаних акумуляторів використовуються спеціалізовані мікросхеми, широко використовується метод шунтування акумулятора, що має більш високу напругу. Для високоємнісних ЛПАБ, що характеризуються струмом заряду від 15 A до 30 A , варто передбачити альтернативні методи вирівнювання зарядів. Окрім цього, для ЛПАБ з великими струмами заряду-розряду необхідне ретельне грамотне конструкторське опрацювання вузлів підключення СКУ до бортів акумуляторів для виключення впливу завад на вимірювальні кола з одного боку і, для виключення негативного впливу вузлів підключення вимірювальних кіл на проходження струму в силових ланцюгах.

6. Результати досліджень

В ході роботи були спроектовані і промодельовані дві найбільш прийнятні схеми обмежувача та індикатора розряду акумулятора. Моделювання проводилося в середовищі програми Multisim 12.0. Схема контролю рівня заряду і обмеження розряду ЛПАБ показана на рис. 1.

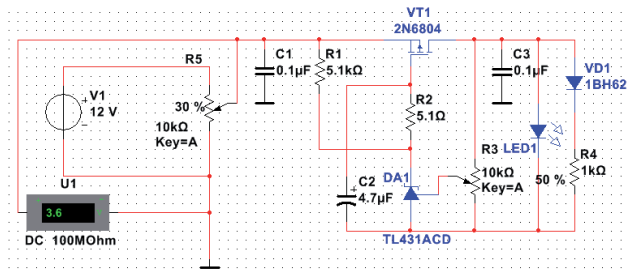


Рис. 1. Схема побудови обмежувача розряду акумулятора

Робота такої схеми проходить наступним чином — на схему надходить напруга а АКБ V1. Коли на вході C1 з'являється напруга, вона починає заряджати емність. В початковий момент заряду затвор польового транзистора виявляється зашунтованим емністю на загальний дріт. Транзистор відкривається, а якщо напруга на АКБ знаходиться вище заданого рівня на компараторі, він залишається відкритим. Якщо напруга нижче рівня, то польовий транзистор закривається. Рівень відключення АКБ від навантаження задається опором R3. По мірі розряду батареї напруга на першому виводі DA1 KR142EN19 буде знижуватись і як тільки вона наблизиться до опорної напруги мікросхеми, близько 2,5 В, почне рости напруга на її третьому виводі, що відповідатиме зниженню напруги на витоку-затворі VT1. Транзистор закриється, що призведе до різкого зниження напруги на першому виводі DA1. Почнеться лавиноподібний процес замикання VT1. У результаті, навантаження буде відключене від АКБ. Струм навантаження, що комутується цим польовим транзистором, може бути збільшений в декілька разів при встановленні транзистора на радіатор.

В даному випадку відбувається індикація попередньо заданого рівня заряду акумулятора з наступним відключенням акумулятора від схеми і підключенням резервного джерела живлення або припинення роботи системи. Але для досліджуваного випадку більш прийнятним буде задання такого рівня заряду акумулятора, при якому робота системи не буде припинена і БПС повернеться на місце призначення без втрати працездатності або отриманих даних.

Для наступної схеми були використані операційні підсилювачі (рис. 2), які значно спрощують конструкцію системи а також стабілізують її роботу. Інформація про ступінь розряду батареї поступає по принципу світлодіодного стовбчика, тобто чим вище напруга на батареї, тим менше світлодіодів загоряється.

В основі конструкції лежать чотири компаратора ідеального операційного підсилювача (ОП), кожний з яких контролює певний рівень напруги.

В якості моделі акумуляторної батареї використаний елемент «батарея» V1 зі спрощеним набором параметрів. Напруга контрольованої батареї встановлено рівним 16 В. Імітація розряду АБ виконується за допомогою регульовального резистора R11. Напруга з контрольованого виводу цього резистора надходить на перший вхід всіх чотирьох компараторів U1-U4 через ланцюжок резисторів R1-R5.

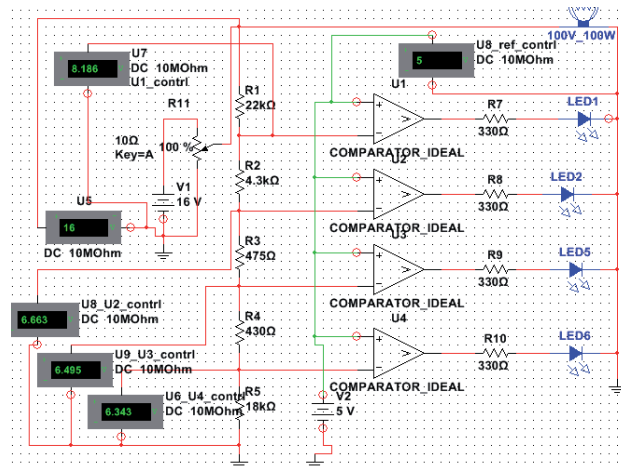


Рис. 2. Схема індикатора заряду ЛПАБ на операційних підсилювачах

Моделі компараторів також взяті ідеальними з мінімальним набором параметрів. Сигнал високого рівня з'являється на виході моделі компаратора при збігу напруг на його обох входах.

Як джерело опорної напруги в моделі, замість стабілітрона, було використано модель другої батареї V2, напруга якої дорівнює 5 В і яка не змінюється. Ця опорна напруга надходить на інші входи чотирьох компараторів. Індикатори різниці потенціалів дозволяють інтерактивно спостерігати поточні значення напруг на вимірних входах при виконанні процесу моделювання.

Початкова напруга моделі АБ була обрана на рівні 16 В. При активації процесу моделювання шляхом зміни значення регульовального опору R11 було поступово зменшене значення заряду АБ, таким чином імітуючи природний процес розряду батареї. Відстеження поточного значення напруги на АБ спостерігатимемо на індикаторі U5. При досягненні значення напруги на цьому маркері рівному 12,598 В, спрацює компаратор U4 (рис. 3), при цьому світлиться червоним кольором маркери моделі світлодіода LED6.

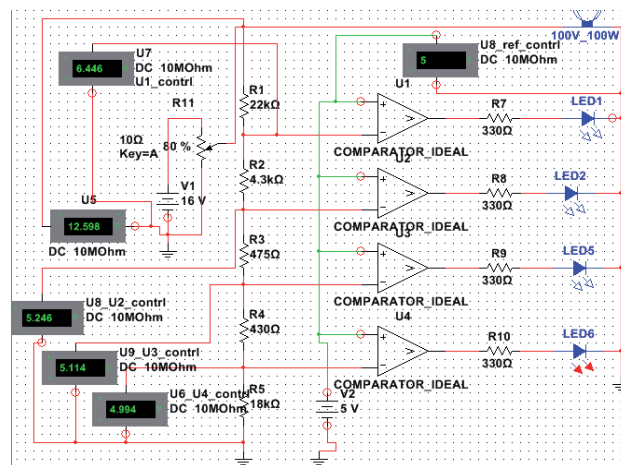


Рис. 3. Відображення моменту спрацювання компаратора U4

Далі продовжуємо зменшувати напругу на моделі АБ і при «розрядному» значенні на маркері U5 рівному 12,269 В спрацює компаратор U3 (рис. 4), і при цьому світлиться червоним кольором маркери моделі світлодіода LED5.

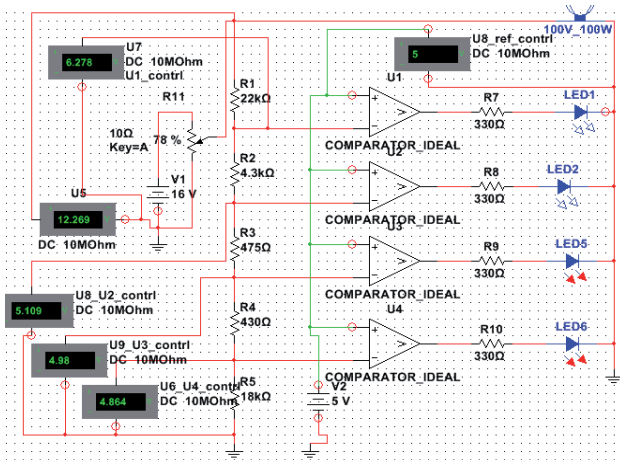


Рис. 4. Відображення моменту спрацювання компаратора U3

Спрацювання наступного в лінійці компараторів, компаратора U2 (рис. 5) відбувається при значенні напруги на маркері U5 рівному 11,942 В, при цьому «вмикається» модель світлодіода LED2.

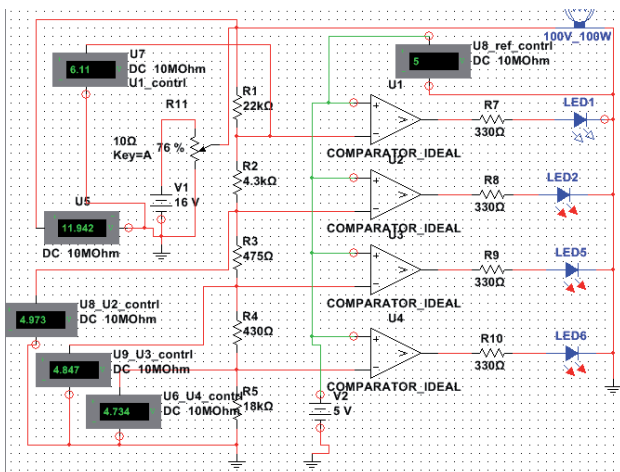


Рис. 5. Відображення моменту спрацювання компаратора U2

Останнім спрацьовує компаратор U1 (рис. 6) при значенні напруги на маркері U5 рівному 9,77 В, що відображається на моделі світлодіода LED1.

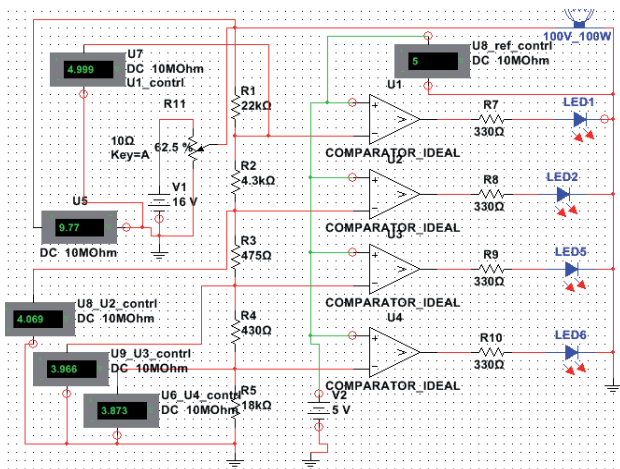


Рис. 6. Відображення моменту спрацювання компаратора U1

Таким чином, шляхом імітаційного моделювання в роботі було підтверджено працездатність запропонованої схеми чотирирохточкового контролю розрядної характеристики АБ.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Використання запропонованих схем в якості контролерів рівня заряду акумулятора значно подовжить використання і строк служби АКБ в складі БПС, а також розширить можливості останніх у виконанні завдань і дальності польотів. Адже контроль ємності (тобто рівня залишкового заряду) акумулятора дає можливість використовувати весь потенціал таких джерел живлення, попереджувати їх передчасне старіння та вихід з ладу у разі виникнення надзвичайних ситуацій, а в деяких випадках і збереження цілісності і функціональних можливостей БПС.

Weaknesses. Слабкі сторони цього дослідження пов'язані з тим, що запропоновані схеми побудовані з використанням ідеальних елементів, яких на практиці немає. Але таких принцип побудови моделі дозволяє відобразити структуру розрядних процесів та алгоритм їх контролю, що з подальшим внесенням похибки дозволить зробити імітаційну модель максимально досконалою.

Opportunities. В якості напрямків подальшої роботи можна визначити інтелектуалізацію процесу імітаційного моделювання та підвищення достовірності моделі, шляхом заміни ідеалізованих моделей елементів на моделі, характеристики яких максимально відтворюють роботу реальних елементів, а також на потребу у розробці уніфікованої методики та інструментів вибору необхідних значень вагових резисторів R1-R5.

Threats. Основними загрозами на шляху впровадження даного дослідження може бути використання закордонних аналогів готових мікросхем, а також побудова на їх основі схем контролю розряду літій-полімерних акумуляторів. Але такі схеми є досить дорогими, що підвищує рентабельність запропонованого дослідження і робить його достатньо актуальним в сучасних умовах.

8. Висновки

1. Обґрунтовано необхідність використання СКУ для акумуляторних батарей на БПС, яка обумовлена конструктивними та технічними особливостями літій-полімерних акумуляторів, а також жорсткими умовами використання АБ на БПС в режимі експлуатації.

2. Досліджено основні методи побудови СКУ для АБ БПС та існуючу елементну базу. В результаті чого виявлено широкий спектр мікросхем спеціального призначення, які можуть бути використані в СКУ для АБ. Основною функцією переважної більшості з таких мікросхем є сигналізація про повне розрядження батареї, а не контроль поточного стану АБ та рівня її розряду.

3. Побудовано два варіанти схем контролю рівня розряду АБ БПС в середовищі Multisim. Дані схеми мають переваги у простоті конструкції, легкості застосування, оптимальному енергоспоживанні, а також у можливості неруйнівного контролю в режимі реального часу заряду АКБ БПС. На відміну від існуючих методів контролю використання таких схем дозволить не приблизно (завчасно пороховано), а з досить великою точністю відобразити процес розряду акумулятора

в умовах польоту і керувати роботою БПС відповідно до виявлених показників.

Література

1. Дрон-почтальон Drone.UA и Новая Почта в галерее инноваций HUB 4.0 [Электронный ресурс] // Drone.UA. — 15.05.2016. — Режим доступа: \www/URL: http://drone.ua/delivery-drone/
2. Красномоєв, П. «Укрпочта» провела тестову доставку посылки с помощью израильского дрона [Электронный ресурс] / П. Красномоєв // AIN.ua. — 01.06.2016. — Режим доступа: \www/URL: http://ain.ua/2016/06/01/652147/
3. Багоцкий, В. С. Химические источники тока [Текст] / В. С. Багоцкий, А. М. Скудин. — М.: Энергоиздат, 1981. — 360 с.
4. Ефимов, О. Н. Новые материалы для литиевых аккумуляторов [Текст] / О. Н. Ефимов, Д. Г. Белов, Г. П. Белов и др. // Машиностроитель. — 1995. — № 3. — С. 24–28.
5. Потупчик, С. Литий-полимерные (Li-Pol) аккумуляторы [Электронный ресурс] / С. Потупчик // RCDesign. — 06.05.2009. — Режим доступа: \www/URL: http://www.rcdesign.ru/articles/engines/lipol/. — 10.05.2016.
6. Скудин, А. М. Современное состояние и перспективы развития и исследований литиевых аккумуляторов [Текст] / А. М. Скудин, О. Н. Ефимов, О. В. Ярмоленко // Успехи химии. — 2002. — Т. 71, № 4. — С. 378–398.
7. Вайлов, А. М. Автоматизация контроля и обслуживания аккумуляторных батарей [Текст] / А. М. Вайлов, Ф. И. Эйгель. — М.: Связь, 1985. — 156 с.
8. Lin, C.-H. A Li-Ion Battery Charger With Smooth Control Circuit and Built-In Resistance Compensator for Achieving Stable and Fast Charging [Text] / C.-H. Lin, C.-Y. Hsieh, K.-H. Chen // IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers. — 2010. — Vol. 57, № 2. — P. 506–517. doi:10.1109/tcsi.2009.2023830
9. Chen, J.-J. A High-Efficiency Multimode Li-Ion Battery Charger With Variable Current Source and Controlling Previous-Stage Supply Voltage [Text] / J.-J. Chen, F.-C. Yang, C.-C. Lai, Y.-S. Hwang, R.-G. Lee // IEEE Transactions on Industrial Electronics. — 2009. — Vol. 56, № 7. — P. 2469–2478. doi:10.1109/tie.2009.2018435
10. Hwang, Y.-S. New Li-Ion Battery Charger Based on Charge-Pump Techniques [Text] / Y.-S. Hwang, S.-C. Wang, F.-C. Yang, J.-J. Chen, W.-T. Lee // Processing of International Conference on Communications, Circuits and Systems. — 2006. — Vol. 4. — P. 2259–2262. doi:10.1109/icccas.2006.285128
11. Solero, L. Design of Multiple-Input Power Converter for Hybrid Vehicles [Text] / L. Solero, A. Lidozzi, J. A. Pomilio // IEEE Transactions on Power Electronics. — 2005. — Vol. 20, № 5. — P. 1007–1016. doi:10.1109/tpel.2005.854020

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА РАЗРЯДА АККУМУЛЯТОРА

Обоснована необходимость использования дополнительной системы контроля и управления для аккумуляторов на основе лития, в частности литий-полимерных. Предложена элементная база с возможностью встраивания или отдельного размещения элементов от корпуса литий-полимерных аккумуляторных батарей. Приведены схема построения ограничителя разряда аккумулятора для источника бесперебойного питания и схема индикатора заряда аккумуляторной батареи на операционных усилителях, как одни из вариантов построения схем контроля и управления литий-полимерных аккумуляторных батарей.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, химический источник тока, система контроля, индикатор уровня заряда.

Щербань Анастасія Павлівна, аспірант, кафедра інформаційно-вимірювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна, e-mail: tkach_anastasiya@bk.ru.

Ларін Віталій Юрійович, доктор технічних наук, професор, кафедра інформаційно-вимірювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна.

Щербань Анастасія Павлівна, аспірант, кафедра інформаційно-вимірювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна.

Ларін Віталій Юрійович, доктор технічних наук, професор, кафедра інформаційно-вимірювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна.

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

Larin Vitaliy, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

УДК 621.316.93

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.86137

**Троценко Є. О.,
Бржезицький В. О.,
Маслюченко І. М.**

МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНОГО ОБМЕЖУВАЧА ПЕРЕНАПРУГ В MICRO-CAP

Приведені результати схематичного моделювання нелінійного обмежувача перенапруг за допомогою демонстраційної версії Micro-Cap. Описані два способи моделювання нелінійних обмежувачів перенапруг. В першому використовується модель функціонального джерела струму, що керується напругою, а в другому використовується модель джерела напруги, що керується струмом. Визначено залишкову напругу на захисному апараті при протіканні крізь нього стандартного струму блискавки. Отримані моделі можуть бути використані в розрахунках грозозахисту електрообладнання.

Ключові слова: схематичне моделювання, нелінійний обмежувач перенапруг, залишкова напруга, грозозахист.

1. Вступ

На даний час нелінійні обмежувачі перенапруг (ОПН) стали основними засобами захисту ізоляції обладнання

електричних станцій, підстанцій та мереж напругою 6–750 кВ змінного струму від перенапруг, майже повністю замінивши собою вентиляльні розрядники. Разом з тим, ефективність використання ОПН в мережах різних