

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Комп'ютерні технології і системи
(назва факультету)

Автоматика і телекомунікації
(повна назва кафедри)

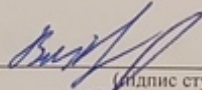
Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження системи управління літєвою батареєю у резервних джерелах електроживлення (комплексна)

за освітньою програмою: Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва

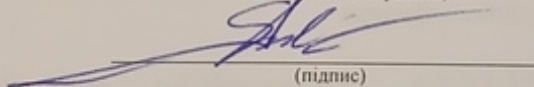
зі спеціальності: 174. Автоматизація комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент Виходець Станіслав Валентинович групи: АТ2322


(підпис студента)

/ Станіслав ВИХОДЕЦЬ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

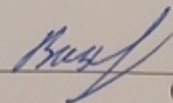
Керівник:


(підпис)

/ Зав. каф. Володимир ГАВРИЛЮК /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Computer technologies and systems

(faculty)

Automation and telecommunications

(department)

Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Research on the lithium battery management system in backup power sources (comprehensive)

according to educational curriculum “Computer-integrated technological processes and production”

in the Speciality: 174. Automation, computer-integrated technologies and robotics

(speciality and its code)

Done by the student of the group: AT2322 / Stanislav VYKHODETS /

Dnipro – 2025

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

факультет: Комп'ютерних технологій і систем

кафедра: Автоматика та телекомунікації

рівень вищої освіти: Магістр

освітня програма: Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва

спеціальність: Автоматизація комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри д.ф.-м.н, професор

_____ Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____ 2025 _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

_____ Магістр

(ступінь вищої освіти)

студенту

_____ Виходець Станіславу Валентиновичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема Дослідження системи управління літєвою батареєю у
роботи: резервних джерелах електроживлення (комплексна)

Керівник роботи: Гаврилюк Володимир Ілліч д.ф.-м.н., професор

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

"22"01 2025 р.

№ _____

2. Строк подання студентом 15.01.2025 р.

роботи:

3. Вихідні дані до

роботи:

_____ Дослідження системи управління літєвою батареєю у резервних джерелах
електроживлення (комплексна)

1. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

1.1 Аналітична частина: Аналіз літератури за напрямом досліджень.
постановка мети і завдань дослідження

1.2 Моделювання пристрою резервного живлення

1.3 Розробка пристрою управління зарядом літєвої батареї

1.4 Дослідження системи управління зарядом літєвої батареї

2. Висновки за виконаною роботою

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан проблеми. Постановка мети та завдання досліджень	02.10.2024	
2	Дослідження системи управління зарядом літєвої батареї	20.11.2024	
3	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	03.01.2025	
4	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	23.01.2025	

Студент

_____ (підпис)

Станіслав ВИХОДЕЦЬ

_____ (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Володимир ГАВРИЛЮК

_____ (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:
(рівень освіти)

70 стр., 42 рис., 6 табл., 0 додатки, 24 джерела.

Об'єкт розробки – дослідження та розроблення системи управління літієвою батареєю у резервних джерелах електроживлення.

Мета роботи – розроблення системи управління літієвою батареєю у резервних джерелах електроживлення та дослідження її роботи. Літієві батареї застосовуються у пристроях різного типу – від портативних джерел живлення та безперебійників до великих стаціонарних систем, що забезпечують електропостачання великих об'єктів та критичної інфраструктури.

Методи дослідження – експериментальне дослідження різних типів акумуляторів. Аналіз рекомендованого алгоритму зарядки літієвих акумуляторів, обрання інтегральних мікросхем, які дозволяють здійснити необхідний алгоритм та проведення дослідження пристрою на комп'ютерній моделі та на фізичній моделі шляхом безпосереднього вимірювання.

Ключові слова: Li-ion, БЖД, акумулятор, Offline БЖД або Standby БЖД, STBC08, STC4054, Line-Interactive БЖД, On-Line БЖД

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	2
ВСТУП	4
1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА НАПРЯМОМ ДОСЛІДЖЕНЬ. ПОСТАНОВКА МЕТИ І ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1. Резервні джерела електроживлення	7
1.2. Сучасні літій-іонні акумулятори. Типи і конструкція	14
1.3. Параметри основних типів літій-іонних акумуляторів	24
1.4. Огляд існуючих методів зарядження літєвих акумуляторів	33
1.5. Висновки. Мета та завдання роботи.	40
2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ	42
2.1 Короткий опис системи для моделювання.	42
2.2. Модель підсистеми зарядження батареї від сонячної паналі.	43
3. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ УПРАВЛІННЯ ЗАРЯДОМ ЛІТЄВОЇ БАТАРЕЇ.....	47
3.1. Алгоритм зарядження літєвих акумуляторів.	47
3.2. Вибір мікросхеми для пристрою зарядки	49
3.3. Пристрої зарядження літєвих акумулятора.....	59
3.4. Висновки за розділом. Постановка мети та завдань роботи	61
4. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАРЯДОМ ЛІТЄВОЇ БАТАРЕЇ	64
4.1. Коротка характеристика пристрою для дослідження	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	67
ЛІТЕРАТУРА	68

ВСТУП

Резервні джерела електропостачання (РЕ), що працюють на літєвих батареях, стають все більш популярними завдяки надійності, високій щільності енергії та тривалому терміну служби цих акумуляторів. Літєві батареї застосовуються у пристроях різного типу – від портативних джерел живлення та безперебійників до великих стаціонарних систем, що забезпечують електропостачання великих об'єктів та критичної інфраструктури.

Розглянемо основні аспекти таких систем: їх переваги, недоліки та сфери застосування.

1. Переваги літєвих резервних джерел електропостачання

- Висока щільність енергії

Літєві батареї мають високу щільність енергії в порівнянні з традиційними акумуляторами, такими як свинцево-кислотні. Це означає, що при однакових габаритах літєві батареї можуть зберігати більше енергії, що дозволяє створювати більш компактні та потужні системи електропостачання.

- Тривалий термін служби та циклічна стабільність

Літєві батареї здатні витримувати велику кількість циклів заряд-розряд (до 5000 циклів і більше) за мінімальної деградації ємності, що робить їх економічно вигідними на тривалому часовому відрізку. Літій-іонні та літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄) батареї особливо стабільні, забезпечуючи тривалий термін служби без значних втрат ємності, що критично для резервних систем.

- Швидка зарядка та високий ККД

Літєві батареї підтримують високу швидкість заряджання, що важливо для резервних джерел, де потрібне оперативне відновлення готовності до роботи після вимкнення. ККД літєвих акумулятора може досягати 95%, що дозволяє мінімізувати втрати енергії та знижувати тепловиділення.

- Безпека та надійність

Хоча літієві батареї мають високу щільність енергії, сучасні технології виробництва забезпечують високий рівень безпеки, запобігаючи перегріву, займанню та коротким замиканням. Додаткові системи керування акумуляторами (BMS) стежать за станом елементів, контролюють температуру та напругу, що підвищує безпеку таких систем.

2. Недоліки літієвих резервних джерел електропостачання

- **Висока вартість**

Вартість літієвих акумулятора, як і раніше, вища порівняно зі свинцево-кислотними аналогами, що збільшує початкові витрати на встановлення резервних джерел електропостачання. Однак цей недолік компенсується тривалим терміном служби та низькими експлуатаційними витратами, що робить такі системи економічно вигідними на тривалому терміні експлуатації.

- **Температурні обмеження**

Літієві батареї чутливі до екстремальних температур. При високих температурах вони можуть перегріватись і втрачати ємність, а за низьких зменшується швидкість заряджання та розряджання. Це потребує додаткових систем охолодження та обігріву, що збільшує вартість та складність резервних джерел електропостачання.

- **Утилізація та переробка**

Питання утилізації літієвих акумулятора досі залишається актуальним, оскільки процес переробки складний і потребує великих витрат. Хоча літієві батареї піддаються вторинній переробці, відсутність добре розвиненої інфраструктури утилізації може призвести до екологічних проблем.

Літієві БЖД широко використовуються в телекомунікаційних центрах, медичних установах, фінансових та урядових організаціях, де потрібні надійні джерела енергії для підтримки безперервності роботи обладнання. Літієві БЖД

забезпечують стабільне електропостачання при коротких перебоях і дозволяють системам перейти на резервні генератори за тривалого відключення.

Для переносних пристроїв, таких як портативні зарядні станції, літієві батареї забезпечують високу ємність за компактних розмірів. Ці системи стають все більш популярними для туристів, кемперів та на будівельних майданчиках, де немає стаціонарного електропостачання. Портативні літієві батареї легко транспортуються та можуть заряджатися від сонячних панелей.

Літієві батареї знаходять застосування в домашніх системах накопичення енергії, де вони використовуються для зберігання енергії від сонячних панелей або вітрогенераторів. Ці системи дозволяють зберігати надмірну енергію в пікові моменти виробництва та використовувати її у нічний час або при відключенні мережі.

Літієві резервні джерела електропостачання є перспективним напрямом, який поєднує високу енергоємність, надійність і довговічність. Вони мають широку сферу застосування від портативних пристроїв до масштабних систем для промислових і комерційних потреб. Основні виклики для їх подальшого розповсюдження включають зниження вартості та розвиток інфраструктури для безпечної утилізації. У найближчому майбутньому, з урахуванням зниження цін на літієві батареї та покращення технологій переробки, ці системи можуть стати основним стандартом у галузі резервного електропостачання.

1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА НАПРЯМОМ ДОСЛІДЖЕНЬ. ПОСТАНОВКА МЕТИ І ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Резервні джерела електроживлення

Джерела безперебійного живлення та принципи їх роботи

Джерело безперебійного живлення (БЖД) – це резервна система, що забезпечує живлення у разі збою електромережі. Забезпечуючи адекватний час для безпечного відключення чутливого обладнання, БЖД допомагає запобігти втраті даних та мінімізує навантаження від повного відключення електроніки. Додатково в залежності від моделі БЖД захищають підключені пристрої від звичайних проблем з живленням і небезпечних коливань вихідної напруги.

При відключенні електроенергії БЖД негайно перемикається на роботу від акумулятора, щоб забезпечити безперервне джерело живлення протягом усього робочого часу від акумулятора. Тривалість роботи залежить від споживаної потужності та ємності акумулятора.

Крім резервного живлення БЖД також забезпечують різний захист від інших шкідливих проблем із живленням, зокрема провалів напруги, стрибків напруги, перебоїв у нарузі, перешкод у мережі, коливань частоти, умов перенапруги та перехідних процесів перемикання та гармонійних спотворень.

Розрізняють три системи БЖД:

Резервний БЖД також називається Offline БЖД або Standby БЖД джерело безперебійного живлення або автономний БЖД – є найпоширенішим типом БЖД, що застосовуються в основному для дому та офісу. Пристрій споживає струм з розетки та перемикається на живлення від батареї протягом кількох мілісекунд після виявлення збою живлення. Зазвичай використовується для короткочасного живлення від акумулятора під час відключення електроживлення. Ця категорія БЖД є найдешевшою із трьох типів

безперебійних джерел живлення. Час перемикання відбувається у мілісекундах після збою. Час перемикання не миттєво, але зазвичай не повинен переривати потік електроенергії на обладнання.

Лінійно-інтерактивний (Line-Interactive БЖД) джерело безперебійного живлення взаємодіє з лінією живлення змінного струму, згладжує форми хвиль та коригує зростання та падіння напруги. У лінійно-інтерактивному БЖД джерело електроенергії є першою лінією живлення, проте технологія інвертора/конвертора дозволяє заряджати батарею пристрою під час нормальної роботи. При відключенні струму БЖД перетворює енергію батареї на потік змінного струму для живлення обладнання. Пристрої лінійно-інтерактивної класифікації БЖД дорожчі, ніж резервні моделі, але доступніші, ніж БЖД у режимі онлайн. Лінійно-інтерактивний БЖД додає автотрансформатор у базову резервну конструкцію.

Онлайн (On-Line БЖД, або подвійного перетворення) є найсучаснішим і найдорожчим типом БЖД. Інвертор постійно забезпечує чисте живлення батареї. Устаткування ніколи не отримує живлення безпосередньо від розетки змінного струму. Час переходу на живлення від батареї нульовий. У конструкції містять вентилятори, що створюють шум. БЖД з подвійним перетворенням добре підходить для чутливе обладнання так як не мають часу перемикання, забезпечуючи безперервне живлення.

Онлайн БЖД з дельта-перетворенням відрізняються від подвійного перетворення тим, що за допомогою дельта-перетворення певну кількість енергії передається безпосередньо для роботи комп'ютерів та іншого обладнання. Це створює енергоефективну онлайн-систему з ККД 95–97%, де частина електроенергії пропускає етапи обробки. При цьому у разі коливань або збою випрямляч в БЖД автоматично вимикається, а живлення подається від батареї, доки не відновиться.

Типи та види джерел безперебійного живлення

Резервний БЖД – це конфігурація, в якій резервна батарея заряджається мережевою напругою та подається через інвертор на перемикач. Коли основне живлення втрачається, перемикач перемикає резервний шлях. Інвертор, як правило, не працює, доки не відбудеться збій живлення. Необхідність активного перемикання шляху живлення дійсно означає, що існує короткий збій, який відбудеться з моменту втрати основного живлення до завершення перемикання.

Лінійно-інтерактивний БЖД однією з часто використовуваних конструкцій джерела безперебійного живлення. Завдяки лінійному інтерактивному дизайну основне живлення подається через перемикач на автоматичний стабілізатор напруги, потім на навантаження. Стабілізатор напруги в цій конструкції завжди активний, і коли основне живлення включено, він працює у зворотному напрямку, перетворюючи вхідну потужність змінного струму на постійний, що використовується для підтримки заряду резервної батареї. Якщо мережеве живлення вимикається, перемикач розмикається та інвертор працює у нормальному напрямку, приймаючи живлення постійного струму від батареї та перетворюючи його на змінний струм для живлення навантаження. Така конструкція, яка підтримує активний стабілізатор напруги, забезпечує покращену фільтрацію та зменшує перехідні процеси перемикання, які можуть бути присутніми в резервній конфігурації БЖД.

Онлайн БЖД з подвійним перетворенням.

Для застосування з потужністю понад 10 кВА найчастіше вибирають БЖД онлайн з подвійним перетворенням. БЖД з подвійним перетворенням подібний до резервного БЖД, за винятком того, що вихід інвертора представляє основний шлях живлення, тоді як у резервному БЖД це був вторинний або резервний шлях. Основна мережа живлення змінного струму живить випрямляч (перетворювач

змінного струму в постійний), а потім подається назад до інвертора, який регенерує змінний струм з постійного струму. Резервна батарея підключається до мережі постійного струму та заряджається випрямлячем.

Перемикач статичного байпаса доступний, але він не активується під час збою основного живлення змінного струму. Живлення від батареї безперервно живить інвертор при виході з ладу змінного струму, що призводить до відсутності часу передачі при втраті живлення. Оскільки в цій конструкції інвертор та випрямляч постійно активні, надійність електричних компонентів знижується порівняно з іншими конструкціями. Але з погляду електричної потужності цей тип БЖД забезпечує ідеальну вихідну потужність.

Онлайн БЖД з дельта-конверсією є відносно новою конструкцією, яка була представлена для усунення деяких недоліків, пов'язаних з БЖД онлайн з подвійним перетворенням. Як і в конструкції з подвійним перетворенням, онлайн-БЖД з дельта-перетворенням має інвертор, що подає вихідну потужність на навантаження, і тому він завжди працює.

Дельта-трансформатор з'єднує мережу змінного струму з дельта-перетворювачем, що генерує вихідну потужність постійного струму. Як і в конструкції подвійного перетворення, вихід постійного струму служить для підтримки заряду резервної батареї, а також для живлення інвертора, потім виробляє вихід змінного струму, який передається на навантаження.

Функція дельта-перетворювача мінімізує будь-які гармоніки, які можуть бути відображені назад до електромережі або підключеної генераторної системи, що робить конструкцію БЖД сумісною з генераторними установками та усуває необхідність у великій проводці або генераторах. З точки зору характеристик вихідної потужності БЖД онлайн з дельта-перетворенням ідентичний БЖД

онлайн з подвійним перетворенням, але зі значним зниженням втрат енергії або більш високою ефективністю.

Типи БЖД

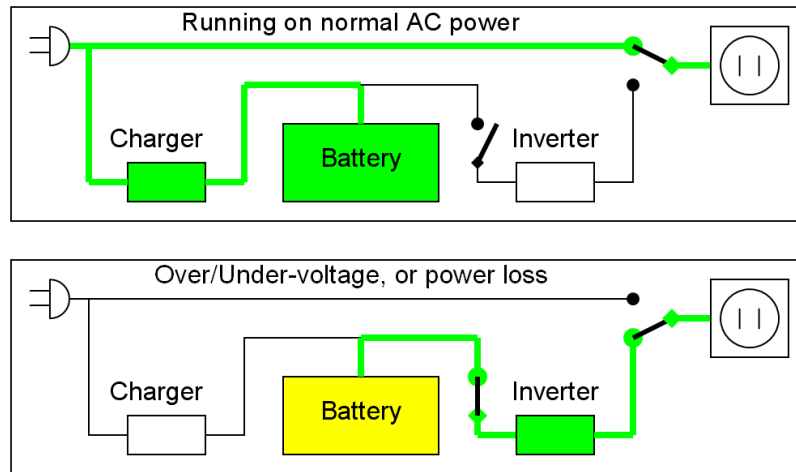


Рисунок 1.1. Standby БЖД.

Такі БЖД називаються резервними (Standby). Для них потрібно деякий час, щоб перейти з одного виду роботи на інший. Затримки можуть становити до десятків мілісекунд.

У другому випадку БЖД постійно конвертує змінний струм на постійний, а потім постійний на змінний. У цих пристроях час перемикання вважається нульовим, тому що не відбувається затримки в подачі живлення для підключеного навантаження.

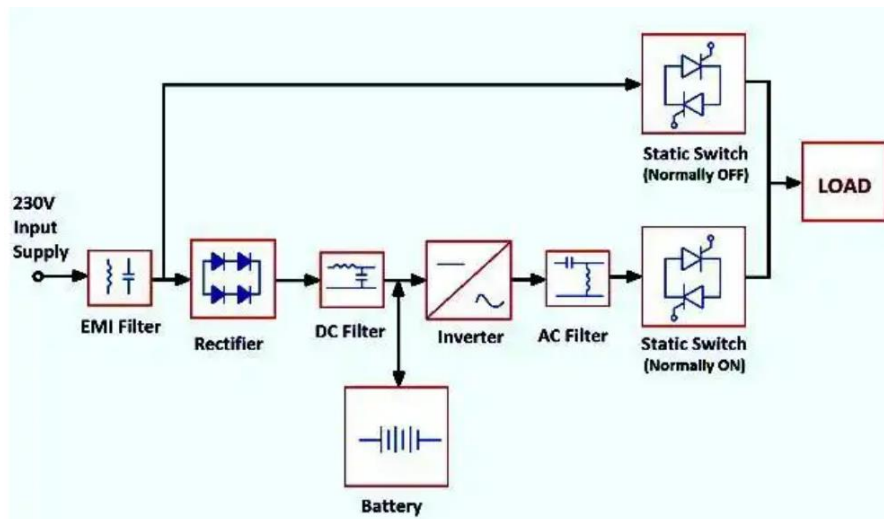


Рисунок 1.2. Online БЖД.

На схемі Online БЖД перетворює змінний струм на постійний, а INVERTER навпаки — постійний на змінний.

Резервні БЖД

Цей тип БЖД найчастіше використовується для настільних комп'ютерів та іншого обладнання. Діапазон потужностей навантаження від 0 до 0,5 кВА (Вольт-Ампер — повна потужність, витвір струму на напругу. Вона відрізняється від активної потужності на коефіцієнт, пов'язаний з реактивним навантаженням. Активна потужність вимірюється у Ваттах. Повна потужність завжди більша за активну).

Резервні БЖД характеризуються ККД, рівним шістдесяти відсоткам, невеликими розмірами та низькою вартістю. Більшість пристроїв здатні фільтрувати перешкоди, придушувати короткочасні стрибки та провали напруги. Рівень захисту навантаження невисокий, немає чистої синусоїди на виході. До різновидів цього класу джерел безперебійного живлення можна зарахувати інтерактивні блоки живлення. Вони складаються з набору компонентів, доповненого трансформатором з кількома точками підключення. Така

конфігурація дозволяє виправляти зміни напруги мережі без підключення акумулятора. Така схема виправляє відхилення величиною до двадцяти відсотків від номінального значення напруги та заощаджує ресурс АКБ.

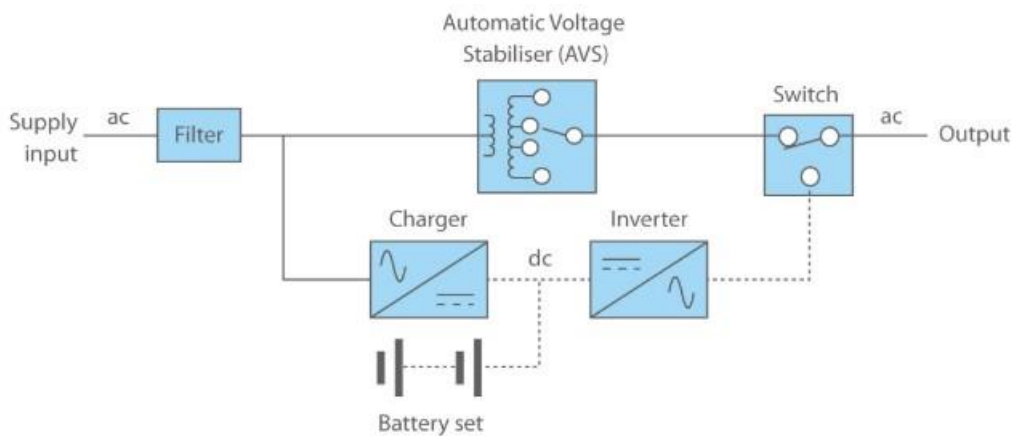


Рисунок 1.3. Line Interactive БЖД зі ступеневою стабілізацією напруги.

Ще однією модифікацією резервних блоків безперебійного живлення можна назвати ферорезонансні. Вони використовуються для навантажень, що мають велику потужність – від 3 до 15 кВА. Недоліком лінійно-інтерактивної схеми є ненульовий час перемикання (~4 мс) навантаження живлення від акумулятора.

Ферорезонансні БЖД відрізняються від інтерактивних трансформатором, що має сталевий сердечник. Це дозволяє краще керувати вихідною напругою та витримувати великі навантаження. Але така конструкція призводить до подорожчання пристрою та створення додаткових перешкод у вихідному сигналі через індукцію, що наводиться в осерді.

БЖД з подвійним перетворенням

Online БЖД здатні видавати повну електричну потужність від 5 до 5000 кВА. Це найпоширеніший тип безперебійників.

На виході видає ідеальну синусоїду. За рахунок подвійного перетворення струму усуваються всі перешкоди та спотворення вхідного сигналу. Відмінно підходять для захисту обладнання, що чутливе до коливань потужності.

Початкова вартість Online БЖД вища, ніж у Standby, але підсумкова ціна володіння краща. Це пов'язано з тривалішим терміном служби акумулятора. До недоліків можна віднести шум під час роботи. ККД БЖД з подвійним перетворенням - близько дев'яносто відсотків

1.2. Сучасні літій-іонні акумулятори. Типи і конструкція

Різноманітність різних Li-ion акумуляторів, представлених на ринку, розширює можливості вибору. Розглянемо основні типи Li-ion акумуляторів, конструкція, матеріали та особливості експлуатації сучасних Li-ion акумуляторів.

У перших негативних електродів Li-ion акумуляторів використовувався металевий літій. При його зарядці з'являлася плівка з продуктів розкладання електроліту у зв'язку з чим частина літію переходила в неактивний стан тобто частинки, електрично ізольовані один від одного. Положення, що утворюється, з часом погіршувала обмін літію на електродах. Також була проблема утворення дендритів, голчастих кристалів літію, що ростуть між електродами. Їхнє зростання провокувало коротке замикання акумулятора і виходу його з ладу часом із запаленням і вибухом. Через нестабільність металевого літію здійснювався пошук нових електролітів, безпечніших у використанні не створюють утворення дендритів. Ще була одна небезпека розгерметизації металевий літій, що окислявся, з'єднувався з киснем повітря, що призводило до нагрівання або займання, вибуху. Розгерметизація відбувалася через підвищення тиску. Важко було стежити за всіма етапами зарядки та розрядки. Компанії

почали випуск всіляких мікросхем для Li-ion акумуляторів , які постійно стежили б за процесом зарядки і розрядки, що запобігають більшості випадків розгерметизації.



Рисунок 1.4. Запобіжник

На рисунку видно запобіжник, що самовідновлюється, у вигляді «квадратика», що знаходиться відразу після одного з контактів акумулятора, перед підключенням до плати контролю.

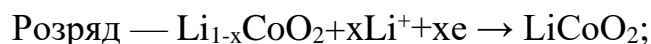
Одна фірма представила ринку системи забезпечення функціонування (Battery manager systems, BMS). Цей пристрій складався з транзисторів, що розривають ланцюг навантаження/заряду, і в ньому було реалізовано два незалежні рівні опорного захисту та кілька рівнів програмного захисту.

На даний момент випуск літєвих акумуляторів (з металевим літєм) практично припинено.

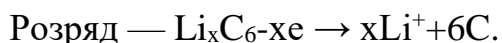
Можна виділити два основні: хімічні джерела струму на основі системи літій – сірка (Li/S) та літій – кисень (літій – повітря). Якщо вдасться вирішити низку проблем, станеться суттєве зростання питомих характеристик порівняно з досягнутими на сьогодні для будь-якого з ХДС (хімічні джерела струму).

У 1991 році було випущено перші промислові Li-ion акумулятори з негативним електродом на основі вуглецевого матеріалу. В основі роботи Li-ion акумулятора лежить принцип інтеркаляції, тобто при його заряді літій впроваджується в структуру негативного електрода, яким служить вуглецевий матеріал і утворює інтеркаляційне з'єднання. При зворотному процесі літій деінтеркалюється з негативного електрода, тобто витягується з кристалічних ґрат вуглецю, віддаючи при цьому електрон. Електрохімічні реакції на обох електродах:

Позитивний електрод на прикладі кобальтату літію:



Негативний електрод:



Акумулятором гуляють тільки Li-ion, які знаходяться у зв'язаному стані, як на позитивному електроді, так і на негативному. Завдяки цьому вдалося суттєво підвищити безпеку експлуатації таких ХДС. При забезпеченні безпеки не останню роль відіграли і нові матеріали, наприклад, сепаратора і технології виробництва, що використовуються на даний момент. Питання безпеки було успішно вирішено, свідчить простий факт, що Li-ion акумулятори масово

випускаються більше 20 років і встановлюються постійно в телефонах, планшетах, комп'ютерній техніці, електро автотранспорті і т.д. вже були випущені сотні мільйонів акумуляторів. BMS що входить до складу захисту акумулятора переважно вона продовжує термін експлуатації; балансуванням акумуляторів, контролем розряду та заряду акумуляторів.

При нормальній експлуатації Li-іон акумулятора такого розкладання розчинника не відбувається, і практично вся ємність, повідомлена акумулятор при заряді, буде віддана їм при розряді. Тобто відношення відданої ємності при розряді отриманої ємності при заряді Li+ акумуляторів близько до одиниці. Акумулятор вийшов герметичним.

За питомими характеристиками Li-іон акумулятори лідирують серед ХДС, що масово випускаються, і займають одне з перших місць серед застосовуваних електрохімічних систем. Li-іон акумулятори володіють високою питомою енергією (до 270 Вт·ч/кг), високою розрядною напругою 3,4-4 В і більше, залежно від електродних матеріалів, що використовуються, дуже низьким саморозрядом менше 3% на місяць і тривалим терміном служби від 500 до 10000 циклів, при зниженні ємності, що віддається, на 20% від номінальної залежності від матеріалів . Ці акумулятори можуть працювати в інтервалі температур від -40 до +80°C і розряджатися струмами більше 100 Сн. При цьому їхня вартість постійно знижується.

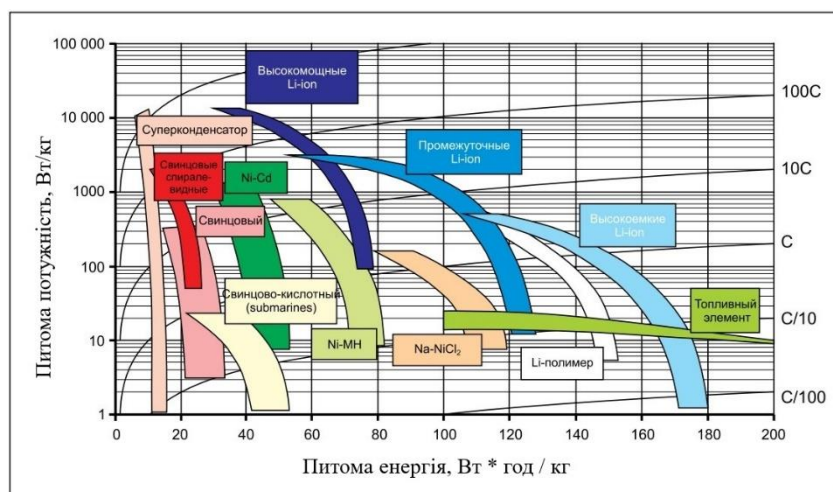


Рисунок 1.5. Питомі показники ХДС.

На рисунку показані можливі поєднання питомої енергії та питомої потужності різних акумуляторів, а також суперконденсаторів та паливних елементів, другою осі ординат показаний струм, яким може розряджатися ХДС (у частках від C_n). Найвищим показником питомої потужності мають суперконденсатори; хоча вони запасують найменшу кількість енергії в порівнянні з іншими ХДС, розрядні струми у них можуть досягати сотень C_n . Потім йдуть свинцево-кислотні акумулятори різної конструкції та призначення червоні області, потім нікель-кадмієві та нікель-металгідридні ХДС зелені області зліва. У середині жовта область показані так звані теплові ХДС, джерела, що працюють при температурі кілька сотень градусів, де електролітом служить розплав солей. Найбільші питомі характеристики мають паливні елементи зелена область справа, проте їх здатність навантаження низька внаслідок високого внутрішнього опору.

Li⁺ акумулятори можна розділити на високоємні, високоструміві та проміжні ці класи носять умовний характер синій області на Рисунок 1.5., тому що навіть з урахуванням того самого електрохімічного процесу сам акумулятор, як кінцевий виріб, можна виготовити по-різному. Наприклад, струмопровідну

основу електрода алюмінієва фольга на позитивному електроді, мідна на негативному в одному випадку можна зробити тонше і електродної маси нанести більше, а в іншому навпаки. Чим більше співвідношення активних електродних мас, що у електрохімічних реакціях, до пасивним які беруть участь, тим вище питомі характеристики кінцевого виробу. Однак чим менша товщина мідної фольги, тим менший струм вона може пропустити, не перегріючись при цьому. І чим більша товщина шару електродної маси, тим більший його опір. Тобто акумулятор з більш тонкою струмопровідною основою і більш товстим шаром електродної маси буде мати високі показники по енергії, що запасається, але низьку потужність, і навпаки. Для більшого зниження опору застосовують активні матеріали з меншим розміром частинок.

Варіюючи товщину електродів, фольги, сепаратора та матеріали позитивного та негативного електрода, розміри частинок виробники можуть виготовити акумулятор з різними максимальними струмами розряду або різної ємності в тому самому типорозмірі кінцевого виробу. Також для збільшення струму розряду до складу електроліту та активних мас можна вносити всілякі добавки, що збільшують провідність.

У високоемних акумуляторів науково більше розмір струмознімальних контактів, а у високоемних навпаки менше розмір струмознімальних контактів.

Струм розряду/заряду вимірюють над абсолютних одиницях, а відносних. Струм прив'язують до номінальної ємності акумулятора C_n . Так, високоемні акумулятори розряджаються струмами приблизно до $2C_n$, а заряджаються до $0,5C_n$. Наприклад, якщо акумулятор має ємність 10 А год, то максимальний струм розряду складе 20 А .

Високоемні та високоструміві акумулятори призначені для різних завдань та мають різне призначення, хоча іноді їх спільно експлуатують в одному виробі: одні для стартерних режимів, інші для живлення слаботоочної апаратури.

Великі заводи зазвичай замовляють акумулятори з потрібними їм характеристиками, а не купують акумулятори того чи іншого класу, що знижує витрати і дозволяє отримати саме те, що необхідно.

Конструктивно Li+ акумулятори можна розділити на два види: за способом виготовлення електродів та конструкції корпусу акумулятора. Конструкція блоку електродів може бути рулонного типу або складатися із набору окремих електродів (Рисунок 1.6.).

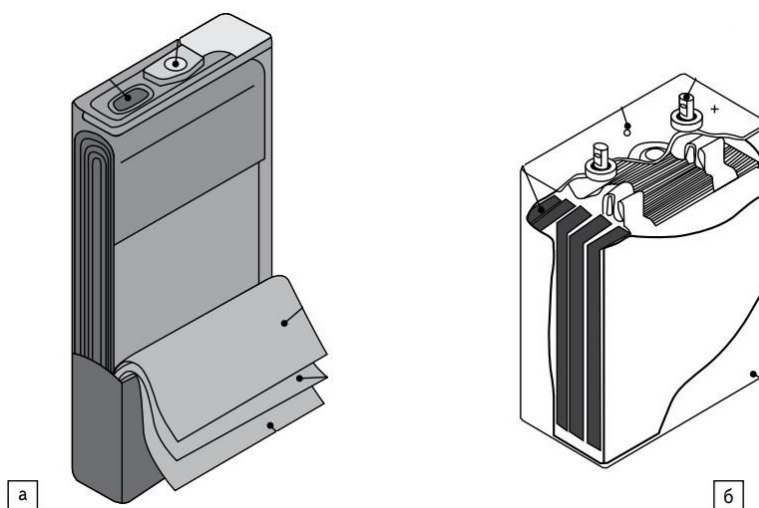


Рисунок 1.6. Конструкція блоку електродів.

Перша конструкція зазвичай використовується для акумуляторів невеликої ємності, друга для більших зразків. До переваг рулонної конструкції слід віднести невелику трудомісткість виготовлення. Недоліки рулонної конструкції погане тепловідведення від електродів до корпусу акумулятора через наявність сепаратора та електродних мас. Тепловідведення здійснюється в основному на вузький торець акумулятора, як показано на Рисунок 1.6. а. Це призводить до складнощів створення акумуляторів великої ємності такої конструкції, а також високопотужних акумуляторів, розрахованих на віддачу великого струму тривалий час.

Рулонна конструкція може бути двох видів: закручування електродів навколо уявної пластини (Рисунок 1.6. а) і циліндр. Перший спосіб використовується в основному для призматичних акумуляторів, при цьому в одному корпусі може бути кілька рулонів, з'єднаних паралельно.

Конструкція, що складається з окремих електродів, використовується виготовлення призматичних акумуляторів (Рисунок 1.6. б). При цьому тепловідведення також в основному здійснюється з торців електродів, тому для кращого теплообміну електроди можуть розташовуватися вздовж широкої стінки корпусу (Рисунок 1.6. б), так і впоперек. Розробники таким чином збільшують площу тепловіддачі, покращуючи умови роботи електродних мас.

Переваги циліндричної конструкції – відсутність зміни в об'ємі акумулятора при тривалому циклуванні, тому що тут акумулятор змінює трохи свій об'єм при розряді/заряді, а стінки акумуляторів інших конструкцій можуть деформуватися. У циліндричних акумуляторах використовується рулонна конструкція електродів. До недоліків такої конструкції слід віднести відносну складність рівномірного намотування великого рулону та погане тепловідведення.

Гвинтові борни застосовуються для поліпшення умов струмознімання (щоб уникнути перегріву борнів) і використовуються у високопотужних акумуляторах та акумуляторах великої ємності більше 20 А·год.



Рисунок 1.7. Циліндричні Li-іон акумулятори

Застосування акумулятора в електроінструменті значно покращує динаміку останнього, але накладає додаткові вимоги щодо механічної міцності його частин.

Акумулятори з контактними майданчиками призначені для приварювання контактним зварюванням перемичок або пелюсток під паяння. Можливо кілька видів пелюсток, наприклад, під друковану плату, паяння під провід тощо.

Типорозмір акумуляторів циліндричного типу зазвичай позначається кількома цифрами. Наприклад, акумулятор 18650 жовтий, в центрі на Рисунок 1.7. Тут перші цифри позначають діаметр 18 мм, другі висоту циліндра 65 мм. У призматичних акумуляторів типорозмір складається з трьох цифр В х Ш х Г, у різних виробників порядок може відрізнятися.

Призматичні акумулятори також виготовляються двох видів: з гвинтовими борнами та для приварювання пелюсток або перемичок Рисунок 1.8.

Два акумулятори в синій оболонці мають рулонну конструкцію, менший ємністю 1,5 Ач один рулон, більший 10 Ач це вісім невеликих рулонів, з'єднаних електрично паралельно.

Для зниження вартості борни виготовляють під клепку крайній праворуч на рис. 5, пелюстки для припаювання заклепані безпосередньо в борн.



Рисунок 1.8. Призматичні Li-ion акумулятори

Слід зауважити, що всі матеріали корпусу, які використовуються для виготовлення конструкції акумулятора, повинні бути нейтральними і не повинні брати участь у електрохімічних реакціях.

Наразі популярні акумулятори в корпусі з ламінованої фольги Рисунок 1.9. Полімерний електроліт у таких акумуляторах знаходиться у гелеподібному стані. Електрохімічні процеси, що у них, нічим не відрізняються від описаних вище. Через більш легкий ніж корпуси циліндричних і призматичних акумуляторів, вони мають найбільшу питому. Такі акумулятори різноманітні за габаритами.

Як недоліки низька механічна міцність і вузький діапазон температур ($-20 \dots +60 \text{ }^\circ\text{C}$), що обумовлено самою конструкцією гелю полімерних акумуляторів. Виводи струму у акумуляторів цього типу роблять з тонкої смужки металу.

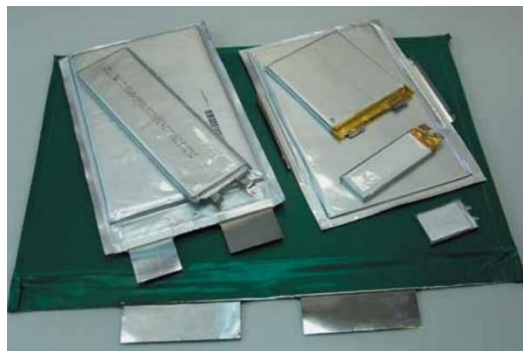


Рисунок 1.9. Акумулятори в корпусі з фольги, що ламінує.

Безпечна експлуатація Li^+ акумуляторів врахована і в їх конструкції створюється запобіжними клапанами. При перевищенні тиску всередині корпусу клапан розривається та скидає тиск назовні.

У невеликих циліндричних акумуляторах клапан знаходиться безпосередньо під верхньою кришкою Рисунок 1.10.



Рисунок 1.10. Вирізи для аварійного скидання внутрішнього тиску

1.3. Параметри основних типів літій-іонних акумуляторів

Різні LI-ION акумулятори іменуються за складом, можуть бути позначені як скорочено так і повністю за хімічною формулою. Так як це не дуже зручно, вони спрощуються до літерної аббревіатури; Літій-кобальтовий акумулятор (LiCoO_2 або LCO), Літій-марганцевий акумулятор (LiMn_2O_4 або LMO), Літій-нікель-марганець-кобальт-оксидний акумулятор (LiNiMnCoO_2 або NMC), Літій-залізо-фосфатний нікель-кобальт-алюміній-оксидний акумулятор (LiNiCoAlO_2 або NCA), літій-титанатний акумулятор ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ або LTO).

Розглянемо основні типи акумуляторів LI-ION.

Літій-кобальтовий акумулятор (LiCoO_2 , LCO)

У літій-кобальтових акумуляторах високий питомий показник енергоємності часто використовується для мобільних телефонів та ноутбуків. Акумулятор складається з графітового анода та катоду з оксиду кобальту. Катод має шарувату структуру і під час розряду іони літію переміщуються щодо нього від анода. Недоліком літій-кобальтових акумуляторів є короткий термін служби, низький термічний. На рисунку 1.1. показано структуру такого акумулятора.

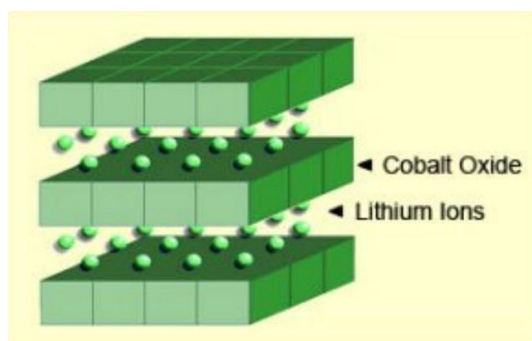


Рисунок 1.11. Структура літій-кобальтового акумулятора.

Під час розряду іони літію переміщуються від анода до катода, заряджаючи – від катода до анода. Літій-кобальтовий акумулятор не може заряджатися або розряджатися при силі струму вище за його 1С-рейтинг. Для швидкої зарядки виробники рекомендують С-рейтинг 0,8С.

Гексагональний графік (Рисунок 1.12.) підсумовує продуктивність літій-кобальтового акумулятора з погляду таких характеристик питома енергоємність, що відповідає за час роботи; питома потужність, чи здатність забезпечити більшу силу струму; безпека; продуктивність при високих та низьких температурах; термін служби та довговічність; вартість.

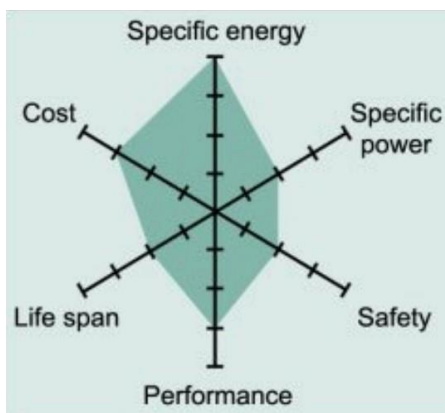


Рисунок 1.12. Оцінка усередненого літій-кобальтового акумулятора.

Літій-кобальтова електрохімічна система відрізняється високою питомою енергоємністю, але пропонує середні показники питомої потужності, безпеки та терміну служби.

Характеристики літій-кобальтові – LiCoO_2 :

- Робочий діапазон напруги 3,0в -4,2в.
- Питома енергоємність 150-240 Вч*ч/кг
- Зарядження C-рейтинг 0,7 – 1С .
- Розрядка C-рейтинг 1С .
- Кількість циклів заряд розряд від 500 – 1000.
- Витримує температуру до 150 С

Літій-марганцевий акумулятор (LiMn_2O_4 , LMO)

Літій марганцевий акумулятор має тривимірну структуру, що покращує потік іонів на електроді, це призводить до зменшення внутрішнього опору дякую чому збільшилася швидкість зарядки до 10С. У нібито розмірі 18650 може заряджатися силою струму 20 - 30 А.

Недоліком є невелика кількість циклів зарядження розрядки. Місткість приблизно на 30% відсотків менша від кобальтових.

Літій-марганцеві акумулятори використовуються для потужних інструментів, а також у гібридному та електротранспорті.

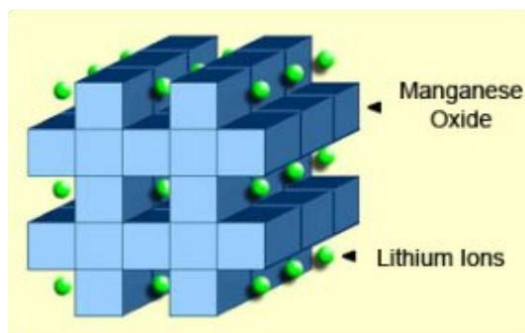


Рисунок 1.13. Графічна ілюстрація тривимірного кристалічного каркасу матеріалу катода.

Структура літій-марганцевого акумулятора.

Катод із кристалічної літій-марганцевої шпинелі має тривимірну каркасну структуру, яка з'являється після початкового формування. Шпінель забезпечує низький опір, але має більш помірну питому енергоємність ніж кобальт.

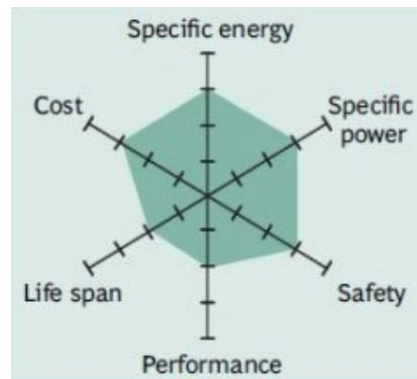


Рисунок 1.14. Гексагональний графік типowego літій-марганцевого акумулятора.

Зараз для підвищення енергоємності та кількості циклів літій марганцеві акумулятори LMO комбінують з літій-нікель-марганець-кобальтовими NMC для підвищення питомої енергоємності та продовження терміну служби. Цей союз дозволяє використовувати сильні сторони обох систем і називається LMO (NMC). Саме ці комбіновані акумулятори використовуються у більшості електромобілів, таких як Nissan Leaf, Chevy Volt та BMW i3. LMO.

Характеристики літій-марганцевих – LiMn_2O_4 ;

- Робочий діапазон напруги 3,0в -4,2в.
- Питома енергоємність 100-150 Вч*ч/кг
- Заряджання C-рейтинг 0,7 – 3С .
- Розрядка C-рейтинг стандартна 1С, максимальна 10С.

- Кількість циклів заряд розряд від 300 – 700.
- Витримує температуру до 250 С

Літій-нікель-марганець-кобальт-оксидний акумулятор LiNiMnCoO_2 (NMC)

Один з найбільш використовуваних акумуляторів NMC, що складається з нікелю Ni підвищує ємність, марганцю Mn підвищує стабільність і кобальту Co покращує електрохімічну активність. Склад катода в основному поєднує нікелю Ni, марганцю Mn і кобальту Co в рівних частинах Ni: Mn: Co = 1:1:1. Існує ще одна успішна комбінація Ni:Mn:Co = 8:1:1 Поєднання в такому співвідношенні вигідне своєю вартістю, оскільки вміст дорогого кобальту відносно невеликий.

Анод зазвичай використовують графітовий, але іноді додають кремній для збільшення ємності. Мінуси додавання кремнію в зменшується навантажувальних характеристик і довговічності акумулятора, через властивості кремнію збільшується при зарядці і зменшається при розрядці. На рисунку 1.15. показано характеристики NMC акумулятора.

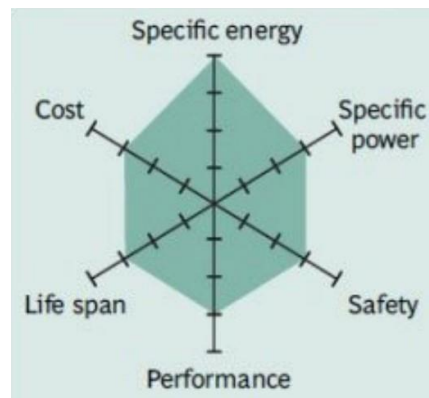


Рисунок 1.15. Оцінка характеристик акумулятора NMC.

NMC має гарну загальну продуктивність та відмінну питому енергоємність. Ця акумуляторна батарея є кращим вибором для електротранспорту і має найнижчий рівень нагріву.

Характеристики літій-нікель-марганець-кобальт-оксидний акумулятор (NMC):

- Робочий діапазон напруги 3,0В -4,2В.
- Питома енергоємність 150-220 Вч*ч/кг
- Зарядження C-рейтинг 0,7 – 1С .
- Розрядка C-рейтинг стандартна 1С, максимальна 2С .
- Кількість циклів заряд розряд від 1000 – 2000.
- Витримує температуру до 210 С

Літій-залізо-фосфатний акумулятор (LiFePO₄, LFP)

Акумуляторів LFP як катод використовують літій-залізо-фосфат. У цих акумуляторів дуже хороший ресурс до 5000 циклів, при цьому вони дуже стабільні та безпечні з низьким внутрішнім опором та високою силою струму. Без сильної деградації переносять перезаряд, порівняно з іншими лицьовими акумуляторами. Але стандартна напруга осередку 3.2В знижує показник питомої енергоємності порівняно з іншими лицьовими акумуляторами. На рисунку 1.16. показано характеристики літій-фосфатного акумулятора.

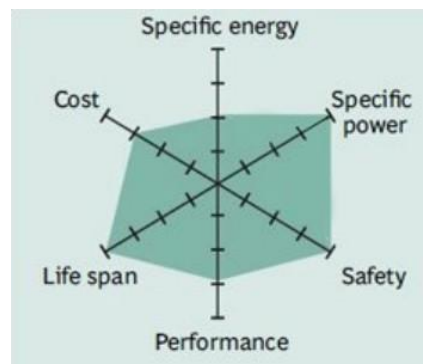


Рисунок 1.16. Оцінка параметрів літій-фосфатного акумулятора.

Літій-фосфатна електрохімічна система забезпечує відмінну безпеку та тривалий термін служби, але питома енергоємність має помірні показники, також варто відзначити високий саморозряд.

Характеристики літій-залізо-фосфатний акумулятор (LiFePO₄, LFP):

- Робочий діапазон напруги 3,2в - 3,65в.
- Питома енергоємність 90 - 120 Вч*ч/кг
- Зарядження С-рейтинг 1С .
- Розрядка С-рейтинг стандартна 1С.
- Кількість циклів заряд розряд від 1000 – 7000.
- Витримує температуру до 270 С

Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидний акумулятор (NCA, LiNiCoAlO₂)

Літійовий акумулятор Нікель (Ni) Кобальт (Co) Алюміній (Al) має високу енергоємність до 260 ВТ год/кг, тривалий термін служби. Мінусами є вартість та безпека. Переваги через високу ємність можна створювати більш компактні пристрої. Анод складається з графіту, іноді для зміни характеристик додають кремній.

На рисунку 1.17. наведено шість ключових характеристик цього акумулятора.

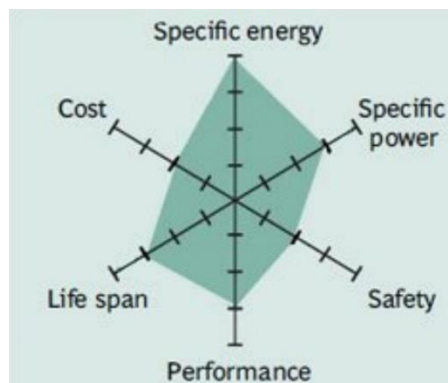


Рисунок 1.17. Оцінка характеристик акумулятора NCA.

Високі показники енергоємності та щільності енергії разом з гарною довговічністю роблять NCA акумулятори цікавими для електротранспорту. Але висока вартість та показники безпеки є недоліком.

Характеристики літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидний акумулятор (NCA, LiNiCoAlO_2):

- Робочий діапазон напруги 3,6в - 4,2в.
- Питома енергоємність 200 - 260 Вч*ч/кг
- Зарядження C-рейтинг 0.7C .
- Розрядка C-рейтинг стандартна 1C.
- Кількість циклів заряд розряд від 500.
- Витримує температуру до 150 С

Літій-титанатний акумулятор (LTO, $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

Літій-титанатні акумулятори LTO в яких як анодний матеріал використовується нанокристали титанату літію а графіт в LTO присутній але вже в ролі катода. Попередження комірок у цього акумулятора 2,4 В. Струм зарядки розрядки у цих акумулятор становить 10C. Кількість циклів більше ніж у інших літій-іонного акумуляторів. Літій-титанатний акумулятор безпечний, має відмінні низькотемпературні характеристики при -30°C , його ємність зберігається на рівні 80%. З мінусів дуже висока вартість та дуже низький показник енергоємності 65 Вт*ч/кг.

На рисунку 1.18. представлені характеристики літій-титанатного акумулятора. Його типові сфери застосування – електричні силові агрегати, системи акумуляування електроенергії та вуличне освітлення на сонячних елементах.

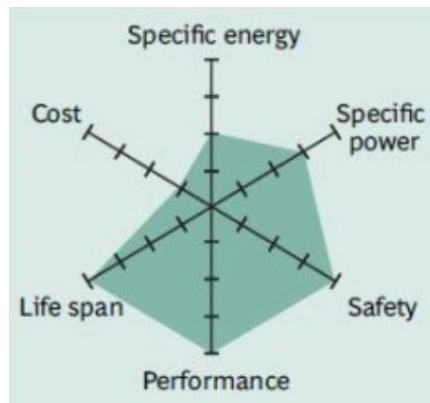


Рисунок 1.18. Характеристики літій-титанатного акумулятора.

Літій-титанатні акумулятори мають відмінні показники безпеки, продуктивності при низьких температурах та довговічності.

Характеристики літій-титанатний акумулятор (LTO, $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$):

- Робочий діапазон напруги 1,8в - 2,75в.
- Питома енергоємність 65 - 100 Вт*ч/кг
- Зарядження C-рейтинг 1С - 10С .
- Розрядка C-рейтинг максимальний струм 10С.
- Кількість циклів заряд розряд від 3000 до 20000.

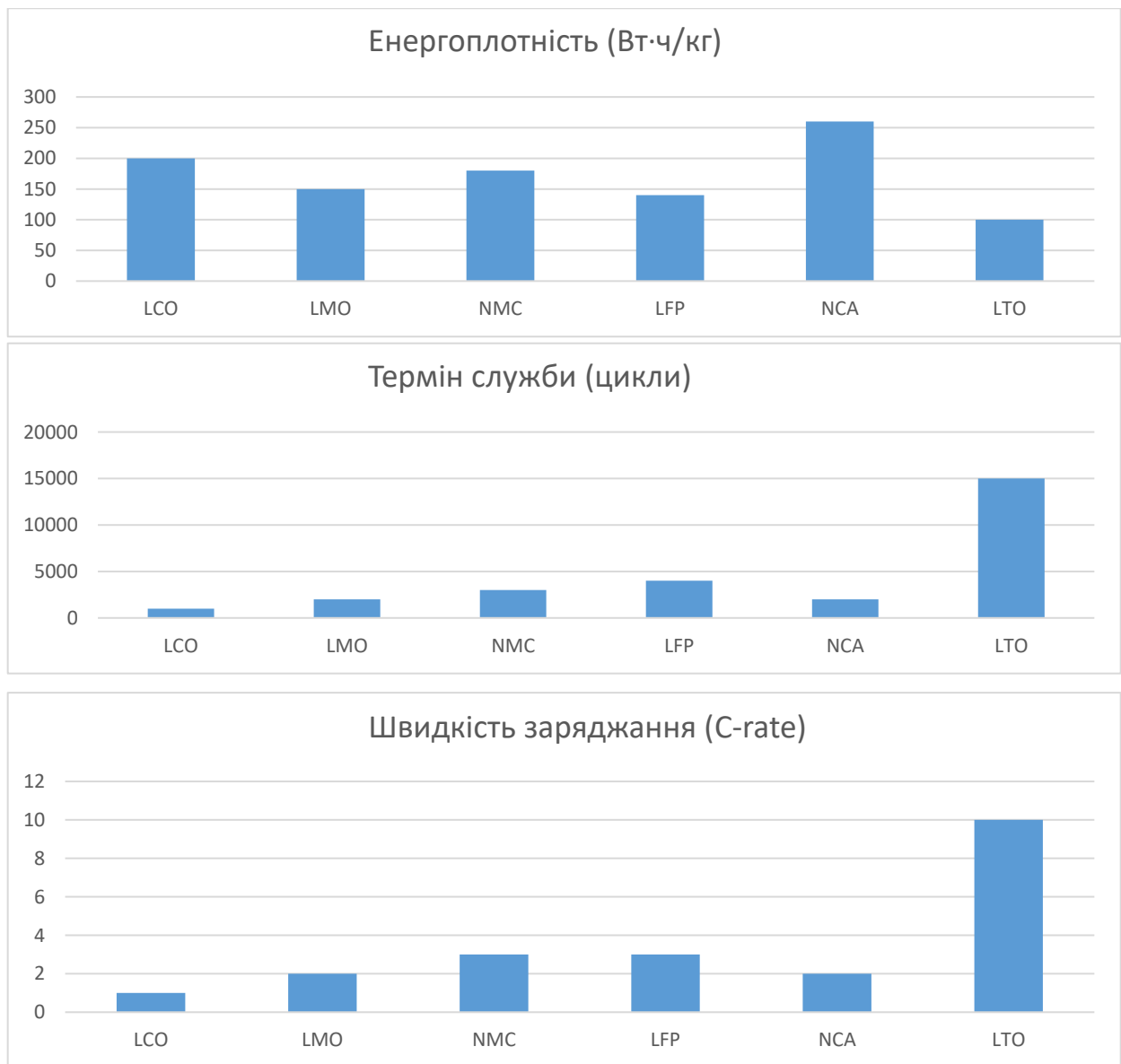


Рисунок 1.19. Загальні характеристики шести видів літійових акумуляторів у графіках; LCO, LMO, NMC, LFP, NCA, LTO.

1.4. Огляд існуючих методів зарядження літійових акумуляторів

Li-ion батареї потребують спеціального профілю заряджання CC-CV постійний струм/постійна напруга, який автоматично адаптується до температури та рівня напруги батареї. Профіль заряджання відображається на схемі 6 заряджання літійового акумулятора. Профіль заряджання описує, як

змінюються напруга та струм батареї під час заряджання. Зазвичай його представляють у вигляді графіка: X час, Y напруга батареї або рівень заряду.

Цей профіль демонструє оптимальний процес заряджання з урахуванням безпеки.

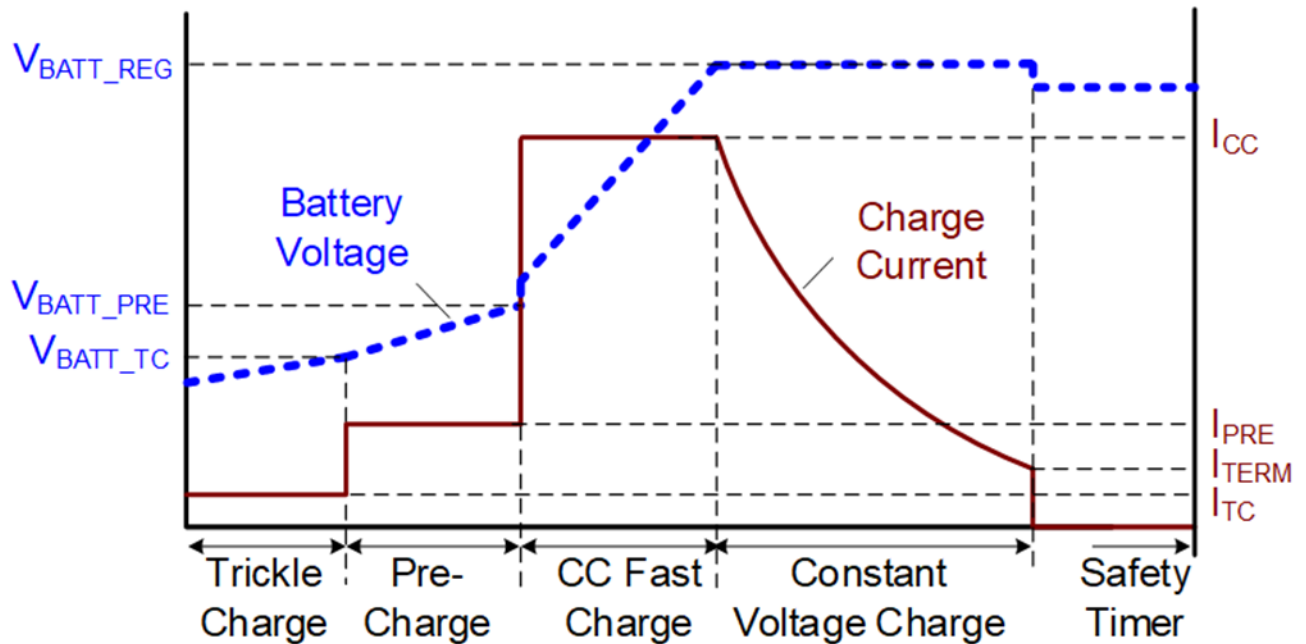


Рисунок 1.20. Заряджання літійового акумулятора

Короткі позначення у схемі:

1. V_{BATT_REG} - Максимальна напруга батареї при режимі постійної напруги, V_{BATT_PRE} - Напруга, при якому починається етап попередньої зарядки, V_{BATT_TC} - Напруга, при якому включається крапельна зарядка,
2. I_{CC} - Струм в режимі постійного струму,
3. I_{PRE} - Струм попередньої зарядки,
4. I_{TERM} - Струм завершення зарядки,

5. ІТС - Струм крапельної зарядки

Методи заряджання літійових акумуляторів

Літій-іонні акумулятори вимагають контролю зарядки для забезпечення безпеки та довговічності.

Процес заряджання ділиться на кілька етапів:

Спочатку перевіряється заряд акумулятора якщо заряджений нижче 2.1В причини низької напруги глибокий розряд батареї або внутрішнього захисту через перенавантаження такий акумулятор потрібно зарядитися струмом 50mA до досягнення 2.9В, цей етап називається попереднє заряджання Трікл-зарядка (Trickle Charge).

Попереднє заряджання починається після відновлення з'єднання батареї або в стані глибокого розряду менше 2.9В зарядний струм виставляється на 10% від номінального до досягнення 2.9В - 3.0В.

При досягненні 3В заряджання переходить у режим заряджання постійного струму CC, у фазі заряджання CC батарея може безпечно витримувати вищі струми заряду від 0,5C до 3C. Заряджання CC продовжується доти, доки напруга батареї не досягне плаваючого значення або повного заряду.

Після того як батарея досягає порогового значення постійної напруги 4.1V–4.5V на елемент, починається заряджання постійною напругою (CV Charge). Щоб гарантувати безпеку та уникнути перенапруги на батареї. Мікросхемою зарядного пристрою регулює напругу, щоб вона не перевищувала максимуму.

Завершення заряджання (Charge Termination). Зарядний мікроконтролер завершує цикл, коли зарядний струм у фазі CV падає нижче певного порогу (зазвичай C/10). У цей момент батарея вважається повністю зарядженою. Якщо завершення заряду вимкнено в мікроконтролері зарядного пристрою, струм заряду природно знизиться до 0 mA.

Мікросхема зарядного пристрою контролює напругу батареї під час заряджання СС. Як тільки батарея досягає граничного значення CV, зарядний пристрій переходить від регулювання СС до регулювання CV. Заряджання CV здійснюється, оскільки зовнішня напруга акумуляторної батареї, що сприймається мікросхемою зарядного пристрою, перевищує фактичну напругу елемента батареї в блоці. Це відбувається через внутрішній опір елемента, опору друкованої плати та еквівалентного послідовного опору (ESR) від захисного польового транзистора та елемента. Щоб гарантувати безпечну роботу, мікросхема зарядного пристрою не повинна допускати перевищення напруги батареї максимальної плаваючої напруги. Завершення заряду ІС зарядного пристрою визначає, коли слід завершити цикл заряду, ґрунтуючись на струмі, що надходить в акумулятор, що падає нижче встановленого граничного значення (близько $C / 10$) під час фази CV. У цей момент акумулятор вважається повністю зарядженим, а заряджання завершено. Якщо завершення заряду вимкнено в ІС зарядного пристрою, струм заряду природно знизиться до 0 мА

Різні фази заряджання — це контрольований процес, що гарантує безпеку батареї, подовжує її життєвий цикл та знижує ризик пошкодження через перенапругу або перегрів.

Управління шляхами живлення системи (PPM).

Управління шляхами живлення (PPM) регулює струм заряду батареї на основі можливостей вхідного струму джерела та вимог до струму навантаження системи.

Прості зарядні пристрої без живлення (пряме живлення від акумулятора).

Для простих зарядних пристроїв без шляху живлення акумулятор безпосередньо підключається до системи, а зарядний пристрій ІС має лише один вихід, яким є акумулятор. Переваги простого зарядного пристрою без шляху

живлення полягають у його простоті та нижчій вартості. Одним з прикладів простого зарядного пристрою рисунок 1.21. є MP26029 одноелементна літій-іонна/літій-полімерна ІС зарядного пристрою з терморегулюванням. Вбудований в чіп зарядний МОП-транзистор працює як повнофункціональний лінійний зарядний пристрій з попередньою зарядкою, зарядженням постійним струмом (CC), зарядженням постійною напругою (CV), завершенням заряду і автоматичною перезарядкою. Є висновок ISET для включення або вимкнення зарядки також є індикатор зарядки і завершення зарядки.

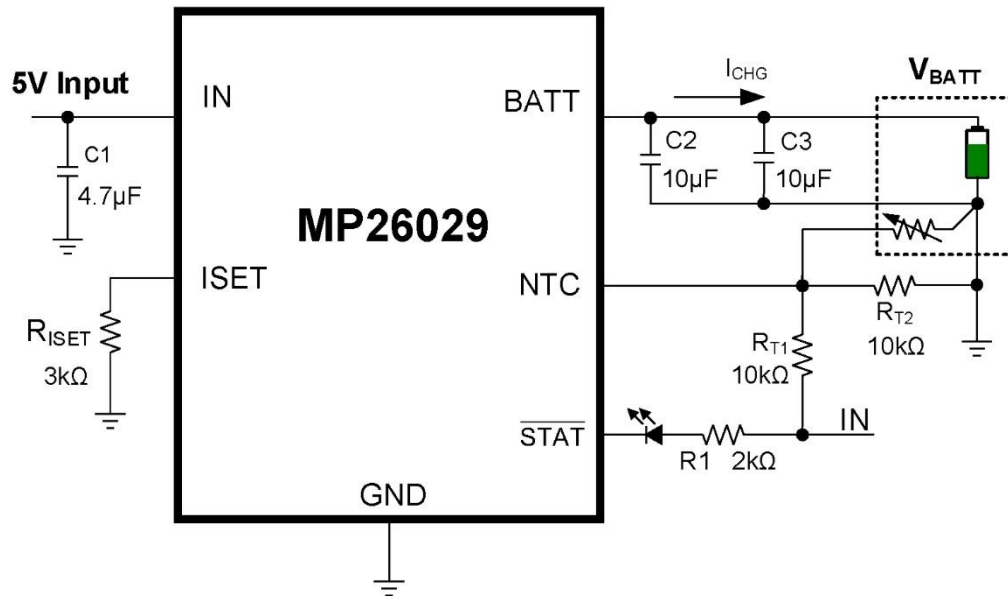


Рисунок 1.21. типова прикладна схема MP26029 із входом 5 В

Режим OR вибір шляху живлення (режим байпасу)

Для керування шляхами живлення зовнішні перемикачі керують зарядкою батареї та системними шляхами. Цей метод оптимізує ємність зберігання енергії та забезпечує захист у разі відмови батареї. Існують 2 основні принципи:

1. За наявності VIN, VIN безпосередньо підключений до системи.
2. За відсутності VIN VBATТ безпосередньо підключається до системи.

MP2759 це приклад зарядного з керуванням вибором шляху живлення OR, який може працювати від 1 до 6 осередків. Випускається у корпусі 3 мм x 3 мм. Підтримує технології заряджання малим струмом, попередня зарядка, зарядка CC і зарядка CV. Він оснащений вибором OR для живлення системи. Затвор FET батареї керується сигналом контакту IN. Коли джерело вхідного сигналу відсутнє, батарея FET підключає батарею до системи. Коли джерело вхідного сигналу є, FET батареї відключається, і джерело вхідного сигналу живить систему через інший MOSFET (Q1).

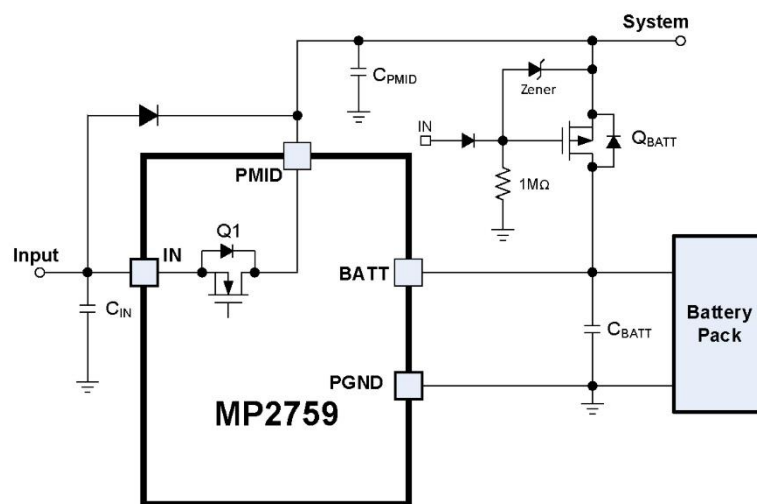


Рисунок 1.22. Керування шляхами живлення вибору АБО MP2759

Топології мікросхем зарядних пристроїв

Два основних типи топологій зарядних пристроїв – це лінійні зарядні пристрої та імпульсні зарядні пристрої, які можна розділити на зарядні пристрої, що підвищують, знижуючі зарядні пристрої і знижувально-підвищуючі зарядні пристрої.

Лінійні зарядні пристрої є компактними, простими та ефективними схемами для заряджання акумуляторів. Регулюють струм і напругу за допомогою лінійних компонентів, таких як транзистори або стабілізатори напруги. Вони

знижують шум через відсутність перемикачів, але високі струми заряджання призводять до збільшення розсіювання потужності, обмеженого розміром корпусу

MP2662 приклад інтегрованого лінійного зарядного пристрою для Li-ion/Li-polymer акумулятора із керуванням енергетичним шляхом. У компактному корпусі WLCSP-9 (1,75 мм x 1,75 мм) він може використовувати живлення від адаптера змінного струму або USB.

Перемикальні зарядні пристрої ефективніші за лінійні при середніх та високих струмах та адаптивніші для широких діапазонів вхідної напруги VIN. Однак вони вимагають індуктора і більше конденсаторів, що збільшує вартість, складність і займає більше місця на платі. Їх рекомендують для пристроїв із великими акумуляторами або для додатків, що потребують високої ефективності та швидкої зарядки. Такі зарядні пристрої ідеальні для смартфонів, планшетів, ноутбуків.

Перемикальні зарядні пристрої поділяються на три основні типи:

1. Понижувальні зарядні пристрої – Buck використовуються, коли мінімальна вхідна напруга перевищує максимальну напругу батареї VBATT, наприклад 5V USB із однокомірковою батареєю.

2. Підвищувальні зарядні пристрої – Boost використовуються, коли VIN нижче VBATT, наприклад, 5V USB із двокомірковою батареєю. Вони підходять для пристроїв із низькими енергетичними потребами, забезпечує балансування комірок має захист від перенапруги, таймери безпеки та теплове регулювання.

3. Змішані зарядні пристрої – Buck-Boost дозволяють заряджати батарею, навіть якщо VIN вище, нижче або дорівнює VBATT. Це забезпечує швидке заряджання за різних умов, але вимагає більшого корпусу. Buck-boost зарядні пристрої, як-от MP2760, підтримують режими boost, buck і buck-boost. MP2760 оптимізований для акумулятора із 1-4 комірками. Цей зарядний пристрій має

вузькосмугове керування постійним струмом (NVDC) та режим джерела USB On-The-Go (OTG) або USB PD. Режим джерела USB PD дозволяє використовувати USB-пристрої (наприклад, зовнішній акумулятор) як джерело живлення, щоб інші USB-пристрої (наприклад, смартфон) могли заряджатися від нього.

1.5. Висновки. Мета та завдання роботи

Виходячи з проведеного аналітичного огляду літератури можна зробити наступні висновки: літієві акумулятори набули широкого використання у багатьох галузях.

До їх переваг належать:

1. Висока питома електроємність. Типові значення $110 \dots 160 \text{Вт} \cdot \text{год} \cdot \text{кг}$, що в 1,5 ... 2,0 разів перевищує аналогічний параметр для нікелевих акумулятора. Відповідно, при рівних габаритах місткість літієвої батареї вище.
2. Низький саморозряд: приблизно 10% на місяць. У нікелевих батареях цей параметр дорівнює 20-30%.
3. Відсутня «ефект пам'яті», завдяки чому ця батарея проста в обслуговуванні: не потрібно розряджати акумулятор до мінімуму перед черговою зарядкою.

Але необхідно враховувати, що для забезпечення довгої та безпечної їх експлуатації, літієві акумулятори мають також особливості:

1. Необхідність захисту струму та напруги. Зокрема, необхідно виключити можливість короткого замикання акумулятора, подачі напруги зворотної полярності, перезарядження.
2. Необхідність захисту від перегріву: нагрівання батареї вище певного значення негативно впливає на її ємність та термін служби.

Відповідно, у роботі поставлено мету: розробити систему управління літієвою батареєю в резервних джерелах електроживлення та дослідити її роботу. Для досягнення поставленої мети в роботі проаналізовано рекомендований алгоритм зарядки літієвих акумуляторів, обрано інтегральні мікросхеми, що дозволяють здійснити необхідний алгоритм та проведено дослідження пристрою на комп'ютерній моделі та на фізичній моделі шляхом безпосереднього вимірювання.

2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ

2.1 Короткий опис системи для моделювання.

Для моделювання взято пристрій резервного живлення, що використовує в якості джерела електричної енергії для заряду літійової батареї сонячну панель (Рис. 2.1).

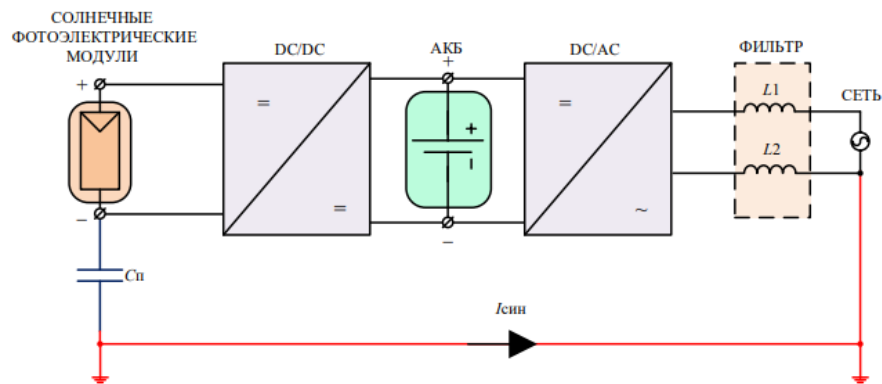


Рисунок 2.1 – Структура інвертора без трансформатора

Схема складається із сонячної панелі, перетворювача рівня постійної напруги (DC-DC перетворювача), акумуляторної батареї (АКБ) інвертора напруги (DC-AC перетворювача) і фільтра. DC-DC перетворювач потрібний для узгодження вихідної напруги від сонячної панелі з напругою зарядки акумуляторної батареї. Інвертора напруги (DC-AC перетворювач) призначений для перетворення постійної напруги від акумулятора в змінну напругу, що відповідає живлячої мережі (220 В, 50 Гц).

Додатково схема має містити схему управління зарядом і розрядом АКБ (BMS), але в даному розділі при моделюванні цей пристрій не враховується. Його розгляд буде наведено у наступному розділі роботи.

2.2. Модель підсистеми зарядження батареї від сонячної панелі.

Тип і параметри сонячної панелі (МП) вказано о таблиці на рис. 2.2.

Параметри сонячної панелі	
Module:	SolarTech Universal HJTБ-W-325
Maximum Power (W)	329.5248
Cells per module (Ncell)	60
Open circuit voltage Voc (V)	44.07
Short-circuit current Isc (A)	9.51
Voltage at maximum power point Vmp (V)	37.92
Current at maximum power point Imp (A)	8.69
Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)	-0.237
Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)	0.035005

Рисунок 2.2. Тип і параметри сонячної батареї.

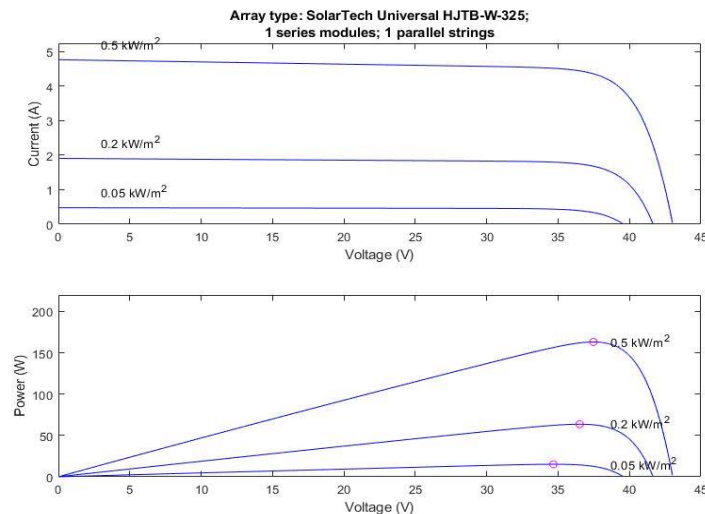


Рисунок 2.3. Характеристики сонячної панелі.

Номінальна вихідна напруга сонячної батареї 60 В. Але в залежності від опромінювання, струму і потужності навантаження вихідна напруга може зменшуватися до 40 В (Рис. 2.3).

У зв'язку з цим акумуляторна батарея (АКБ) взята з номінальною напругою 24 В. Для узгодження напруги СП і АКБ використано перетворювач постійної напруги, що зменшує її до 24 В для зарядження АКБ (Рис. 2.4).

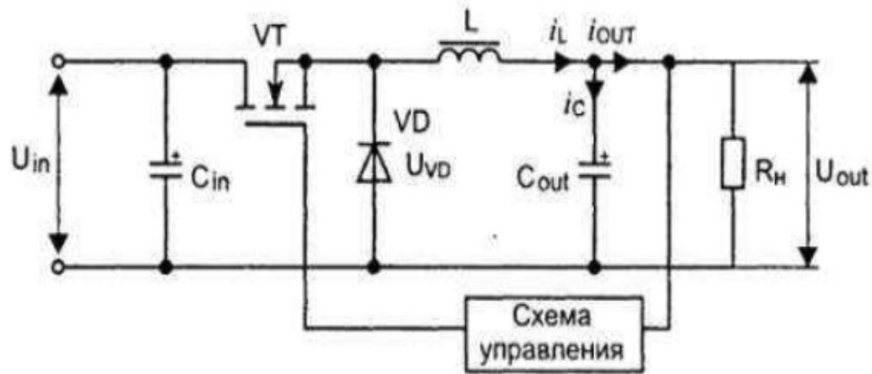


Рисунок 2.4. Схема перетворювача постійної напруги

Розрахунок конвертора проведено за відомими формулами.

$$L = \frac{V_{OUT} \times (V_{IN} - V_{OUT})}{\Delta I_L \times f_S \times V_{IN}}$$

$$\Delta I_L = (0.2 \text{ to } 0.4) \times I_{OUT(max)}$$

$$C_{OUT(min)} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_S \times \Delta V_{OUT}}$$

В результаті розрахунків отримано $C=40$ мкФ, $D=30$ мкГн.

Модель для дослідження зарядження АКБ від сонячної батареї була розроблена у пакеті LTSpice (Рис. 2.5).

Модель схеми зарядження акумуляторної батареї від сонячної панелі

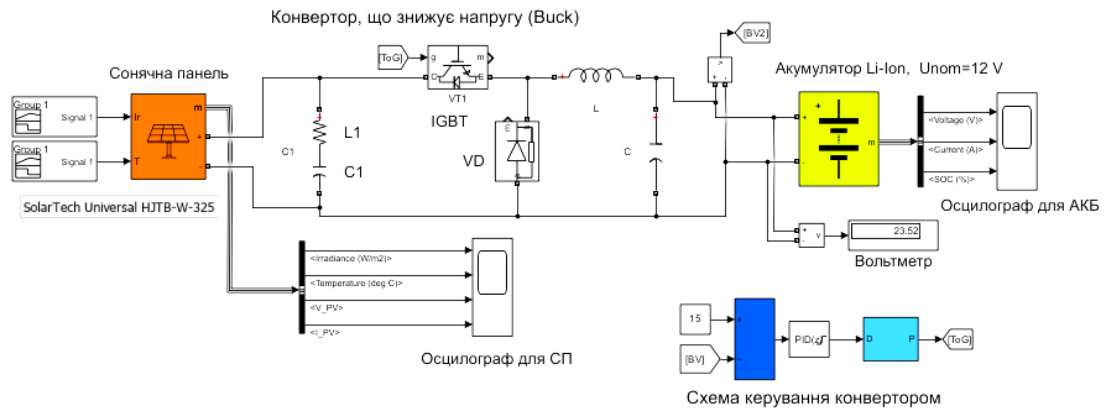


Рисунок 2.5. Модель для дослідження зарядження АКБ від сонячної батареї

Результати дослідження заряда АКБ наведено на рис. 2.6, 2.7.

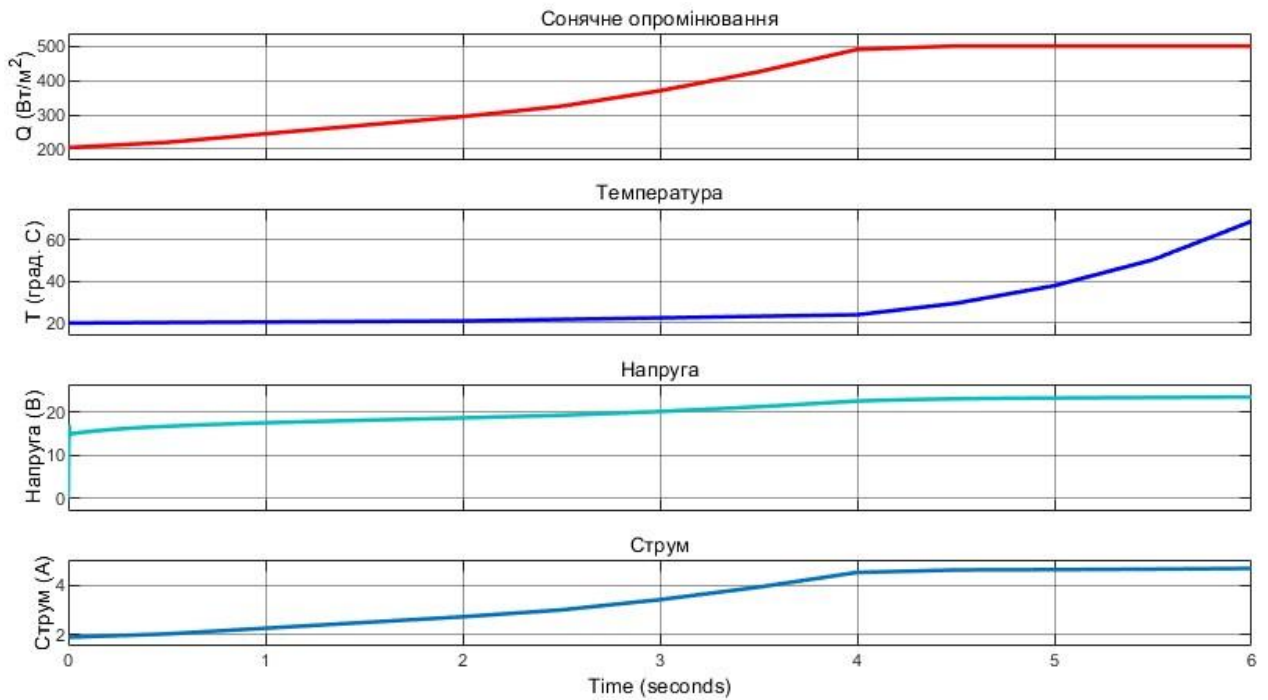


Рисунок 2.6. Залежності параметрів СП від часу.

На рис. 2.6 наведено залежності сонячного опромінювання, температури, напруги та струму що генерує СП при прийнятих при моделюванні припущеннях.

На рис. 2.7 наведено результати дослідження параметрів АКБ в процесі зарядження.

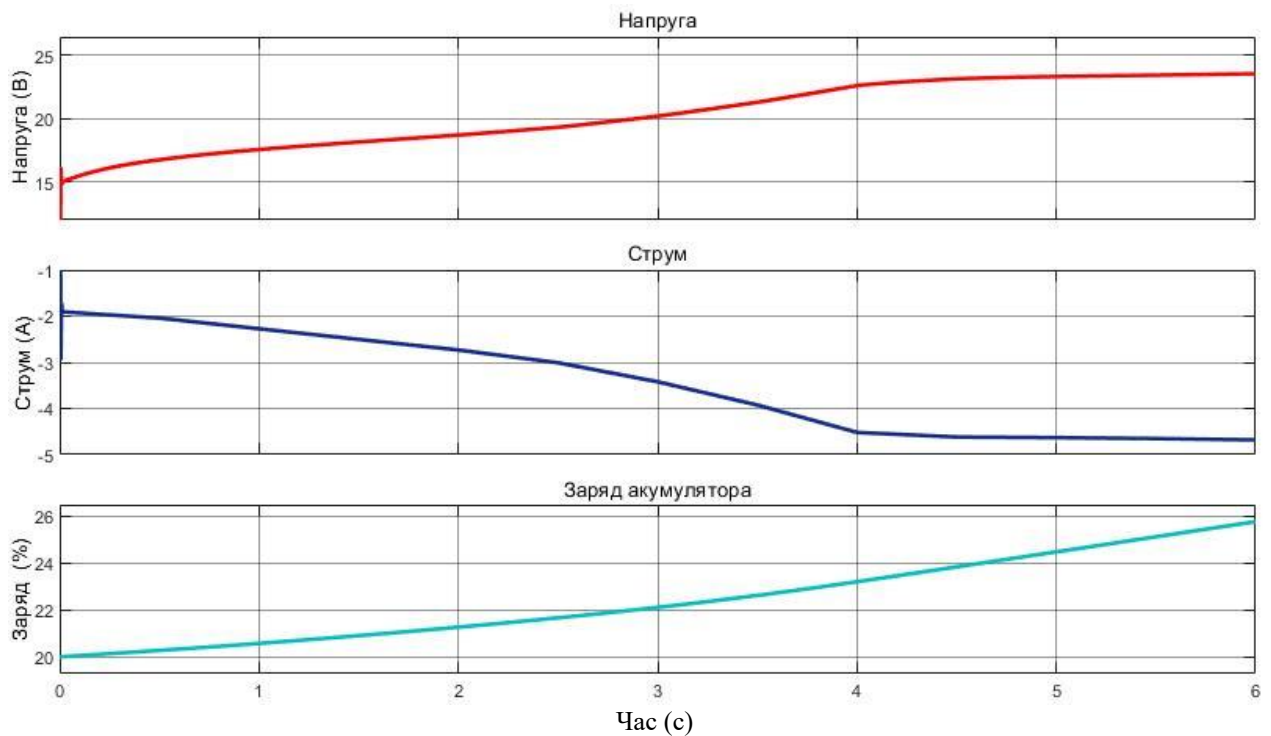


Рисунок 2.7. Результати дослідження параметрів АКБ в процесі зарядження.

Режим заряду взято за рекомендаціями для літій-іонних батарей, а саме, - на першому етапі напруга збільшується, але після досягнення номінальної напруги заряд іде при постійній нарузі. Оскільки заряд в реальному часі іде досить повільно, на рисунку 2.6 умовно показано процес заряду для батареї меншої ємності, ніж у реальному пристрою, що дозволило показати збільшення заряду АКБ від 20 до 26 % на протязі 6 с.

В цілому модель дозволяє промоделювати різні варіанти роботи АКБ при підзарядці від різних значень залишкового заряду АКБ, а також різними значеннями струму.

3. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ УПРАВЛІННЯ ЗАРЯДОМ ЛІТІЄВОЇ БАТАРЕЇ.

3.1. Алгоритм зарядження літійових акумуляторів.

Для довгої роботи літійових акумуляторів необхідно підтримувати певний режим їх заряду і розряду, що не дозволяє виходити напрузі акумулятора за певні граничні рівні і, в той же час дозволяє провести заряд і розряд на протязі необхідного технологічного часу.

Алгоритм заряду літійових акумуляторів, представлений рис. 3.1.

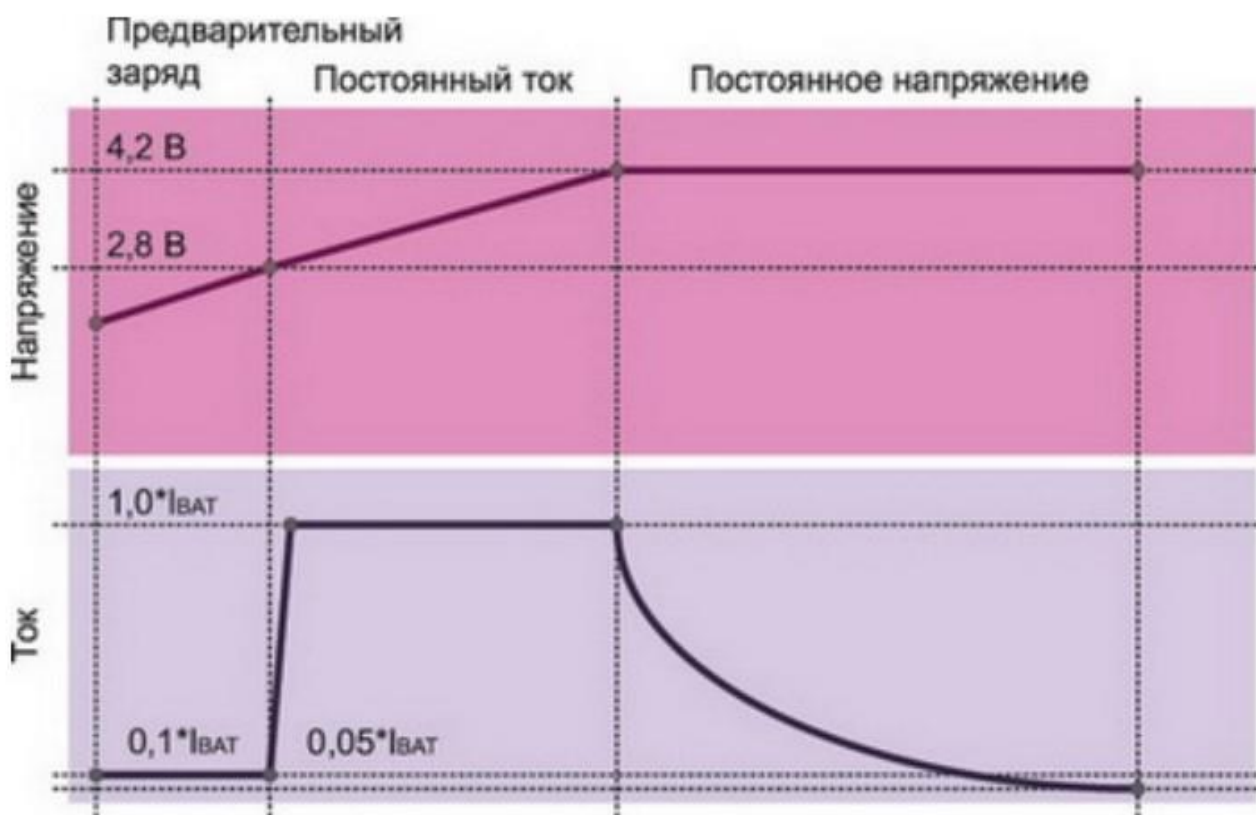


Рисунок 3.1. Алгоритм заряду літійових акумулятора

Перша фаза, так званий попередній заряд, використовується лише у випадках, коли батарея сильно розряджена. Якщо напруга батареї нижче 2,8 В, її не можна відразу заряджати максимально можливим струмом: це вкрай

негативно позначиться терміні служби акумулятора. Необхідно спочатку "підзарядити" батарею малим струмом приблизно до 3,0 В, і тільки після цього заряд максимальним струмом стає допустимим.

Друга фаза: зарядний пристрій джерелом постійного струму. На цьому етапі через батарею протікає максимальний для заданих умов струм. При цьому, напруга акумулятора поступово зростає доти, доки досягне граничного значення, рівного 4,2 В. Строго кажучи, по завершення другого етапу заряд можна припинити, але при цьому слід мати на увазі, що акумулятор на даний момент заряджений приблизно на 70% своєї ємності. Зазначимо, що у багатьох зарядних пристроях максимальний струм подається не відразу, а плавно наростає до максимуму протягом декількох хвилин – використовується механізм "плавного старту" (Soft Start).

Якщо бажано зарядити батарею до значень ємності, близьких до 100%, переходимо до третьої фази: зарядний пристрій як джерело постійної напруги. На цьому етапі до батареї додано постійна напруга 4,2 а струм, що протікає через батарею, в процесі заряду зменшується від максимуму до деякого наперед заданого мінімального значення. У той момент, коли значення струму зменшується до цього краю, заряд батареї вважається закінченим і завершується.

Одним із ключових параметрів акумуляторної батареї є її ємність (одиниця вимірювання – А*год). Так, типова ємність літій-іонного акумулятора типорозміру ААА дорівнює 750...1300 мА*год. Як похідна від цього параметра використовується характеристика струм 1С, це величина струму, чисельно рівна номінальної ємності (у наведеному прикладі – 750 ... 1300 мА). Значення «струму 1С» має сенс лише як визначення величини максимального струму при заряді батареї та величини струму, коли він заряд вважається закінченим. Вважають, що величина максимального струму має перевищувати величини $1*1С$, а заряд батареї вважатимуться завершеним при зниженні струму до величини 0,05 ...

0,10*1С. Але це параметри, які можна вважати оптимальними для конкретного типу батареї. Насправді один і той же зарядний пристрій може працювати з акумуляторами різних виробників та різної ємності, при цьому ємність конкретна батарея залишається для зарядного пристрою невідомою. Отже, заряд батареї будь-якій ємності в загальному випадку відбуватиметься не в оптимальному для батареї режимі, а в режимі, встановлений для зарядного пристрою.

Перейдемо до розгляду лінійки мікросхем заряду компанії STMicroelectronics.

3.2. Вибір мікросхеми для пристрою зарядки

В теперішній час є багато фірм, що виробляють ІМС для зарядки літієвих акумулятора. В роботі обрано дві мікросхеми, що дозволяють просто реалізувати процес зарядження, а саме, STBC08 і STC4054.

Мікросхема STBC08

Автономний лінійний літій-іонний зарядний пристрій на 800 мА з терморегуляцією.

Особливості

- Програмований струм заряду до 800 мА
- Не потрібні зовнішні МОП-транзистори, чутливі резистори або блокувальні діоди
- Повний лінійний зарядний пристрій для однокомпонентних Li-Ion акумуляторів
- Робота з постійним струмом/постійною напругою з тепловим регулюванням для максимізації швидкості заряду без ризику перегріву

- Два вихідних контакти стан заряду
- Заряджає одноелементні літій-іонні батареї безпосередньо від порту USB
- Попередньо встановлена напруга заряду 4,2 В з точністю 1%.
- Монітор струму заряду для вимірювача газу
- Автоматична підзарядка
- Блокування зниженої напруги
- Припинення заряду C/10
- Струм живлення 25 мкА в режимі вимкнення
- Виявлення низької напруги батареї для налаштування попередньої зарядки
- Функція плавного пуску обмежує пусковий струм
- Пакет DFN6 (3 x 3 мм) (для покращення розсіювання потужності)

Сфера застосування: Стільникові телефони, КПК, Пристрої Bluetooth®, пристрої, що працюють від акумуляторів.

Опис

STBC08 — це зарядний пристрій із постійним струмом/постійною напругою для одноелементних Li-Ion батареї. Ні зовнішній сенсорний резистор, ні блокуючий діод не потрібні. STBC08 є призначений для роботи в межах специфікацій живлення USB. Внутрішній блок регулює струму, коли температура переходу зростає, щоб захистити пристрій, коли він працює в умовах високої потужності або високої температури навколишнього середовища. Напруга заряду фіксується на 4,2 В, а обмеження струму можна запрограмувати за допомогою одного резистора підключений між контактом PROG і GND. Цикл

зарядки відбувається автоматично припиняється, коли струм, який надходить до батареї, становить 1/10 від запрограмованого значення. Якщо зовнішній адаптер вийняти, STBC08 вимикається та отримує струм 2 мкА може надходити від акумулятора до пристрою. Пристрій може перебувати в режимі відключення, знижуючи струм живлення до 25 мкА. Пристрій також має монітор струму заряду, блокування мінімальної напруги, автомат перезарядити. Припинення заряду та наявність вхідної напруги позначаються двома розділені контакти стану.

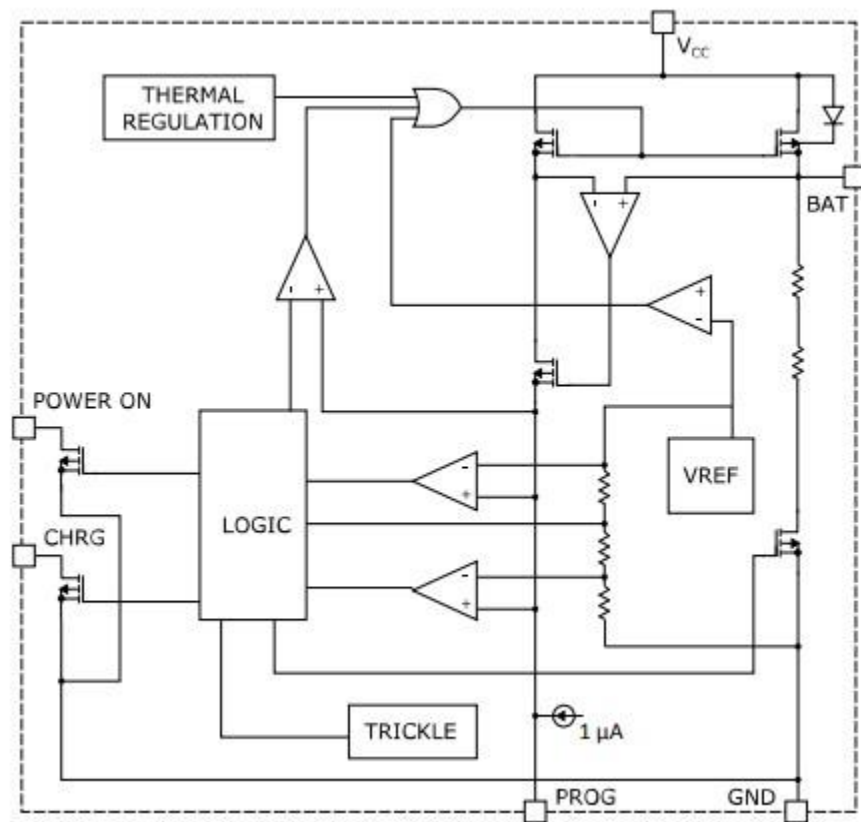


Рисунок 3.2. Блок-схема

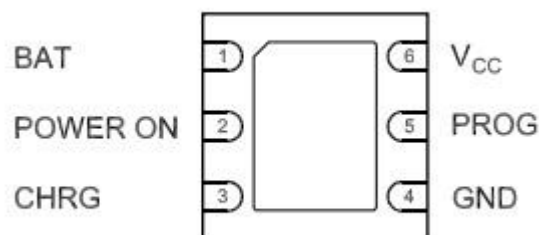


Рисунок 3.3. Штифтове підключення (вид зверху)

Таблиця 3.1. Опис піна

Pin	Symbol	Notes
1	BAT	Цей висновок забезпечує точну вихідну напругу 4,2 В і струм заряду
2	POWER ON	Відкритий дренаж. Коли STBC08 виявляє умову блокування зниженої напруги або коли зовнішній адаптер забезпечує вхідну напругу вище 7,2 В або менше, ніж акумулятор напруги, POWER ON переходить у стан високого імпедансу.
3	CHRГ	Відкритий дренаж. Цей висновок переходить до низького опору, коли STBC08 знаходиться в режимі попередньої зарядки або режим зарядки
4	GND	Заземлення
5	PROG	Програма заряджання струму, монітор струму заряджання та контакт вимкнення. Поточний обмеження програмується за допомогою RPROG допуску 1% між контактом PROG і GND.
6	VCC	Вхідна напруга живлення. Вхідний діапазон коливається від 4,25 до 6,5 В. Якщо $VCC < VBAT + 30$ мВ, пристрій переходить у режим вимкнення, а поглинений I _{BAT} менше ніж 2 мкА.
7	Exposed pad	Підключено до GND або залишено плаваючим.

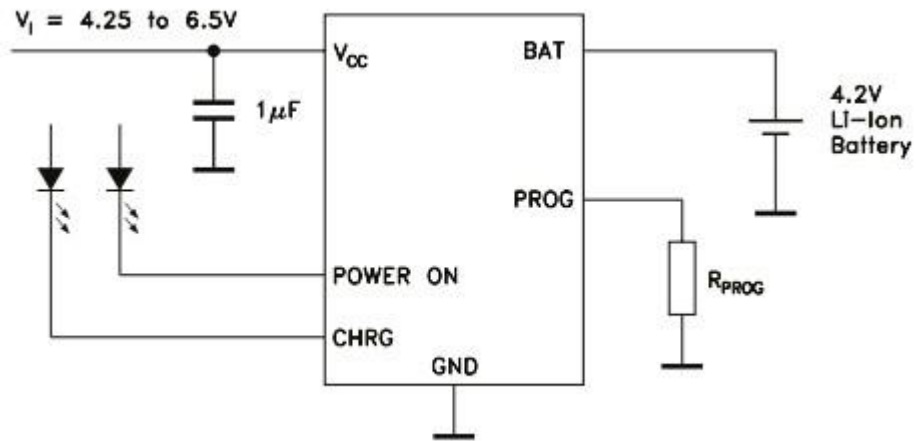


Рисунок 3.4. Схема застосування

Таблиця 3.2. Абсолютні максимальні значення.

Символ	Параметр	Значення	Одиниця вимірювання
VCC	Вхідна напруга живлення	Від - 0.3 до 10	V
VBAT	Напруга контакту акумулятора	Від - 0.3 до VCC +0.3	V
VPROG	Напруга контакту акумулятора	Від - 0.3 до 7	V
VCHRG	Напруга на контакті CHRG	Від - 0,3 до 7	V
VPOWER-ON	Напруга на контакті POWER ON	Від - 0.3 до 7	V
VLV	TEMP, LED1, LED2, ISET	Від - 0.3 до VREF +0.3	V
IBAT	Струм виводу BAT	800	mA
IPROG	Струм контакту PROG	800	µA
	Тривалість короткого замикання BAT	Безперервний	

PD	Розсіювання потужності	Внутрішньо обмежений	mW
TJ	Максимальна температура з'єднання	125	°C
TSTG	Діапазон температур зберігання	– від 65 до 125	°C
TOP	Діапазон робочих температур спаю	– від 40 до 85	°C

Таблиця 3.3. Теплові дані

Символ	Параметр	Значення	Одиниця вимірювання
Rth(JA)	Термічний опір переходу навколишнього середовища	105.7	°C/W

Мікросхема STC4054

Автономний лінійний Li-Ion 800mA зарядний пристрій з терморегуляцією

Короткий опис функцій

- Програмований зарядний струм до 800 мА
- Немає зовнішнього MOSFET, сенсорних резисторів або потрібен блокуючий діод
- Робота з постійним струмом/постійною напругою з терморегуляцією для максимального заряду швидкість без ризику перегріву
- Заряджає одноелементні літій-іонні акумулятори безпосередньо від порт USB

- Попередньо встановлена напруга заряду 4,2 В з точністю 1%.
- Автоматична підзарядка
- Вихідний контакт стану заряду
- Вихід монітора струму заряду для вимірювання газу
- C/10 Припинення заряду
- Струм живлення 25 мкА в режимі вимкнення
- Виявлення низької напруги акумулятора для попереднього заряджання налаштування
- Плавний пуск обмежує пусковий струм
- Пакет TSOT23-5L

Сфера застосування: Стільникові телефони, КПК, Програми Bluetooth, Пристрої з живленням від акумулятора

Опис

STC4054 є постійним струмом/постійним зарядний пристрій для однокомпонентних Li-Ion акумуляторів. Немає потрібен зовнішній чутливий резистор або блокуючий діод, і пакет ThinSOT ідеально підходить для цього підходить для портативних програм. STC4054 розроблено для роботи через USB характеристики потужності. Регулює внутрішній блок струм при температурі переходу збільшується, щоб захистити пристрій, коли він працює при високій потужності або високому навколишньому середовищі температура. Напруга заряду фіксується на рівні 4,2В, а обмеження струму заряду можна запрограмувати за допомогою одного резистора, підключеного між PROG контактний і GND. Цикл зарядки відбувається автоматично припиняється при надходженні струму до батареї становить 1/10 запрограмованого значення. Якщо зовнішній адаптер вийнято, STC4054 вимкнеться і а Струм 2 мкА може протікати

від батареї до пристрій. Пристрій можна перевести в режим вимкнення Режим, що знижує струм живлення до 25 мкА. Пристрій також має монітор струму заряду, під блокування напруги, автоматична підзарядка. Прилад є упаковані в TSOT23-5L.

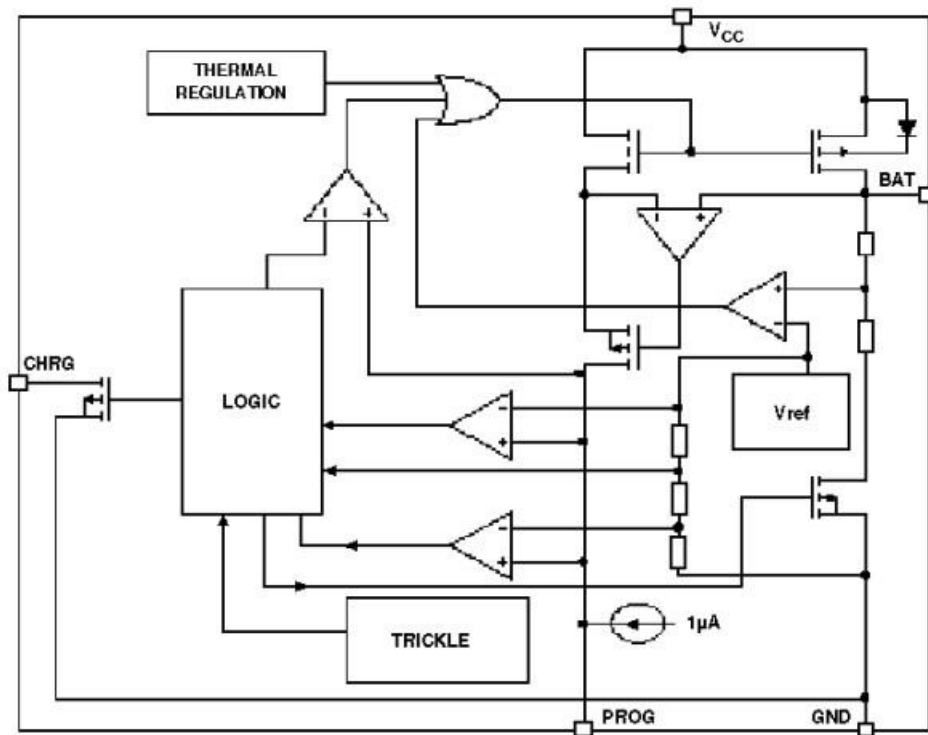


Рисунок 3.5. Блок-схема

Конфігурація контактів

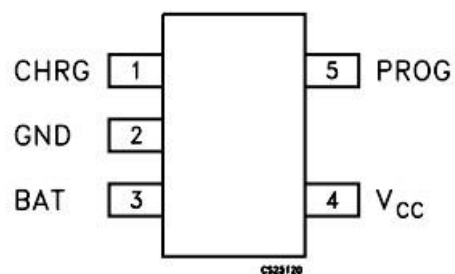


Рисунок 3.6. Штифтові з'єднання (вид зверху)

Таблиця 3.4. Опис пін

Pin N°	Символ	Примітка
1	CHRG	Цей пін переходить у низький імпеданс, коли STC4054 знаходиться в режимі попереднього заряду або зарядки.
2	GND	Пін заземлення
3	BAT	Цей пін забезпечує точну вихідну напругу 4,2 В і струм заряду для батареї. Лише 2 мкА зворотного струму може протікати в пристрій у режимі вимкнення
4	VCC	Вхід Напруга живлення. Вхідний діапазон від 4,25 В до 6,5 В. Якщо $VCC < VBAT + 30\text{мВ}$, пристрій переходить у режим вимкнення, а поглинений I_{BAT} становить менше 2 мкА
5	PROG	Виконує функції контролю зарядного струму та активації/деактивації зарядного пристрою.

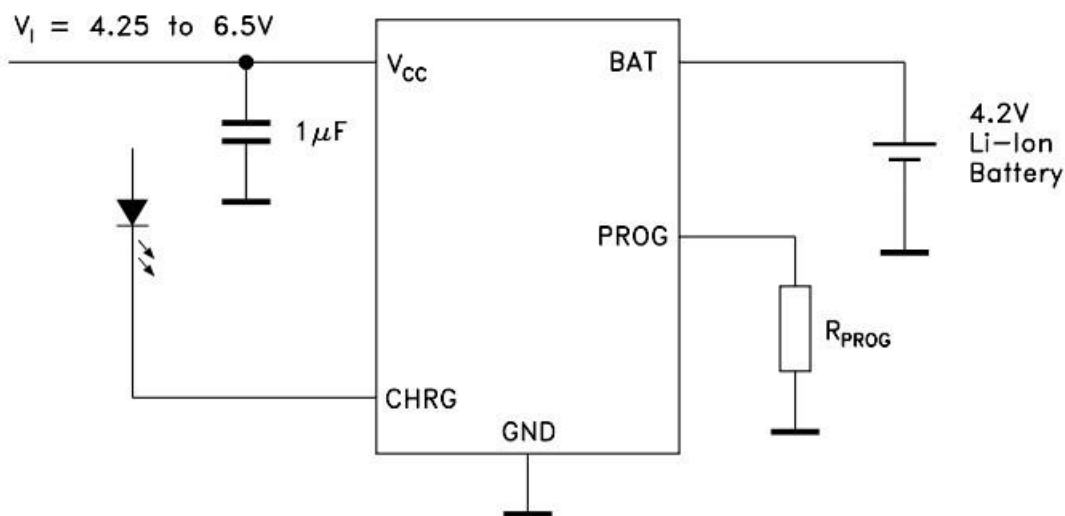


Рисунок 3.7. Схема застосування

Таблиця 3.5. Абсолютні максимальні оцінки

Символи	Параметри	Значення	Одиниця
VCC	Вхідна напруга живлення	Від -0,3 до 10	V
VBAT	Напруга на контакті VBAT	Від -0,3 до 7	V
VPROG	Напруга на контакті PROG	Від -0,3 до VCC+0,3	V
VCHRG	Напруга на контакті CHRГ	Від -0,3 до 7	V
IBAT	Струм виводу VBAT	800	mA
IPROG	Струм контакту PROG	800	μA
	Тривалість короткого замикання VBAT	Безперервний	
PD	Розсіювання потужності	Внутрішньо обмежено	mW
TJ	Максимальна температура з'єднання	125	°C
TSTG	Діапазон температур зберігання	-65 до 125	°C
TOP	Діапазон робочих температур спаю	-40 до 85	°C

Таблиця 3.6. Теплові дані

Символ	Параметр	Значення	Одиниця
RthJC	Корпус термічного опору	81	°C/W
RthJA	Термічний опір переходу навколишнього середовища	255	°C/W

3.3. Пристрої зарядження літієвих акумулятора

На основі довідкових даних розроблені пристрої зарядки акумуляторів на STBC08 та STC4054. Мікросхеми виконані у мініатюрних корпусах типу DFN6 та TSOT23-5L. Це дозволяє використовувати дані компоненти в мобільних пристроях з досить жорсткими вимогами за масогабаритними характеристиками, наприклад, стільникові телефони, MP3-плеєри.

Схеми включення STBC08 і STC4054 представлені рисунку 3.8.

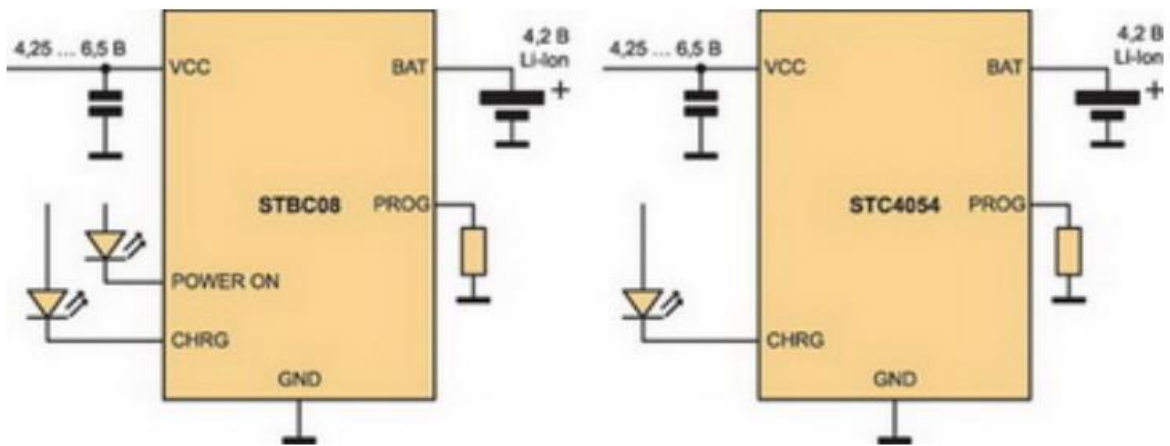


Рисунок 3.8. Схеми включення мікросхем STBC08 та STC4054

Немає необхідності застосування зовнішнього MOSFET-транзистора, блокувального діода і струмового резистора. Як випливає з рисунка, зовнішня обв'язка обмежується конденсатором, що фільтрує, на вході, програмуємим резистором і двома (для STC4054 одним) індикаторними світлодіодами. Максимальне значення струму заряду програмується номіналом зовнішнього резистора і може досягати 800мА. Факт закінчення заряду визначається в той момент, коли в режимі постійної напруги значення зарядного струму знизиться

до величини $0,1 \cdot I$, тобто також задається номіналом зовнішнього резистора. Максимальний струм заряду визначається із співвідношення:

$$I = (V/R) \cdot 1000;$$

де I – струм заряду в Амперах,

R – опір резистора в Омах,

V – напруга на виході PROG, що дорівнює 1,0 Вольта.

У режимі постійної напруги на виході формується стабільна напруга 4,2 з точністю не гірше 1%.

Заряд сильно розряджених акумулятора автоматично починається з попереднього заряджання. До того часу, поки напруга на виході акумулятора досягне величини 2,9В, заряд здійснюється слабким струмом величиною $0,1 \cdot I$. Подібний метод, як зазначалося, запобігає дуже можливий вихід із ладу при спробі заряду сильно розряджених акумуляторів звичайним способом. Крім того, величина стартового значення зарядного струму примусово обмежується, що збільшує термін служби акумулятора.

Реалізовано режим автоматичної крапельної підзарядки-при зниженні напруги батареї до 4,05В цикл заряду буде перезапущено. Це дозволяє забезпечити постійний заряд батареї на рівні не нижче 80% його номінальної ємності.

Захист від перенапруги та перегріву

Якщо значення вхідної напруги перевищує певну межу (зокрема, 7,2В) або якщо температура корпусу перевищить величину 120°C, зарядний пристрій відключається, захищаючи себе і акумулятор. Зрозуміло, реалізовано також захист від низької вхідної напруги- якщо вхідна напруга опустилася нижче певного рівня (U), то зарядний пристрій також відключиться.

Можливість підключення світлодіодів індикації дозволяє користувачеві мати уявлення про поточний стан процесу заряджання батареї.

3.4. Висновки за розділом. Постановка мети та завдань роботи

Виходячи з проведеного аналітичного огляду літератури можна зробити наступні висновки за розділом: в роботі обрано дві мікросхеми, що дозволяють просто реалізувати процес зарядження: STBC08 – це зарядний пристрій із постійним струмом/постійною напругою для одноелементних Li-Ion батареї, STC4054 – автономний лінійний Li-Ion 800mA зарядний пристрій з терморегуляцією.

Сфера застосування STBC08 та STC4054: стільникові телефони, КПК, Пристрої Bluetooth®, пристрої, що працюють від акумуляторів.

Зарядні пристрої STBC08 та STC4054 представляють собою:

- програмований струм заряду до 800 мА
- заряджає одноелементні літій-іонні акумулятори безпосередньо від порт USB
- попередньо встановлена напруга заряду 4,2 В з точністю 1%.
- вихід монітора струму заряду для вимірювання газу
- припинення заряду C/10
- струм живлення 25 мкА в режимі вимкнення
- автоматична підзарядка
- плавний пуск обмежує пусковий струм

Особливості зарядного пристрою STBC08:

- не потрібні зовнішні МОП-транзистори, чутливі резистори або блокувальні діоди
- повний лінійний зарядний пристрій для однокомпонентних Li-Ion акумуляторів
- робота з постійним струмом/постійною напругою з тепловим регулюванням для максимізації швидкості заряду без ризику перегріву
- два вихідних контакти статусу заряду
- блокування зниженої напруги
- виявлення низької напруги батареї для налаштування попередньої зарядки
- пакет DFN6 (3 x 3 мм) для покращення розсіювання потужності

Особливості зарядного пристрою STC4054:

- немає зовнішнього MOSFET, сенсорних резисторів або потрібен блокуючий діод
- робота з постійним струмом / постійною напругою з терморегуляцією для максимального заряду швидкість без ризику перегріву
- вихідний контакт стану заряду
- виявлення низької напруги акумулятора для попереднього заряджання налаштування
- пакет TSOT23-5L

Алгоритм заряду літєвих акумуляторів:

1. Перша фаза, так званий попередній заряд, використовується лише у випадках, коли батарея сильно розряджена.
2. Друга фаза: зарядний пристрій джерелом постійного струму.

3. Третя фаза: зарядний пристрій як джерело постійної напруги

Є захист від перенапруги та перегріву: якщо значення вхідної напруги перевищує певну межу (зокрема, 7,2В) або якщо температура корпусу перевищить величину 120°C – зарядний пристрій відключається, захищаючи себе і акумулятор; якщо вхідна напруга опустилася нижче певного рівня (U), то зарядний пристрій також відключиться.

Метою роботи є проведення дослідження системи управління літієвою батареєю у резервних джерелах електроживлення.

Для досягнення мети треба виконати такі завдання:

1. Проаналізувати структурні схеми і принцип дії резервних джерел живлення.
2. Провести літературний огляд літієвих акумуляторів. Для досліджень вибрано літій-іонний акумулятор.
3. Провести моделювання резервного джерела живлення на літієвій батареї, що заряджається від сонячної панелі через перетворювач постійної напруги, що узгоджує вихідну напругу сонячної панелі з напругою акумулятора, достатньою для його заряду.
4. Розглянути схему пристрою управління зарядом і розрядом АКБ на доступній і дешевій ІМС.
5. Дослідити роботу АКБ з пристроєм управління зарядом і розрядом.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАРЯДОМ ЛІТІЄВОЇ БАТАРЕЇ

4.1. Коротка характеристика пристрою для дослідження

Для дослідження проведено на одному літєвому елементі типу Sony / Murata US18650VTC6 3120mAh - 30A.

Тип елемента - Li-ion, номінальна напруга – 3.6V, мінімальна ємність (mAh) – 3 000,00, розрядний струм (A) – 30, без захисту електричного кола. В якості системи управління використаний пристрій розглянутий у попередньому розділі.

В якості навантаження і зарядного пристрою використано спеціальний блок живлення, що дозволяє передавати залежність струму на комп'ютер, записувати його та будувати зарядно розрядні характеристики.

Фотографія установки для дослідження наведена на рис. 4.1.

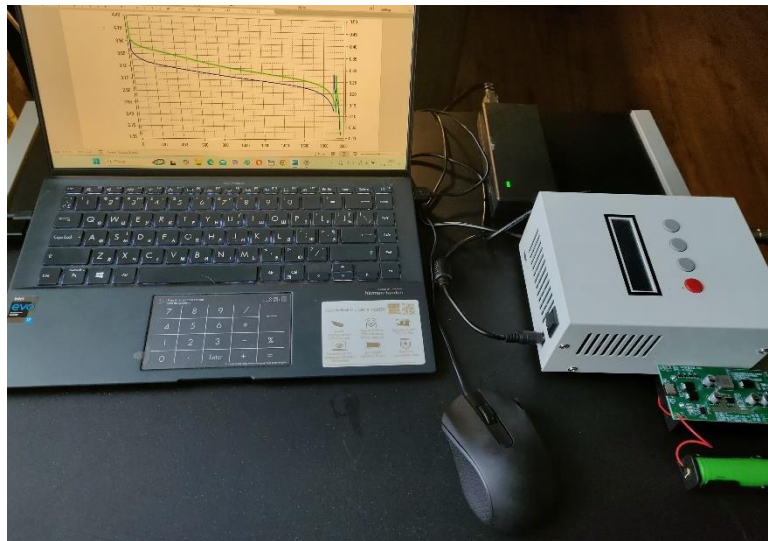


Рис. 4.1. Установки для дослідження розрядно-зарядних характеристики літєвого елемента

На Рис. 4.2 – 4.5 наведено розрядно-зарядні характеристики літєвого елемента.

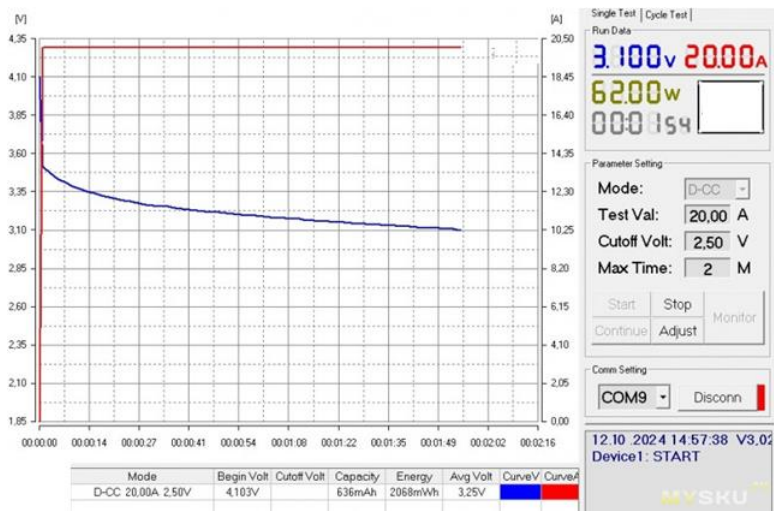


Рис. 4.2. Розрядна характеристика літієвого елемента на другій хвилині після початку розряду від початкової напруги 4.103 В струмом 20 А. Отдана ємність елементом 636 мА г, енергія 2068 мВт г.

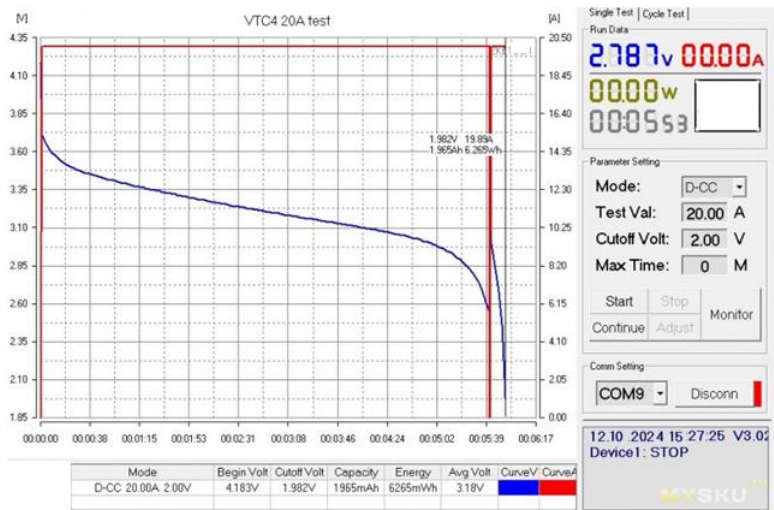


Рис. 4.3. Розрядна характеристика літієвого елемента від початкової напруги 4.183 В струмом 20 А. до заданого порогового значення 1.982 В. Ємність і енергія наведені на рисунку.

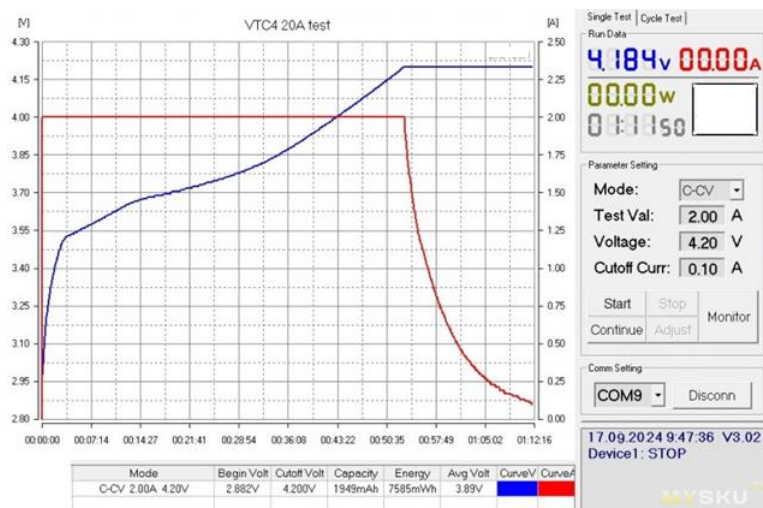


Рис. 4.4. Зарядна характеристика літійового елемента постійним струмом 2 А на початковій ділянці і постійною напругою 4.2 В на другій ділянці.

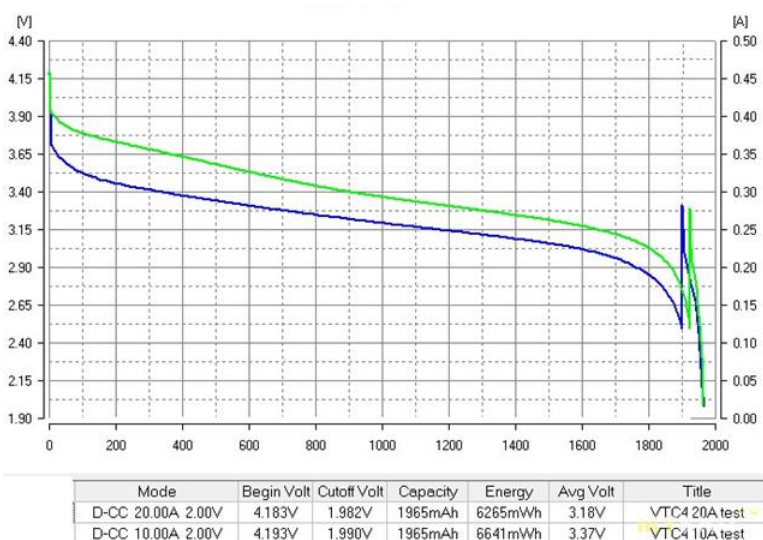


Рис. 4.5. Порівняльні розрядні характеристика літійового елемента двома струмами 20 А (синя крива) і 10 А (зелена крива)..

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено дослідження системи управління літієвою батареєю у резервних джерелах електроживлення.
2. Для досягнення мети роботи проаналізовано структурні схеми і принцип дії резервних джерел живлення.
3. Проведено літературний огляд літієвих акумуляторів. Для досліджень вибрано літій-іонний акумулятор.
4. В програмі LTSpice проведено моделювання резервного джерела живлення на літієвій батареї. Заряд батареї проходить від сонячної панелі через перетворювач постійної напруги, що узгоджує вихідну напругу сонячної панелі з напругою акумулятора, достатньою для його заряду.
5. Розглянута схема з підзарядом АКБ постійною напругою 4.4, яка не приведе до погіршення параметрів АКБ. Але для контролю зарядного і розрядного струму і граничних напруг необхідно використовувати спеціальні пристрої, що управляють зарядом і розрядом АКБ.
6. В роботі розглянуто схему пристрою управління зарядом і розрядом АКБ на доступній і дешевій ІМС.
7. Досліджено роботу АКБ з пристроєм управління зарядом і розрядом. Наведено експериментально виміряні характеристики елемента Sony/Murata US18650VTC6 3120mAh - 30A.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рыкованов А. Современные Li-ion аккумуляторы. Типы и конструкция.
2. Зубчук В.И. Справочник по цифровой схемотехнике. / Зубчук В.И., Сигорский В.П., Шкуро А.Н. – К.: Техника, 1990. – 446 с.
3. Хоровиц П. Искусство схемотехники./ Хоровиц П., Хилл У. –М.: Мир, 1963.
4. Бушмильский И.П. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов/ Бушмильский И.П., Даутов О.Ш., Достанко А.П. – М.: Радио и связь, 1989. – 624 с.
5. Лебедев О.М. Цифровая схемотехника / О.М. Лебедев, О.И. Ладик. – К.: Політехніка, 2004. – 247 с.
6. Чигарев М. Микросхемы управления зарядом аккумуляторов компании ON Semiconductor//Новости Электроники, № 3, 2010.
7. Никитин А. Интегральные схемы управления зарядом аккумуляторов производства Maxim//Новости электроники, № 15, 2009.
8. Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. — М.: Изумруд, 2003.
9. L6924U. USB compatible battery charger system with integrated power switch for Li-Ion/Li-Polymer//Материал компании STMicroelectronics. Размещение в Интернете: <file:///C:/Users/User/Downloads/l6924u-1.pdf>
10. Camiolo Jean, Scuderi Giuseppe. Reducing the Total No-Load Power Consumption of Battery Chargers and Adapter Applications Polymer//Материал компании STMicroelectronics. Размещение в Интернете: <file:///C:/Users/User/Downloads/l6924u.pdf>
11. Camiolo Jean, Scuderi Giuseppe. Reducing the Total No-Load Power Consumption of Battery Chargers and Adapter Applications Polymer//Материал компании STMicroelectronics. Размещение в Интернете: https://www.st.com/content/st_com/en.html

12. Стаття: <http://www.monolithicpower.com/learning/resources/battery-charger-fundamentals?srsId=AfmBOoq22KIq7vMp32a3d-8LlzCP371-rnwBHR0YFpCufbwY-Hf4MKpB> <https://gigacloud.ua/ru/blog/navchannja/li-ion-jak-pracjujut-akumuljatori-ta-chim-ih-zaminjat>
13. Стаття https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%96%D1%82%D1%96%D0%B9-%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%BA%D1%83%D0%BC%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80
14. Електроніка та мікросхемотехніка (Електронний ресурс): навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка»/ А. А. Щерба, К.К. Побєдаш, В.А. Святненко; - Київ: НТУУ «КПІ», 2013.- 360с.
15. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. Закл. Освіти, що навчаються за напрямками «Електромеханіка» та «Електротехніка»: У 4-хт./Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В., Юрченко М.М., Сенько Л.І., Ясінський В.В. -К.: ТОВ «Видавництво Обереги», 2000. Т.1 Елементна база електронних пристроїв.- 300с.
16. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. Закл. Освіти, що навчаються за напрямками «Електромеханіка» та «Електротехніка»: У 4-хт./Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В., Юрченко М.М., Сенько Л.І., Ясінський В.В. - Харків.: Фоліо, 2002. Т.1 Аналогові та імпульсні пристрої.- 510с.
17. Основи промышленной электроники: Руденко В.С., Сенько В.И., Трофонюк В.В./ Учебник для вузов. – Киев, Высшая школа, 1985, -400с.
18. Промислова електроніка: Підручник/ В.С. Руденко, В.Я. Ромашко, В.В. Трофенюк. – Київ, Либідь, 1993, 432с.
19. Приборы и устройства промышленной электроники. Руденко В.С., Сенько В.И., Трифонюк В.В. – Киев, Техника, 1989, 354с.

20. Электроника и микросхемотехника. Лабораторный практикум
Скаржепа В.А., Новацкий А.А. Сенько В.И. Под ред. А.А.
Краснопрошиной. – Выш школа, 1989.
21. Электроника и микросхемотехника. Сборник задач. Скаржепа
В.А., Сенько В.И. Под ред. А.А. Краснопрошиной. – Выш школа,
1989.
22. Основы преобразовательной техники: Учебник для вузов.
Руденко В.С., Сенько В.И., – М., Высшая школа, 1980, -424с.
23. Руденко В.С., Сенько В.И., Трифонюк В.В. Промышленная
электроника. - Киев, Техника, 1975, -503с.
24. Основы промышленной электроники. /В.С. Руденко, Ю.А.
Исаков, А.П. Платонов, В.И. Санько и др. / Киев, Техника, 1976.