

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
(ХНАДУ)

Механічний факультет

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
бакалавра

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ДО  
ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗАРЯДЖАННЯ  
ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

Завідувач кафедри канд. техн. наук, проф.



О.І. Богатов

Нормоконтролер канд. техн. наук



М.В. Москаленко

Керівник канд. техн. наук



І.О. Серікова

Студент гр. ММ-41-19



П.В. Ахмадєєв

Харків - 2023

Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Механічний факультет  
Кафедра Метрології та безпеки життєдіяльності  
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр  
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування  
Спеціальність: 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри,  
проф. Богатов О.І.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

**Ахмадєєву Павлу Володимировичу**

1. Тема роботи: РОЗРОБЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ДО  
ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗАРЯДЖАННЯ ТЯГОВИХ  
АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ,

керівник роботи Серікова Ірина Олексіївна, кандидат технічних наук,  
затверджена рішенням Вченої ради механічного факультету від  
31.03.2023 р. наказ № 31.

2. Строк подання студенткою роботи: 1 червня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: метрологічні вимоги, електронний балансир,  
тягові акумуляторні батареї, електротранспорт, вимірювальна інформаційна  
система.

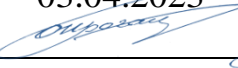
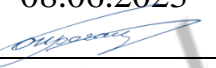
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які  
потрібно розробити):

- теоретичне обґрунтування вибраного напрямку;
- розробка структурної схеми системи;
- розробка електричної принципової схеми системи;
- вибір та розрахунок елементної бази системи;
- охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових  
креслень):

не задано.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав;	завдання прийняв
4	Канд. техн. наук, проф. Богатов О.І.	03.04.2023 	08.06.2023 

7. Дата видачі завдання 03 квітня 2023 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Вивчення літератури.	3 квітня – 17 квітня 2023 р.	виконано
Вивчення особливостей заряджання тягових батарей	18 квітня – 24 квітня 2023 р.	виконано
Огляд датчиків обліку витрат	18 квітня – 24 квітня 2023 р.	виконано
Формулювання висновків	24 травня – 27 травня 2023 р.	виконано
Оформлення пояснювальної записки.	28 травня – 4 червня 2023 р.	виконано
Створення презентації на Power Point.	5 червня – 7 червня 2023 р.	виконано
Подання роботи керівнику	8 червня 2023 р.	виконано

Студент  Ахмадєєв П.В.

Керівник роботи  Серікова І.О.

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 60 с., 12 рис., 1 табл., 1 додаток, 10 джерел.

### МЕТРОЛОГІЧНІ ВИМОГИ, БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ, МЕТОДИ БАЛАНСУВАННЯ, ВИРІВНЮВАННЯ ЗАРЯДУ, ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ АВТОМОБІЛІВ, ТЕХНОЛОГІЯ POWERPUMP, ВИМІРЮВАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА

Об'єкт дослідження – метрологічні вимоги до системи балансування тягової батареї електромобіля.

Предмет дослідження – пристрій вирівнювання заряду між елементами батареї за допомогою електронного балансиру.

Мета роботи – підвищення ефективності використання тягової батареї електромобіля за рахунок розроблення метрологічних вимог до вимірювальної інформаційної системи заряджання тягових акумуляторних батарей електротранспорту.

Проведений аналіз метрологічних характеристик існуючих методів, що дозволяють істотно підвищити зручність користування електричним транспортом. Обґрунтовано використання пасивного методу балансування. Розроблені метрологічні вимоги до інформаційно-вимірювальної системи заряджання тягових акумуляторних батарей.

Розглянуті проблеми вирівнювання заряду Li-Ion батарей.

З'ясовано, що метрологічні характеристики технології Powerpump мають кращі показники та більше підходять для вирішення проблеми балансування тягових акумуляторних батарей.

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

## ЗМІСТ

1	Метрологічні характеристики Li-ion акумуляторів .....	6
2	Метрологічні характеристики зарядних пристроїв.....	19
2.1	Метрологічні вимоги до вирівнювання заряду литій-іонних батарей.....	27
3	Метрологічні характеристики методів балансування Li-Ion батареї.....	29
3.1	Пасивний метод балансування.....	29
3.2	Активне балансування .....	33
4	Метрологічні вимоги до активного й пасивного балансування.....	36
5	Охорона праці .....	39
5.1	Виробничі шкідливості і небезпечні фактори.....	39
5.2	Пожежна безпека.....	44
	Висновок .....	46
	Перелік посилань.....	47
	Додаток А Ілюстративний матеріал до дипломної роботи .....	48

## 1 МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ LI-ІОН АКУМУЛЯТОРІВ

Найчастіше в мобільних пристроях (ноутбуки, мобільні телефони, КПК і інші) застосовують літій-іонні (Li-ion) акумулятори. Це пов'язане з їхніми перевагами в порівнянні з нікель-кадмієвими (Ni-Cd) нікель-металгідридними (Ni-mh) акумуляторами, що широко використовувалися раніше.

В Li-ion акумуляторів значно кращі параметри. Однак слід враховувати, що Ni-Cd акумулятори мають важливу перевагу, таку, як здатність забезпечувати великі струми розряду. Це не є критично важливою проблемою при живленні стільникових телефонів або ноутбуків ( частка Li-ion доходить 80% та їхня частка стає більше), однак існує досить багато пристроїв, які споживають великі струми, наприклад усілякі електроінструменти, електробритви і подібне. Дотепер ці пристрої мали винятково Ni-Cd акумулятори. Однак у теперішній час, особливо за причиною обмеження застосування елемента кадмію відповідно до директиви Rohs, що різко активізувалися дослідження зі створення безкадмієвих акумуляторів з більшим розрядним струмом.

Розглянемо метрологічні характеристики первинних елементів з літєвим анодом, що з'явилися на початку 70-х років 20 століття та швидко знайшли широке розповсюдження завдяки великій питомій енергії та іншим перевагам. Наприклад, було здійснено прагнення створити хімічне джерело струму, що має найбільш активний відновлювач – лужним металом, це дозволило різко підвищити робочу напруга акумулятора та його питому енергію. Розробка первинних елементів, що мають літєвий анод увінчалася швидким успіхом. Ці елементи зайняли місце як джерела живлення мобільної апаратури. Створення літєвих акумуляторів зіткнулося з принциповими труднощами. Їхнє подолання зажадало більше 20 років.

Після багатьох випробувань протягом з'ясувалася проблема літєвих акумуляторів, що пов'язана з літєвими електродами. Точніше, з активністю

літію: процеси, що відбувалися при експлуатації, зрештою, приводили до бурхливої реакції, що одержала назва "вентиляція з викидом полум'я". В 1991 р. на заводі-виготовлювачі була відкликана велика кількість літєвих акумуляторних батарей, які вперше використовували як джерела живлення стільникових телефонів. В якості причини виступає великій споживаний струм, з акумуляторної батареї відбувався викид полум'я, що обпалював особу користувача мобільного телефону.

Через властиву металевому літію нестабільність, особливо в процесі заряду, дослідження зрушилися в бік створення акумулятора без застосування литію, але з використанням іонів. Літій-іонні акумулятори забезпечують меншу енергетичну щільність, ніж літєві акумулятори, однак Li-іон акумулятори є більш безпечні при правильних режимів заряду й розряду.

Розвиток літєвих акумуляторів зробила розробка акумулятори з негативним електродом з вуглецевих матеріалів. Вуглець виявився зручною матрицею для інтеркаляції літію.

Щоб напруга акумулятора стала достатньо великою, дослідники використовували позитивний електрод оксиди кобальту як активний матеріал. Оксид кобальту має потенціал 4 В відносно літєвого електрода, робоча напруга Li-іон акумулятора складає характерне значення 3 В та більше.

При розряді Li-іон акумулятора стає деінтеркаляція літію з вуглецевого матеріалу, тому інтеркаляція літію перетворюється в оксид. При заряді акумулятора усі процеси йдуть у зворотному напрямку. Тому у всій системі відсутній металевий літій, а процеси заряду та розряду зводяться до переносу іонів літію з одного електрода на другий. В наслідок чого такі акумулятори одержали назву "літій-іонних".

У всіх Li-іон акумуляторах, що доведені до продажу, негативний електрод створюється з вуглецевих матеріалів. Складний процес являє собою інтеркаляція літію у вуглецеві матеріали. Його кінетика і механізм залежать від природи електроліту та вуглецевого матеріалу.

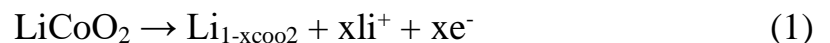
Вуглецева матриця, що застосовується в якості анода, має впорядковану шарувату структуру подібно природному або синтетичному графіту та неупорядковану аморфну або частково впорядковану. Іони літію при інкапсуляції розсовують шари вуглецевої матриці й розташовуються між ними, та утворюють інтеркалати різноманітних структур. Обсяг вуглецевих матеріалів міняється незначно у процесі інтеркаляції–деінтеркаляції іонів літію.

Як матриці негативного електрода розглядаються структури на основі срібла, олова і їх сплавів, фосфориди кобальту, сульфід олова, композити вуглецю з наночастками кремнію.

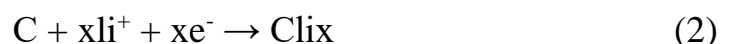
Якщо в первинних літєвих елементах використовуються активні матеріали щодо позитивного електрода, то в якості матеріалу позитивного електрода літєвих акумуляторів вибір малий. Позитивні електроди акумуляторів створюються з нікелю й з літій–марганцевих шпинелів кобальту або літірованих оксидів.

У якості катодних матеріалів застосовуються матеріали змішаних фосфатів або оксидів. З катодами зі змішаних оксидів досягаються кращі показники акумулятора. Впроваджуються нові технології покриття поверхні катодів тонкодисперсними оксидами.

При заряджанні Li-іон акумуляторів відбуваються наступні реакції на позитивних пластинах



на негативних пластинах



Зворотні реакції відбуваються при розряді. Процес заряду ілюстровано на рисунку 1.1.



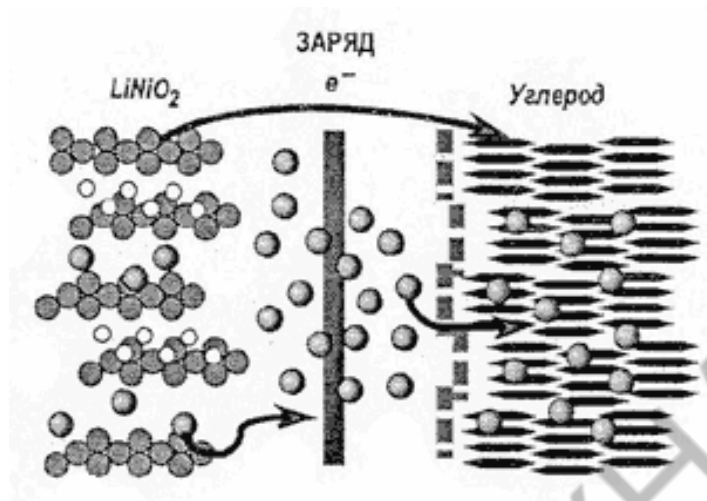


Рисунок 1.1 – Процес заряджання літій-іонних (Li-ion) акумуляторів

Конструктивно як і лужні, Li-ion акумулятори виробляються в призматичному й циліндричному варіантах. У циліндричних конструкціях пакет електродів згорнутий у вигляді рулону та сепаратора поміщений у алюмінієвий або сталевий корпус, з ним з'єднаний негативний електрод. Через ізолятор на кришку виведений позитивний полюс акумулятора. Призматичні конструкції складаються з прямокутних пластин одна на одну.

Ці акумулятори забезпечують щільне впакування в акумуляторній батареї, при цьому вони потужніше, чим циліндричні. У призматичних акумуляторах використовується рулонне конструкція пакета електродів, яка скручується в еліптичну спіраль (рисунок 1.2), що дозволяє об'єднати якості вищеописаних конструкції.

Конструктивні заходи вживають для попередження швидкого розігріву та забезпечення безпеки використання Li-ion акумуляторів.

Пристрій під кришкою акумулятора реагує на зріст температури збільшенням опору, і навпаки, що розриває електричний зв'язок між позитивною клемою та катодом при підвищенні тиску усередині акумулятора більше припустимої границі.

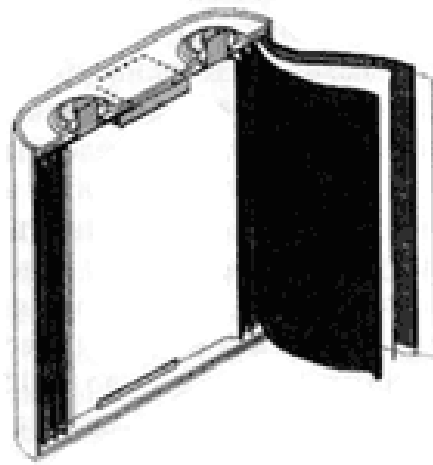


Рисунок 1.2. Конструкція призматичного літій-іонного акумулятора, що має рулонну скрутку електродів

Щоб підвищити безпеку експлуатації акумуляторів, необхідно у складі батареї застосувати зовнішній електронний захист, мета якого не допустити перерозряду й перезаряду елемента акумулятора, надмірного розігріву та короткого замикання.

Велику кількість Li-іон акумуляторів виготовляють у призматичних конструкціях, тому що основне призначення Li-іон акумуляторів це забезпечення роботи мобільних телефонів та ноутбуків. Конструкції призматичних акумуляторів зовсім уніфіковані та більшість виробників мобільних телефонів, ноутбуків не надають можливості застосування акумуляторів інших фірм.

Електроди в літій-іонних акумуляторах сепаріруються сепаратором з пористого поліпропілену.

Розглянемо конструкція Li-іон та інших літєвих акумуляторів, що як і конструкція інших первинних джерел струму з літєвим анодом, дуже відрізняється герметичністю. Правіло абсолютної герметичності вимагається неприпустимістю витікання електроліту, також неприпустимістю попадання в акумулятор пару води та кисню з навколишнього середовища. Пари води та

кисень реагують із електроліту та матеріалами електродів, що виводять акумулятор з ладу.

Операції виробництва електродів та інших деталей, також складання акумуляторів здійснюється в герметичних боксах або в сухих кімнатах в атмосфері чистого аргону. При збірці акумуляторів використовуються складні технології зварювання та складні конструкції виводів.

Параметри Li-ion акумуляторів. Li-ion акумулятори мають великі питомі характеристики - від 100 Вт·год/кг до 180 Вт·год/кг і від 250 Вт·год /л до 400 Вт·год /л. Робоча напруга від 3,5 В до 3,7 В.

Раніше розроблювачі ставили досяжною ємність Li-ion акумуляторів не вище кількох ампер-годин, то в наступний час більшість проблем, які обмежують збільшення ємності вже вирішена й виробники випускають акумулятори ємністю більше сотен ампер-годин.

Малогабаритні акумулятори мають працездатність при струмах розряду до 2 А, потужні – від 10 до 20 А. робочі температури в інтервалі від мінус 20 °С до 60 °С. Більшість виробників розробили акумулятори, які працездатні при **мінус** 40 °С. Розширення температурного інтервалу також можливо область більш високих температур.

Саморозрядження Li-ion акумуляторів складає від 4 % до 6 % за перший місяць, далі – суттєво менше, так за 12 місяців акумуляторні батареї втрачають від 10 % до 20 % енергії. Однак втрати ємності в Li-ion акумуляторів менше, чим у нікель-кадмієвих акумуляторів, як при 40 °С, так і при 20 °С. Ресурс складає від 500 циклів до 1000 циклів.

Li-ion акумулятори повинні заряджатися в комбінованому режимі: - спочатку при постійному струмі (від 0,2 А до 1 А) до напруги від 4,1 В до 4,2 В, далі при постійній напрузі. Так перша стадія заряджання триває близько 40 хв, а друга стадія значно довше. Швидкий заряд може досягатися при імпульсному режимі.

У період, коли тільки з'явилися Li-ion батареї, що мають графітову систему, було необхідне обмеження напруги заряду в 4,1 В на елемент. Використання більш високої напруги надає можливість підвищити енергетичну щільність, при цьому окисні реакції, що відбувалися в елементах такого типу при напругах, що вище ніж 4,1 В, що приводило до скорочення терміну служби. Потім цей недолік за допомогою застосування хімічних добавок ліквідували. В теперішній час Li-ion елементи заряджають до напруги 4,20 В. Відхилення напруги становить близько  $\pm 0,05$  В на елемент.

Акумуляторні батареї спеціального призначення мають великий термін служби, більший ніж батареї комерційного використання. Для них гранична напруга заряду складає 3,90 В на елемент. Енергетична щільність у цих батареях нижче та підвищений термін служби, невеликі розміри, мала вага та більш висока енергетична щільність Li-ion батареї позиціонує їх поза конкуренцією.

Час заряду становить від 2 год до 3 год при заряджанні Li-ion батареї струмом 1 А. Така батарея повністю заряджається, коли напруга стає рівною напрузі відсічення, потім струм значно зменшується та становить коло 3% від початкового струму заряду.

При високому струму заряду Li-ion батареї час заряду не скорочується. При високому заряду напруга на батареї зростає швидше та етап підзарядки стає довше після завершення першого етапу заряду.

У деяких зарядних пристроїв для зарядки літій-іонної акумуляторної батареї потрібна 1 год і менше. У цих зарядних пристроях виключений етап 2 та батарея переходить у стан готовності після закінчення етапу 1. У такий точці Li-ion батарея заряджена приблизно на 70 %, та після цього можлива додаткова підзарядка.

Крок 1 – Через акумуляторну батарею протікає максимально припустимий струм заряджання доки напруга не досягне граничного значення.

Крок 2 – Максимальна напруга на акумуляторної батареї досягнута та струм заряду поступово знижується, поки вона повністю не зарядиться.

Завершення заряду наступає, якщо величина струму заряду знижується до значення 3 % від початкового.

Крок 3 – Періодичний заряд, який компенсує, проводиться при зберіганні акумуляторної батареї, орієнтовно через кожні 500 год.

Крок струминної підзарядки для акумуляторів не застосовується через те, що вони не здатні поглинати енергію при перезаряді. Крім того, струминна підзарядка викликає металізацію літію, це робить роботу акумулятора нестабільною. Коротка підзарядка постійним струмом компенсує невеликий саморозряд та компенсувати втрати енергії, що викликані роботою пристрою захисту. Така підзарядка може виконуватися через кожні 500 год, або 20 днів залежно від типу зарядного пристрою та ступені саморозряду Li-ion батареї. Її слід здійснювати при пониженні напруги холостого ходу до 4,05 В/елемент та і припиняти, коли досягне 4,20 В/елемент.

Li-ion акумулятори мають дуже низьку стійкість до перезаряду. Стає можливим осадження металевого літію на негативному електроді на поверхні вуглецевої матриці при великому перезаряді, це надає велику реакційну здатність до електроліту, при цьому на катоді починається активне виділення кисню. В наслідок цього виникає погроза теплового розгону, також підвищення тиску та розгерметизації. З цієї причини заряд Li-ion акумуляторів необхідно можна вести тільки до напруги, що рекомендована виробником. Ресурс акумуляторів знижується при збільшеній зарядній напрузі.

Для безпечної роботи необхідно приділятися серйозна увага акумуляторним батареям. В батареях комерційного призначення мають спеціальні пристрої захисту, які запобігають перевищенню напруги заряджання вище граничного значення. Такий додатковий захист забезпечує повне завершення заряджання, якщо температура батареї досягне 90 °C. По конструкції батареї мають додатковий елемент захисту – це механічний вимикач, що спрацьовує при збільшенні внутрішнього тиску батареї. Така вбудована система

контролю напруги набутована дві напруги відсічення – це верхнє та нижнє значення.

Але є її виключення – акумуляторні батареї, в яких пристрої захисту відсутні. Це такі акумуляторні батареї, в склад яких входить марганець, що при перезаряді стає металізація анода та виділення кисню на катоді протикає настільки повільно, що стає можливим відмовлення від застосування пристроїв захисту.

Літєві акумулятори характеризуються гарною схоронністю. Зниження ємності за рахунок саморозряду від 5 % до 10 % у рік. Таки показники розглядаються, як номінальні орієнтири. Для конкретного акумулятора розрядна напруга залежить від споживаного струму розряду, температури, рівня зарядженості, ресурс акумуляторів залежить від температури, режимів розряду й заряду, глибини розряду. Діапазон робочих температур залежить від відпрацювання ресурсу та припустимих робочих напруг.

До недоліків Li-ion акумуляторів віднеситься чутливість до перезарядів та перерозрядів, з цієї причини вони мають обмежники заряду й розряду.

На рисунках 1.3 та 1.4 зображений типовий вид розрядних характеристик акумуляторів. З рисунків видно, що з ростом струму розряду акумулятора розрядна ємність акумулятора знижується незначно, однак зменшується робоча напруга. Цій ефект з'являється також при розряді при температурі нижчої 10°C. При низьких температурах мається початкове осідання напруги.

Що стосується експлуатації Li-ion акумуляторів взагалі, то, враховуючи конструктивні та хімічні способи захисту литій-йонних акумуляторів від перегріву та необхідність зовнішнього електронного захисту акумуляторів від перезаряду та перерозряду, проблема безпеки експлуатації акумуляторів вважається вирішеною. Нові катодні матеріали забезпечують велику термічну стабільність акумуляторів.

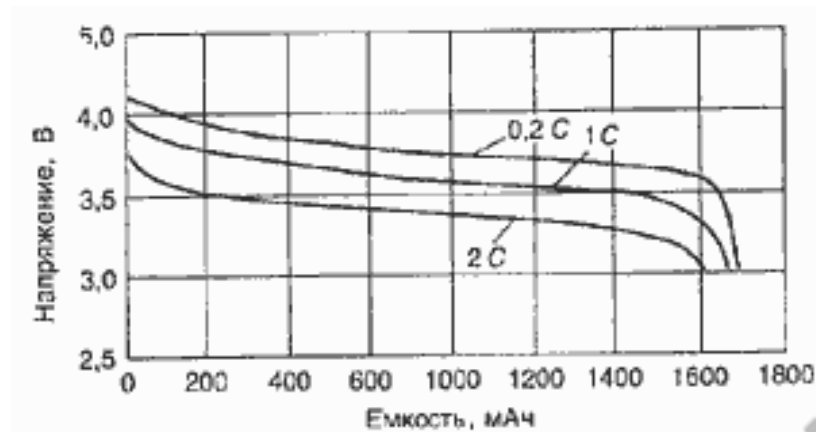


Рисунок 1.3 - Характеристики розряду Li-іон акумуляторів при різних струмах

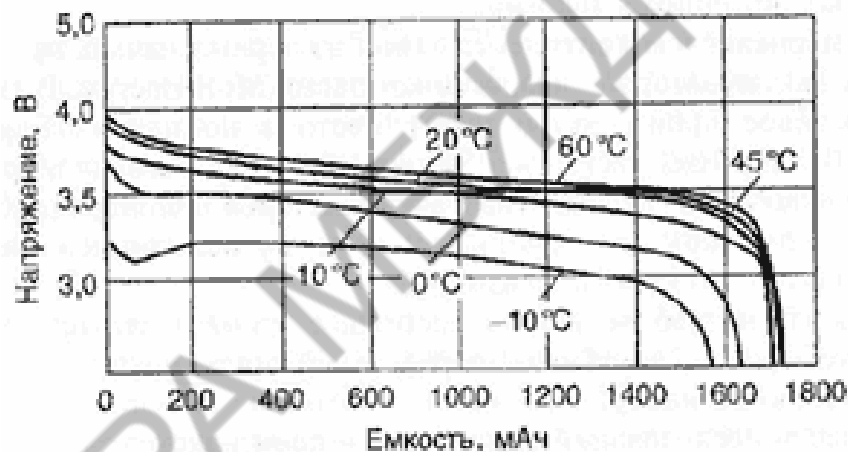


Рисунок 1.4 – Характеристики розряду Li-іон акумуляторів при різній температурі

При розробці літій-іонних та літєвих акумуляторів, та при розробці первинних літєвих елементів, безпеки зберігання та використання приділяється особлива увага. Більшість акумуляторів мають захист від коротких замикань. Ефективним способом цього захисту є використання двошарового сепаратора, де один із шарів виготовляється з матеріалу, аналогічного поліетілену, а не з поліпропілену. У випадку короткого замикання за рахунок локального розігріву

такий шар сепаратора підплавлюється та стає непроникним, це запобігає подальшому проростанню дендритів.

Прилади захисту Li-ion акумуляторних батарей. Акумуляторні батареї комерційного призначення мають надійний захист серед усіх типів батарей. В схемі захисту Li-ion батарей застосовується ключ на польовому транзисторі, що при досягненні на елементі батареї напруги 4,30 В має відкриватися та тим самим перериває процес заряду. Також наявний термозапобіжник, що при нагріванні батареї до 90°C розриває коло її навантаження, що забезпечує її термальний захист. Також існують інші пристрої захисту. Наприклад, деякі акумулятори мають вимикач, що спрацьовує при досягненні максимального рівня тиску усередині корпусу, що дорівнює 1034 кПа (10,5 кг/м<sup>2</sup>), та розриває коло навантаження. Мається схема захисту від глибокого розряду, що стежить за напругою батареї та розриває коло навантаження, коли напруга знижується до рівня 2,5 В на елемент.

Внутрішній опір схеми захисту елементів акумуляторної батареї у включеному стані становить від 0,05 Ом до 0,1 Ом. Конструктивно схема захисту складається із двох ключів, що з'єднані послідовно. Один спрацьовує при досягненні верхнього порогу, а інший – нижнього порогу напруги на батареї. Опір цих ключів створює подвоєння внутрішнього опору, якщо батарея складається з одного акумулятора. Такі батареї живлення мобільних пристроїв повинні забезпечувати великі струми навантаження. Це можливо при низькому внутрішньому опорі батареї. Така схема захисту являє собою заваду, яка обмежує робочий струм батареї.

Деякі типи Li-ion батарей використовують у хімічному складі марганець, складаються з одного чи двох елементів, та схема захисту не застосовується. В них установлений лише один запобіжник. Такі батареї є безпечними завдяки їхнім малим габаритам та невеликій ємності. Марганець терпимий до порушень правил експлуатації таких батарей. Відсутність схеми захисту знижує вартість Li-ion батареї, але створює нові проблеми.



Користувачі мобільних пристроїв використовують для підзарядки батареї інші зарядні пристрої. Якщо використовуються недорогі зарядні пристрої, що призначено для підзарядки від бортової мережі автомобіля або від мережі, вона відключить її при досягненні напруги кінця заряду. В випадку відсутності схеми захисту відбудеться перезаряд батареї та її необоротний вихід з ладу. Такий процес супроводжується підвищенням температури та роздуттям корпусу батареї.

При експлуатації Li-ion акумуляторів існують наступні механізми зниження ємності:

- руйнування структури катодного матеріалу (особливо  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ );
- осадження металевого літію;
- розшарування графіту;
- механічні зміни структури електрода в результаті об'ємних коливань активного матеріалу;
- нарощування плівки на обох електродах, яка приводить до зниження активної поверхні електродів та блокуванню дрібних пор.

Для таких акумуляторів описується якісна зміна їх експлуатаційних параметрів та електричних у процесі експлуатації.

Ресурс комерційних літійових акумуляторів становить від 500 циклів до 1000 циклів до зниження розрядної ємності на 20 %, однак він залежить від величини граничної зарядної напруги. Ресурс підвищується зі зменшенням глибини циклірування. Підвищення терміну служби зв'язується зі зменшенням механічних напруг, воно викликане змінами обсягу електродів, що залежать від ступеня зарядженості.

Збільшення температури експлуатації збільшує швидкість побічних процесів, які зачіпають границю розділу електрод-електроліт та підвищують швидкість зниження розрядної ємності.

**Висновок.** У результаті аналізу найкращого матеріалу для катоду сучасні літій-іонні акумулятори перетворюються в сімейство хімічних джерел живлення, що різняться друг від друга параметрами режимів заряду/розряду та

енергоємністю,. Це, вимагає збільшення інтелектуальності схем контролю, що стали невід'ємною частиною пристроїв живлення та акумуляторних батарей. Також можливе ушкодження батарей та пристроїв. Задача ускладнюється тим, що розробники намагаються максимально повно застосовувати енергію акумуляторів, що дає можливість підвищити час автономної роботи при максимальній щільності енергії джерела живлення обсязі й вазі. Таким чином досягаються істотні конкурентні переваги.

Таким чином, істотно зростають метрологічні характеристики "розумних акумуляторів": температура акумулятора, залишковий заряд, ідентифікація акумулятора та припустима перенапруга.

Виробники акумуляторів докладають великих зусиль щодо розробки катодів на основі літєвих з'єднань. Вони дозволили б Li-ion акумуляторам замінити Ni-Cd у приладах з великим споживаним струмом.

В зв'язку з цим представляється перспективними для використання є метрологічні характеристики катодів на основі  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ .

## 2 МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАРЯДНИХ ПРИСТРОЇВ

Процес заряду літій-іонних акумуляторних батарей (АБ) розподіляється на наступні етапи [1]. Перший – це процес заряду постійним струмом, другий процес це заряд при постійній напрузі та падаючому струмі. Перший етап характеризується низьким струмом заряджання. Він застосовується, якщо напруга на акумуляторах в АБ нижче встановленого значення (2,5 В). Також перший етап необхідний щоб батарею заряджають при низьких температурах, нижче 5 °С. Це необхідно для «розігріву» електродних мас та переходу в номінальний режим заряду. Такий малий струм заряду забезпечує послідовний вихід активних електродних матеріалів на необхідні задані рівні напруги. При цих рівнях вони штатно функціонують. Слід відзначити, що даний етап виключають із циклу заряджання батареї, та процес починається відразу з першого етапу.

На першому етапі заряд здійснюється постійним струмом. Напруга при цьому на батареї зростає. Струм заряджання вимірюється в частках номінальної ємності елементів АБ ( $C_n$ ). Для номінальної роботи акумулятора струм заряду обирають у межах від  $0,2 C_n$  до  $0,5 C_n$ , прискорений від  $0,5 C_n$  до  $1 C_n$  та вище. Припустимий струм заряду для акумулятора можна довідатися в документації виробника.

Другий етап - це заряд при постійній напрузі та спадаючому струмі, який падає до певного значення, тому заряд вважається завершеним при зниженні струму заряджання менш від  $0,1 C_n$  до  $0,05 C_n$ . На цьому етапі батарея набирає від 5 % до 10 % ємності при номінальному режимі заряду ( $0,2 C_n$ ). Після того, як подачі струму заряду на батарею закінчена, напруга елементах падає від 0,05 В до 0,1 В.

Не рекомендується тримати акумулятори тривалий час при кінцевій напрузі заряду (для кобальтата літію від 4,2 В до 4,25 В). Тому бажане заряд припинити після фази падаючого струму [5].

Фаза постійної напруги (ФПН) при падаючому струмі триває та залежить від струму заряджання. Чим більше струм заряду, тем фаза більше, для струму заряду  $I_2 > I_1$  час  $t_3 > t_1$ . Час заряджання падаючим струмом залежить також від ступеня деградації акумуляторів. Чим вище деградація та внутрішній опір, тим більше час фази падаючого струму (при тому самому струмі заряду) ( $t_2 > t_1$ ).

Зарядні пристрої підрозділяють на універсальні та виготовлені під цільову акумуляторну батарею. Викладений алгоритм заряду реалізується (без етапу I) за допомогою стандартного джерела живлення, який має регулювання обмеження за струмом. Недоліком даного способу - це необхідність самостійно регулювати струм та кінцеву зарядну напругу. Встановлено, що параметри джерел живлення збиваються в процесі роботи в режимі стабілізації струму, та задана кінцева напруга спонтанно небагато зміниться, що вимагає додаткової уваги при зарядці АБ.

В лабораторних ЗП користувачеві пропонується вибрати кількість послідовно з'єднаних елементів та їхній тип, а не кінцеву напругу заряду. Струм заряду задається користувачем та розраховується в зарядних пристроях виходячи з ємності батареї. Звичайно лабораторні ЗП розраховані на заданий діапазон послідовно з'єднаних елементів (звичайно, від 1 до 7), мають можливість налагодження струму заряду (наприклад, від 0,1 А до 10 А) і типу елементів (LiFePO<sub>4</sub>, Liopolymer і т.д.).

До якостей лабораторних ЗП можна віднести широкий діапазон кількості елементів батарей, які заряджаються, що зручно при наявності кількох акумуляторних батарей різного призначення, до недоліків відносяться складність експлуатації. В процесі експлуатації необхідно вивчити інструкцію для експлуатації, для того щоб правильно виконати заряд акумуляторної батареї того або іншого типу. Виділимо ще один недолік - це відносна дорожнеча таких зарядних пристроїв. Універсальні зарядні пристрої для акумуляторних батарей невеликої ємності ( до 20 А·год) наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Універсальні зарядні пристрої для Li-Ion – батарей

У меншому ступені мають недоліки, властиві ЗП, що спроектовано під конкретну акумуляторну батарею. Ці зарядники мають мінімальну кількість індикаторів та не вимагають додаткової уваги в процесі заряджання. Батарея підключається користувачем до приладу для заряджання та періодично контролюється індикація струму та напруги. Якщо світиться червоний індикатор – це означає наявність процесу заряджання, зелений індикатор - це АБ зарядилася. Такий зарядний пристрій виготовляється як окремий блок, що призначено для використання з цільовою батареєю. За спрощення у використанні доводиться розплачуватися зниженням мобільності та доступності, якщо в цей момент у користувача при собі немає зарядного пристрою, то зарядити батарею не представляється можливим.

Така проблема доступності вирішується за рахунок рознесення високовольтної та низьковольтної частин зарядних пристроїв. Зарядні пристрої, що показані на рисунку 2.1, мають у своєму складі низьковольтний вхід живлення, що розрахований на напругу бортової мережі автомобіля. Такі зарядні пристрої застосовуються для заряду батарей радіокерованих моделей, що часто

експлуатуються на відкритій місцевості. Для заряду в стаціонарних умовах існує допоміжний перетворювач 220 В AC в 15 В DC ,що показано у правому верхньому куті рисунку, також у лівому нижньому куті зображене зарядний пристрій, що має два входи: 220 В AC і 15 В DC).

Виготовляються два типи зарядних пристроїв - це зовнішні та вбудовані. До першого класу ставляться всі зарядні пристрої, описані вище. Вбудовані зарядні пристрої розташовуються безпосередньо в корпусі. Зовнішнім залишається блок живлення або DC перетворювач напруги, наприклад з 220 В AC в 5 В DC. Так реалізоване завдання для сучасних мобільних пристроїв. Всі вони заряджаються за допомогою вбудованого зарядного пристрою від напруги 5 В через спеціалізовані рознімання. В такому випадку оптичну розв'язку немає необхідності виготовляти зарядні пристрої під конкретну модель: пристрій досить просто розташовується усередині приладу, а заряд їде від стандартного зовнішнього блоку живлення зі спеціалізованим розніманням (220 В AC в 5 В DC) або від USB-порту комп'ютера. При масовому випуску зарядні пристрої мають низьку вартість, що знижує його вартість

На рисунку 2.2 наведено ліхтар для використання при експлуатації, що має USB-рознімання. Він комплектується літій-іонною батареєю й заряджається від мережі.



Рисунок 2.2 – Ліхтар з USB-Розніманням для зарядки мобільних додатків

Напруга 12 В, через USB-рознімання дозволяє підзарядити мобільну техніку. Це зручно в польових умовах. Ємності внутрішньої батареї досить для год безперервної роботи 3 Вт освітлення або на кілька підзарядок мобільного телефону.

Якістю вбудованих зарядних пристроїв є низька вартість комплексу, використання стандартних блоків живлення та можливість заряду пристрою від широкої ланки джерел. В якості недоліків віднести жорсткі вимоги по тепловиділенню, займаному обсязі й ваги. Тобто, вбудовані зарядні пристрої повинні мати високі питомі характеристики та високий ККД, для того, щоб при експлуатації в остаточному підсумку додаток не викликав труднощів у споживача.

Часто во вбудованому зарядному пристрої доводиться підбудовуватися під задану потужність від зовнішнього джерела живлення. Користувач може підзаряджати мобільний пристрій від стандартного USB-порту комп'ютера, навантажувальна здатність обмежена 0,5 А, чи від спеціального зарядного USB-порту, що може видати до 1,5 А. Необхідність управляти потужністю, споживаною від джерела, надає наступний поділ – керовані та некеровані. У некерованих ЗП струм заряду задається постійний та до фази постійної напруги залишається незмінним. В свою чергу керовані ЗП можуть без участі зовні виставляти струм заряду. Наприклад, пристрій може мати два входи для підключення зовнішніх джерел: перший для заряду від бортової мережі автомобіля та 5 В DC для заряджання від USB-рознімання. У такому випадку, коли підключене джерело від бортової мережі автомобіля 12 В DC, струм заряду можна встановити більше, наприклад 1,5 А. Якщо підключене джерело 5 В DC – тоді обмеження складає 0,5 А. Пристрій визначення джерела заряду (ПВДЗ) установлює необхідний струм. Коли є одне рознімання для під'єднання різних по характеристиках джерел живлення, то для визначення потужності, що можна відбирати для заряджання, ЗП доводиться діяти по заданих алгоритмах.

Визначити потужність, що здатне забезпечити джерело, можливо за допомогою інформаційного обміну. При заряді від USB–рознімання комп'ютера із зовнішнім живленням є можливість визначити доступне значення струму по каналу інформаційного обміну. Такий спосіб реалізують усі виробники пристроїв щоб уникнути струмового перевантаження останнього.

Керовані зарядні пристрої використовуються при розподілі потужності усередині приладу. До додатка підключають різні пристрої, такі як зовнішні акумуляторні батареї АБ для підзарядки. Маючи обмежену вхідну потужність, цифровий процесор (ЦП) здатний зменшити струм заряду своєї батареї, що надає можливість у першу чергу зарядитися зовнішнім . Перерозподіл енергії між декількома джерелами усередині єдиного приладу поліпшує його масо–габаритні показники. Однак такі розв'язки зустрічаються досить рідко, лише в тих додатках, де боротьба дійсно йде за кожний грам.

Керування струмом заряду використовується не тільки для оптимізації, що відбирається потужності при заряді. Це буває потрібно, якщо акумуляторна батарея розбалансована, коли по тім або іншим причинам різні гнізда мають різний ступінь заряду - наприклад, після тривалого зберігання. Дана функція ніяк не пов'язана з розподілом потужності або оптимізацією потужності, що відбирається, і використовується як самостійна для розв'язку свого завдання, хоча й несе все ту ж функцію керування струмом заряду.

Якщо ступінь зарядженості гнізд АБ значно різняться, то збалансувати їх (так щоб до кінця заряду всі гнізда мали однаковий ступінь заряду) за один цикл заряду номінальним струмом не вдасться. У такому випадку можна знизити струм заряду, щоб він був порівняний зі струмами балансу [2, 3]. При цьому час заряду збільшиться, але наприкінці заряду батарея буде повністю збалансована. Як правило, завдання керування струмом заряду покладає на систему забезпечення функціонування (СЗФ) АБ (в іноземних джерелах — BMS). Якщо буде потреба СЗФ АБ повинна подати команду на зниження струму заряду або безпосередньо в ЗП, або через ЦП додатки. На рисунку 2.3 та 2.4 у



структурних схемах СЗФ АБ не показані, однак вони завжди присутні в літій-іонних батареях для забезпечення безпечної експлуатації [4]. Батарея ТОВ «СЕТЕЛ», що має вбудований керований зарядний пристрій, дана АБ випускається серійно зображена на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – АБ фірми ТОВ «СЕТЕЛ» із вбудованим керованим ЗП

Така акумуляторна батарея має послідовний інтерфейс RS-485, який дозволяє управляти струмом заряду командами, що надходять від зовнішнього процесора для перерозподілу струмів. Струмом заряду управляє сама СЗФ АБ при балансуванні. На рисунку видні балансувальні резистори пасивної системи балансу, що керовані від СЗФ, а також радіатор вбудованого ЗП, розташованого на платі СЗФ.

Зарядні пристрої можуть комплектуватися додатковими опціями, такими як розширеною панеллю індикації для відображення процесів заряду - таких як

струм, напруга, різниця напруг гнізд АБ, температура гнізд АБ, і т.д. (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Зарядний пристрій з розширеною індикацією

Зарядні пристрої можуть мати вбудовану, зовнішню щодо батареї систему балансу та можливість розрядити батарею на внутрішнє навантаження щоб визначення діючу ємність акумулятора. Також зарядні пристрої мають додаткові функції, до яких належить підготовка акумуляторної батареї до зберігання: заряд до певного значення напруги, при якому повинна зберігатися акумуляторна батарея, заряд до повної збалансованості акумуляторної батареї, тест елементів АБ на предмет їх заміни, можливість підключення до персонального комп'ютера для виводу докладної інформації про процес заряду/розряду батареї і її стані й багато чого іншого.

Висновки. Зарядні пристрої для літій-іонних батарей можуть бути різного виконання, але всі вони реалізують стандартний алгоритм заряду. Крім того, зарядні пристрої можуть брати на себе додаткові функції, що полегшують

експлуатацію функціонування, що й продовжують строк літій-іонної акумуляторної батареї.

## 2.1 Метрологічні вимоги до вирівнювання заряду літій-іонних батарей

Вирівнювання заряду батарей забезпечує тривалий час роботи та продовжує термін служби. В будь-якій системі, яка складається з декількох послідовно включених елементів, виникає проблема розбалансування заряду окремих елементів. Вирівнювання заряду – це метод проектування, який дозволяє збільшити безпеку експлуатації батарей, час роботи без підзарядки й термін служби. Новітні мікросхеми захисту батарей і показчики заряду компанії Texas Instruments – BQ2084, сімейства BQ20ZXX, BQ77PL900 і BQ78PL114, представлені у виробничій лінійці компанії, – необхідні для реалізації цього методу.

Перегрів або перезаряд прискорюють зношування батареї та можуть викликати заpalення та навіть вибух. Програмно-апаратні засоби захисту зменшують небезпеку. У блоці з багатьох батарей, включених послідовно існує можливість розбалансування батарей, це веде до їхньої повільної та неухильної деградації.

Не існує двох однакових батарей, як правило завжди є невеликі відмінності в стані заряду батарей, саморозряду, ємності, опорі й температурних характеристиках, навіть якщо мова йде про батареї однакових типів, від одного виробника й навіть із однієї виробничої партії. При формуванні блоку з декількох батарей виробник звичайно підбирає схожі по СЗБ батареї за допомогою порівняння напруг на них. Однак відмінності в параметрах окремих батарей однаково залишаються, а згодом можуть і зрости. Більшість зарядних пристроїв визначає повний заряд по сумарній напрузі всього ланцюжка послідовно включених батарей. Тому напруга заряду окремих батарей може варіюватися в широких межах, але не перевищувати граничного значення напруги, при якому

включається захист від перезаряду. Однак у слабкій ланці – батареї з малою ємністю або більшим внутрішнім опором напруга може бути вище, чим на інших повністю заряджених батареях. Дефектність такої батареї виявиться пізніше при тривалому циклі розряду. Висока напруга такої батареї після завершення заряду свідчить про її прискорену деградацію. При розряді по тим же причинам (великий внутрішній опір і мала ємність) на цій батареї буде найменша напруга. Сказане означає, що при заряді на слабкій батареї може спрацювати захист від перенапруги, у той час як інші батареї блоку ще не будуть заряджені повністю. Це приведе до недовикористання ресурсів батарей.

КАФЕДРА МБЖД ХНУАДУ

## 3 МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДІВ БАЛАНСУВАННЯ LI-ІОН БАТАРЕЇ

Розбалансування батарей виявляє істотний небажаний вплив на час роботи без підзарядки й термін служби. Вирівнювання напруги й СЗБ батарей найкраще робити при їхньому повному заряді. Існують два методи балансування батарей – активний і пасивний. Останній іноді називають «резисторним балансуванням». Пасивний метод досить простий: розряд батарей, що бідують у балансуванні, роблять через байпасні кола, що розсіюють потужність. Ці байпасні ланцюжки можуть бути інтегровані в батарейний блок або міститися в зовнішній мікросхемі. Такий метод переважно використовувати в недорогих додатках. Практично вся надлишкова енергія від батарей з більшим зарядом розсіюється у вигляді тепла – це головний недолік пасивного методу, тому що він скорочує час роботи батарей без підзарядки. В активному методі балансування для передачі енергії від батарей з більшим зарядом до менш заряджених батарей використовуються індуктивності або ємності, втрати енергії в яких незначні. Тому активний метод суттєво більш ефективний, ніж пасивний. Звичайно, за підвищення ефективності доводиться платити – використовувати додаткові відносно дорогі компоненти.

### 3.1 Пасивний метод балансування

Найбільш простий розв'язок – вирівнювання напруги батарей. Наприклад, мікросхема BQ77PL900, що забезпечує захист батарейних блоків з від 5 до 10 послідовно включеними батареями, використовується в інструментах без струмопровідного кабелю, скутерах, безперебійних джерелах живлення й медичнім устаткуванні. Мікросхема являє собою функціонально закінчений вузол і може застосовуватися для роботи з батарейним відсіком, як показано на

рисунку 3.1. Порівнюючи напругу батарей із запрограмованими порогми, мікросхема при необхідності включає режим балансування.

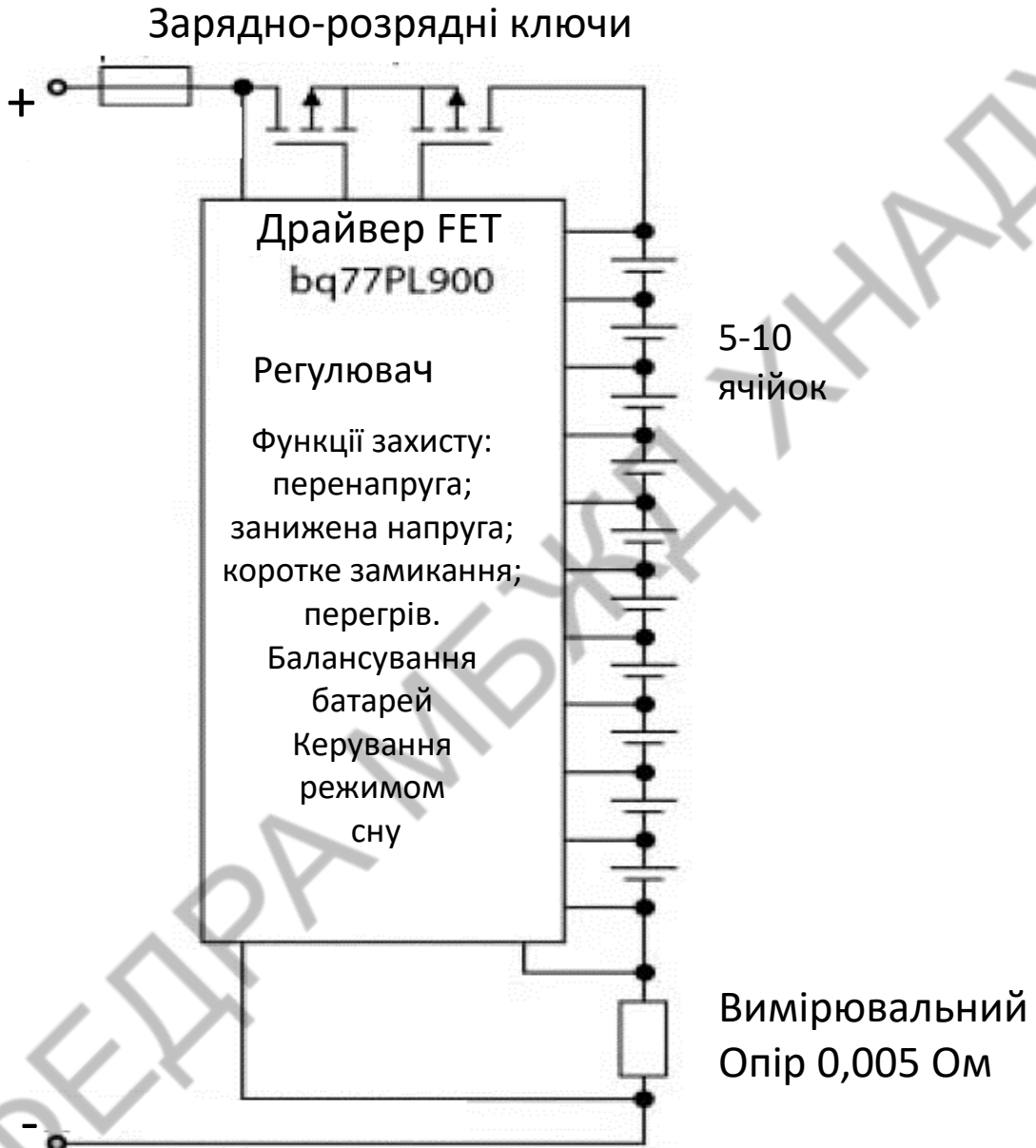


Рисунок 3.1 – Мікросхема BQ77PL900, що використовується в автономному режимі роботи для захисту блоку батарей

Якщо напруга якої-небудь батареї перевищує заданий поріг, заряд припиняється, підключаються байпасні кола. Заряд не відновлюється доти, поки

напруга батареї не знизиться нижче граничного й процедура балансування припиниться.

При застосуванні алгоритму балансування, що використовує в якості критерію тільки відхилення напруги, можливе неповне балансування через різницю внутрішнього імпедансу батарей (рисунок 3.2). Справа в тому, що внутрішній імпеданс вносить свій внесок у розкид напруг при заряді.

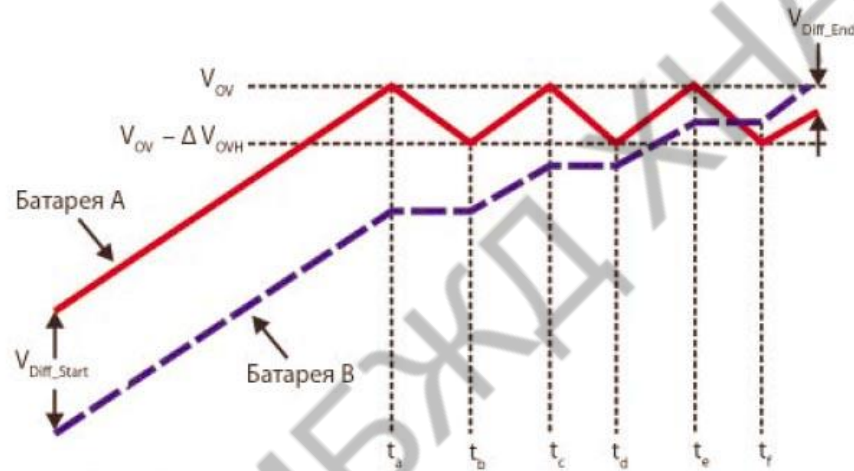


Рисунок 3.2 – Пасивний метод, заснований на балансуванні по напрузі

Мікросхема захисту батарей не може визначити, чим викликане розбалансування напруг: різною ємністю батарей або відмінністю їх внутрішніх опорів. Тому при такому типі пасивного балансування немає гарантії, що всі батареї виявляться на 100 % зарядженими (рисунок 3.3).

Мікросхеми сімейства BQ20ZXX, використовують для визначення рівня заряду фірмову технологію Impedance Track, що базується на визначенні СЗБ і ємності батареї. У цій технології для кожної батареї обчислюється заряд QNEED, необхідний для досягнення повністю зарядженого стану, після чого перебуває різниця  $\Delta q$  між QNEED усіх батарей. Потім мікросхема включає силові ключі, через які відбувається балансування батареї до стану  $\Delta Q = 0$ .

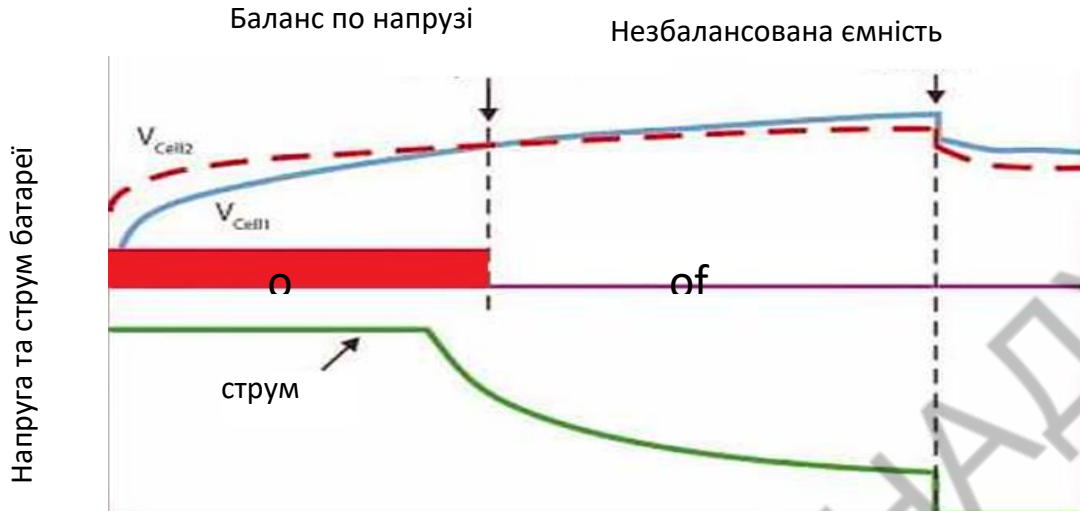


Рисунок 3.3 – Пасивний метод балансування по напрузі неефективно використовує ємність батарей

Внаслідок того, що різниця внутрішніх опорів батарей не виявляє впливу на цей метод, він може застосовуватися в будь-який час: і при зарядці, і при розрядці батарей. При використанні технології Impedance Track досягається більш точне балансування батарей (рисунок 3.4).

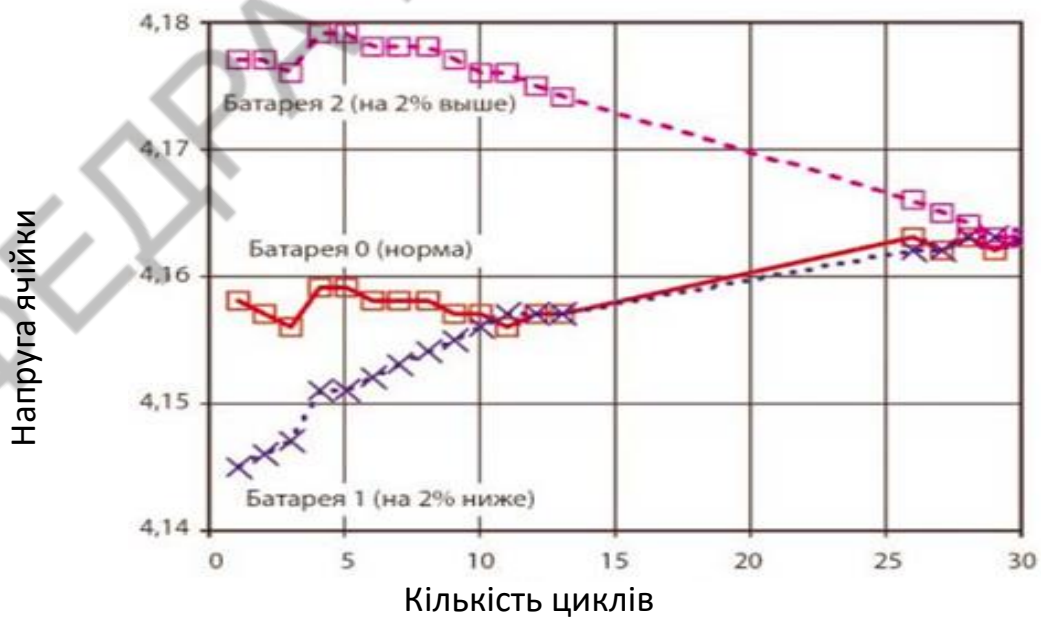


Рисунок 3.4 – Пасивне балансування, заснована на СЗБ і ємності



### 3.2 Активне балансування

По енергоефективності цей метод перевершує пасивне балансування, тому що для передачі енергії від більш зарядженої батареї до менш зарядженої замість резисторів використовуються індуктивності і ємності, втрати енергії в яких практично відсутні. Цей метод кращий у випадках, коли потрібно забезпечити максимальний час роботи без підзарядки.

Мікросхема BQ78PL114, зроблена за фірмовою технологією Powermp, являє собою новітній компонент компанії TI для активного балансування батарей і використовує індуктивний перетворювач для передачі енергії. Powermp використовує n-канальний р-канальний MOSFET і дросель, який розташований між парою батарей. Схема показана на рисунку 3.5.

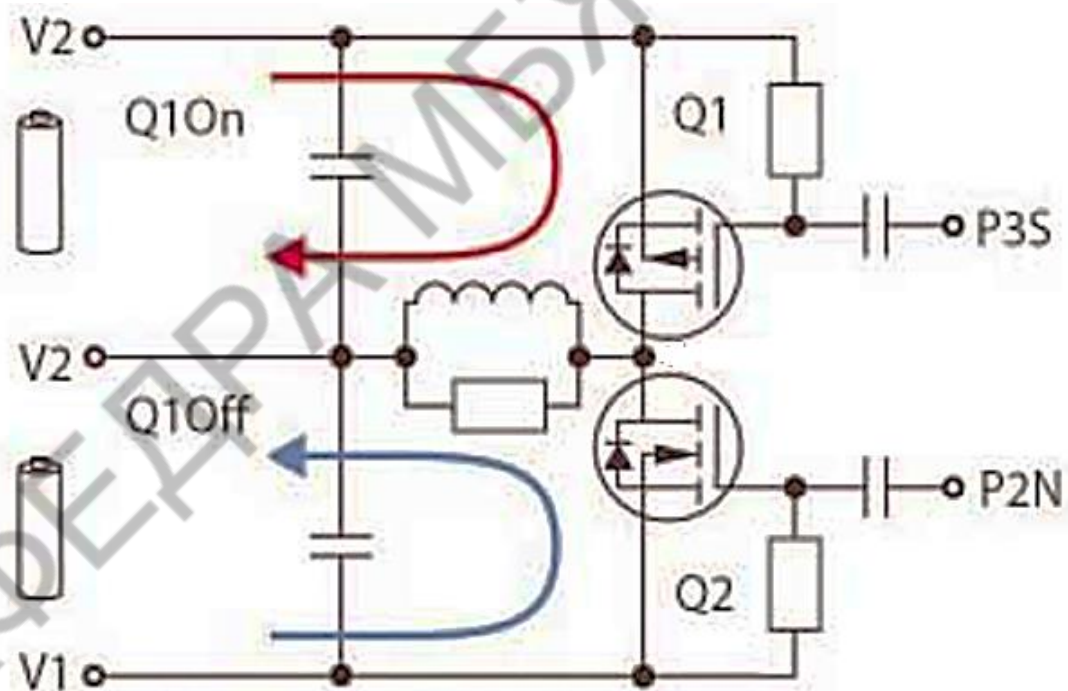


Рисунок 3.5 – Балансування за технологією Powermp

MOSFET і дросель становлять проміжний понижувальний/підвищувальний перетворювач. Якщо BQ78PL114 визначає, що верхній батареї потрібно передати енергію в нижню, на виводі PS3 формується сигнал частотою близько 200 кГц із коефіцієнтом заповнення близько 30 %. Коли ключ Q1 відкритий, енергія з верхньої батареї запасасться в дроселі. Коли ключ Q1 закривається, енергія, запасена в дроселі, через зворотний діод ключа Q2 надходить у нижню батарею.

Втрати енергії при цьому невеликі й в основному відбуваються в діоді й дроселі. Мікросхема BQ78PL114 реалізує три алгоритми балансування:

- по напрузі на виводах батареї. Цей метод схожий на пасивний метод балансування, описаний вище;
- по напрузі холостого ходу. У цьому методі компенсується відмінність у внутрішніх опорах батарей;
- по СЗБ (заснований на прогнозуванні стану батареї). Метод схожий з тим, який використаний у сімействі мікросхем BQ20ZXX при пасивному балансуванні по СЗБ і ємності батареї. У цьому випадку точно визначається заряд, який необхідно передати від однієї батареї до іншої. Балансування відбувається наприкінці заряду. При використанні цього методу досягається найкращий результат (рисунок 3.6).

Через більші струми балансування технологія Powermpr набагато більш ефективна, чому звичайне пасивне балансування із внутрішніми байпасними ключами. У випадку балансування батарейного блоку ноутбука струми балансування становлять від 25 мА до 50 мА. Підбираючи значення компонентів можна досягти ефективності балансування від 12 разів до 20 разів кращої, ніж при пасивному методі із внутрішніми ключами. Типового значення розбалансування (менш чому 5 %) можна досягти за один або два цикли.



Рисунок 3.6 – Активне балансування по алгоритму вирівнювання СЗБ

Крім того, технологія Powerpump має й інші очевидні переваги: балансування може відбуватися при будь-якому режимі роботи – заряд, розряд і навіть тоді, коли батарея, що віддає енергію, має менша напруга, чому батарея, що одержує енергію. У порівнянні з пасивним методом губиться набагато менше енергії.

#### 4 МЕТРОЛОГІЧНІ ВИМОГИ ДО АКТИВНОГО Й ПАСИВНОГО БАЛАНСУВАННЯ

Технологія Powerpump швидше робить балансування. При розбалансуванні 2 % батарей ємністю 2200 мА·год вона може бути проведена за один, або два цикл. При пасивному балансуванні вбудовані в батарейний блок силові ключі обмежують максимальне значення струму, тому може знадобитися багато більше циклів балансування. Процес балансування може бути навіть перерваний при великій різниці параметрів батарей.

Збільшити швидкість пасивного балансування можна за рахунок використання зовнішніх компонентів. На рисунку 4.1 наведений типовий приклад такого розв'язку, який можна використовувати разом з мікросхемами BQ77PL900, BQ2084 або сімейства BQ20ZXX.

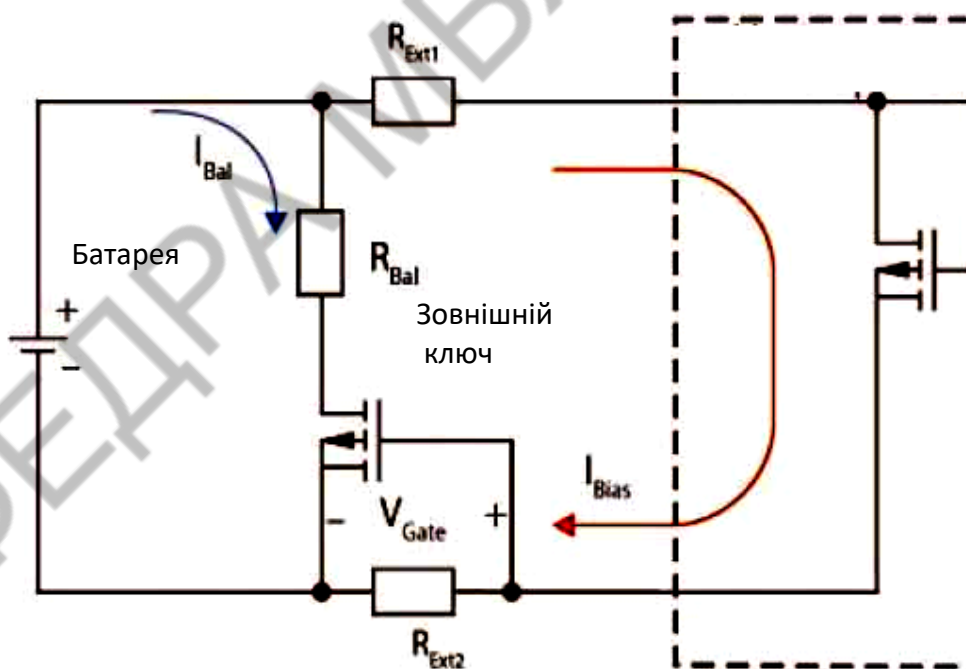


Рисунок 4.1 – Принципова схема пасивного балансування з використанням зовнішніх компонентів

Спочатку включається внутрішній ключ батареї, який створює невеликий струм зсуву, що протікає через резистори  $R_{ext1}$  і  $R_{ext2}$ , включені між виводами батареї й мікросхемою. Напруга « затвор–джерело» на резисторі  $R_{ext2}$  включає зовнішній ключ, і струм балансування починає протікати через відкритий зовнішній ключ і резистор  $R_{bal}$ .

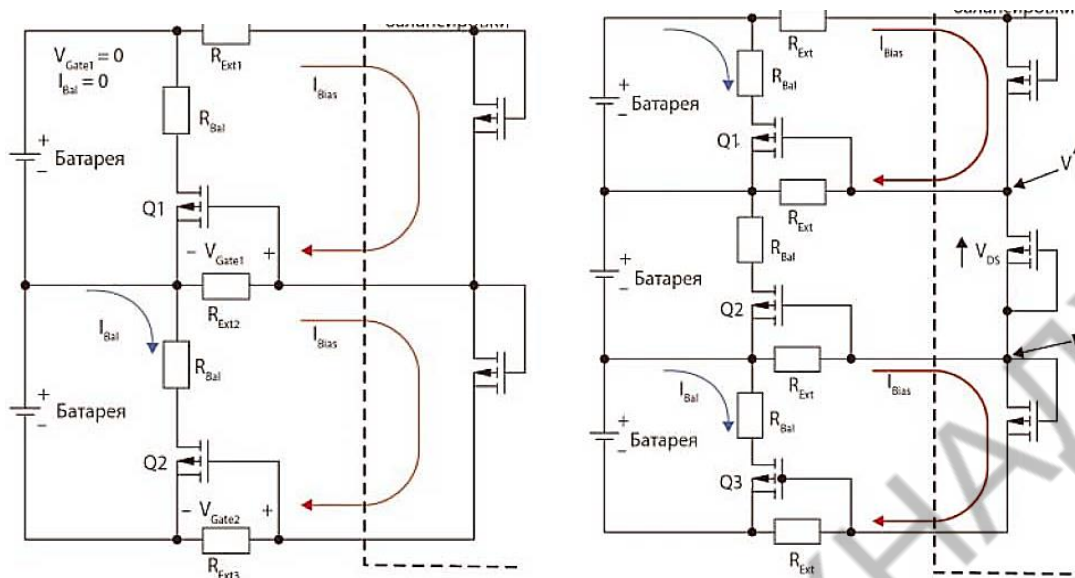
Недолік цього методу полягає в тому, що одночасно не може відбуватися балансування суміжної батареї. Це відбувається через те, що коли відкритий внутрішній ключ суміжної батареї, через резистор  $R_{ext2}$  не може протікати струм. Тому ключ  $Q1$  залишається закритим навіть тоді, коли відкритий внутрішній ключ.

На практиці ця проблема не має великого значення, тому що при такому способі балансування батарея, підключена до  $Q2$  швидко балансується, а слідом за нею балансується й батарея, підключена до ключа  $Q2$ .

Інша проблема полягає у виникненні високої напруги стік–джерело  $V_{DS}$ , яке може виникнути коли балансується кожна друга батарея. При цьому напруга  $V_{DS}$  середнього ключа може перевищити максимально припустиме.

Розв'язок цієї проблеми – обмеження максимального значення резистора  $R_{ext}$  або виключення можливості одночасного балансування кожної другої батареї. Проблеми при балансуванні із внутрішнім силовим ключом наведені на рисунку 4.2.

Метод швидкого балансування – новий шлях поліпшення безпеки експлуатації батарей. При пасивному балансуванні ціль полягає в тому, щоб збалансувати ємність батарей, але через малі струми балансування це можливо лише наприкінці циклу заряду. Інакше кажучи, перезаряд поганої батареї може бути відвернений, але це не збільшить час безперервної роботи без підзаряду, тому що занадто багато енергії буде загублено в байпасних резистивних ланцюжках.



а) Сусідні батареї не можуть бути збалансовані одночасно.

(б) Висока напруга стік–джерело ( $V_{DS}$ ) при балансуванні батарей через одну (кожна друга батарея)

Рисунок 4.2 – Проблеми при балансуванні із внутрішнім силовим ключом

При використанні технології активного балансування Powerpump одночасно досягаються дві метрологічні характеристики – балансування ємності наприкінці циклу заряду й мінімальна відмінність напруг наприкінці циклу розряду. Енергія запасається й віддається слабкій батареї, а не розсіюється у вигляді тепла в байпасних колах.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Виробничі шкідливості і небезпечні фактори

Блок управління системи моніторингу тягових батарей електромобіля являє собою електронний пристрій, який забезпечує контроль стану тягових батарей електромобіля автотранспортного засобу. Керуючі впливи надходять у блок від замка запалювання, який комутує напругу живлення 12 В, що отримується з АКБ автомобіля. Блок управління не є джерелом вібрації і не має рухливих чи обертаючих частин, безшумний в роботі.

Шкідливі фактори та способи їхнього усунення при експлуатації автомобіля наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Шкідливі фактори і способи їхнього усунення

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань При роботі системи виникають підвищені рівні електромагнітного випромінювання	Екранування феромагнітними матеріалами
Підвищений рівень шуму та вібрації	Використовування шумо– та віброізоляції

Конструкція блоку із загальним розніманням та болтовими клемми, не має органів управління. Випадкове розстикування рознімання блоку з зовнішніми колами при проведенні іспитів і регулювальних робіт не приводять до аварійних ситуацій. Працездатність блоку управління реєструється по системі індикації .

При експлуатації блоку у складі системи моніторингу тиску, не виникають електромагнітні випромінювання, які небезпечні для людини.

Електробезпеність. Блок управління має низьковольтну напругу живлення не більше 12 В постійного струму. З позицій електробезпеності сам

блок управління не є небезпечним для оператора. Однак при випробуваннях у складі випробувального стенда використовується джерело напруги, яке має живлення від промислової мережі 220 В (50 Гц). Для такого приладу під'єднується заземлення, забезпечуються ізольовані ручки на органах управління та використовуються калібровані запобіжники з боку промислової мережі та навантаження.

При ремонті блока використовується паяльник з живленням від промислової мережі. Працювати з електроінструментом дозволяється лицам, які мають першу групу по електробезпечності. При користуванні електроінструментом забороняється передавати його, розбирати і самим ремонтувати, триматися за провід живлення. Під час роботи необхідно спостерігати, щоб проводи не доторкувалися до гарячих, вологих і масляних поверхонь.

При монтуванні блока управління на борту автомобіля можуть використовуватися переносні світильники з напругою не вище 42 В, а при наявності особливо несприятливих умов – не вище за 12 В. Застосовувати допускаються тільки світильники заводського виготовлення, що мають захист від механічних ушкоджень. Штепсельні вилки переносних електроприладів повинні бути виконані так, щоб виключалася можливість увімкнення їх у розетки з більш високою напругою.

Виробнича санітарія. У приміщенні цеху, де виготовляється плата, при пайці виділяються шкідливі речовини гранично припустима концентрація яких складає: для свинцю  $0,07 \text{ мг/м}^3$ ; для олова  $0,5 \text{ мг/м}^3$ . У приміщенні цеху концентрація випарів не перевищує норми, тому що встановлюється примусова вентиляція.

При виготовленні печатної плати необхідно дотримуватися техніки безпеки при роботі з кислотами, флюсами, їхніми парами та електроінструментами. Необачні дії з кислотою можуть привести до опіків шкіри та очей, а також викликати отруєння організму при підвищенні їхньої



концентрації в повітрі. Свинець, що використовується при пайці має високу токсичність. Проведення операцій травлення і пайки необхідно робити під соплом витяжки. Роботи, з кислотами повинні виконуватися в спеціальних рукавичках.

У виробничих приміщеннях мікроклімат визначається дією на організм людини температури, вологості і швидкості руху повітря в приміщенні. Ці параметри впливають на людину, визначаючи його самопочуття і працездатність.

Природна вентиляція забезпечується шляхом провітрювання приміщення. Примусова вентиляція з механічним приводом, витягає шкідливі речовини і створює надходження свіжого повітря.

Якість виготовлення пристрою багато в чому залежить від освітлення робочого місця монтажника. Незадовільне освітлення впливає не тільки на зір людини, але й викликає стомлення організму в цілому, знижуючи продуктивність праці монтажника.

Для забезпечення нормального освітлення монтажного цеху застосовується природне і штучне освітлення, у перехідні періоди року та доби використовується сполучене освітлення, що регламентується. Природне освітлення здійснюється через віконні прорізи в зовнішніх стінах, отже, воно є бічним.

Необхідна освітленість приміщення забезпечується дотриманням визначених співвідношень загальної площі світлових прорізів і площі цеху. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості (КПО).

Нормативний коефіцієнт для III поясу обираємо рівним 1,5 %, що відповідає IV розрядові зорових робіт середньої точності з найменшим розміром об'єкта розрізнення (0,5–1) мм. Для міста Харкова, що знаходиться в IV поясі світлового клімату значення коефіцієнтів  $m = 0,9$ ,  $c = 0,75$ . Визначимо значення КПО для заданих умов, %

$$\text{НШ} = 1,5 \times 0,9 \times 0,75 = 1,01.$$

Робоча площа приміщення, яка потрібна для виготовлення плат в обсязі малої партії, дорівнює  $S_{\text{П}} = 40 \text{ м}^2$  (довжина  $A = 10 \text{ м}$ , ширина  $B = 4 \text{ м}$ ).

Робоча зона знаходиться на  $1 \text{ м}$  від стіни на висоті робочого місця монтажника. Відношення глибини приміщення  $B$  до висоти від рівня умовної робочої поверхні до верху вікна  $h_1 = 2 \text{ м}$ , дорівнює  $B/h_1 = 2$ . Відношення відстані робочого місця від зовнішньої стіни  $L = 5 \text{ м}$  до глибини приміщення  $B = 4$ , дорівнює  $1,25$ . Середньозважений коефіцієнт віддзеркалення стелі, стін і статі дорівнює  $0,5$ , а світлова характеристика вікна  $\nu_{\text{ВК}} = 16$ . Відношення довжини приміщення  $A$  до його глибини  $B$  дорівнює  $2,5$ , а коефіцієнт, що враховує затемнення вікна конфронтуючим будинком  $1,1$ . Відстань між виробничим та конфронтуючим будинками приймаємо рівною  $P = 40 \text{ м}$ , а висота розташування карниза конфронтуючого будинку над підвіконням розглянутого вікна  $20 \text{ м}$ . Коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості від заскління обираємо  $1,2$ , тому що вікна приміщення суспільного будинку розташовані вертикально.

Загальний коефіцієнт світлопроникнення визначаємо на підставі окремих показників

$$\tau = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4, \quad (5.1)$$

$$\tau = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,512,$$

де  $\tau_1$  – коефіцієнт, що враховує здібність світлопропускаючого матеріалу, обираємо рівним  $0,8$ , тому що скло віконне, листове, подвійне;

$\tau_2$  – коефіцієнт, що враховує вид рами, обираємо рівним  $0,8$ , тому що для вікон суспільних будинків використовуються дерев'яні одинарні рами;

$\tau_3$  – коефіцієнт, що враховує вид несучих конструкцій покрить, обираємо рівним 0,8, тому що несучі конструкції являють собою залізобетонні ферми й арки;

$\tau_4$  – коефіцієнт, що враховує втрати світла в сонцезахисних завісах, обираємо рівним 1, тому що вікна закриті внутрішніми регульованими шторами, що убираються.

Тоді необхідна площа заскління дорівнює, м<sup>2</sup>.

$$S_o = \frac{H^{III} \cdot v_{BK} \cdot K_3 \cdot S_{II} \cdot \mathcal{K}_B}{\tau \cdot r_1 \cdot 100}, \quad (5.2)$$

$$S_o = \frac{1,01 \cdot 16 \cdot 1,2 \cdot 40 \cdot 1,1}{0,512 \cdot 3,3 \cdot 100} = 5,05,$$

де  $r_1$  – коефіцієнт, що враховує вплив відбитого світла при бічному освітленні  $r_1 = 3,3$ .

Площа засклення одного вікна визначаємо за попередніми даними, м<sup>2</sup>

$$S = \frac{B \cdot L}{h_1 \cdot B}, \quad (5.3)$$

$$S = 1,25 \cdot 2 = 2,5.$$

Необхідна кількість вікон в такому разі визначається по формулі

$$n = \frac{S_o}{S}, \quad (5.4)$$

$$n = \frac{5,05}{2,5} = 2$$

Таким чином, у цеху досить мати два вікна для природного освітлення.

Штучне освітлення застосовується при роботі в темний час доби і при недостатньому природному освітленні. Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової роботи прийнято нормувати мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні. Для четвертого розряду зорової роботи при загальній рівномірній системі освітлення, мінімальна освітленість повинна бути не менш за 300 лк.

Для освітлення приміщення використовуються люмінесцентні лампи ЛБ–40. Спектральний склад випромінювання люмінесцентних ламп ближче до сонячного світла в порівнянні з лампами накаливання.

## 5.2 Пожежна безпека

Пожежна безпека передбачає такий стан об'єкта, при якому виключається можливість пожежі. У випадку виникнення пожежі засоби безпеки запобігають впливу на людей небезпечних факторів і забезпечуються захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека забезпечується системами запобігання пожежі і пожежного захисту, що включають комплекс організаційних заходів і технічних засобів.

У складі пристрою відсутні речовини, що спалахують при зіткненні з водою або з киснем повітря. При експлуатації приладу причини появи пожеж неелектричного характеру можна виключити цілком. До електричних причин пожежі слід віднести короткі замикання; несправність електроустаткування й електромереж; іскріння й електричні дуги.

При коротких замкненнях на масу можливо короткочасне іскріння провідників, що викликає нагрівання й руйнування їхньої ізоляції. Для запобігання цього всі проводи і рознімання ізольовані. Контактний тиск жили проводу з перетином  $1 \text{ мм}^2$  незначний, він не приварюється до металу і швидко вигорає у разі замкнення. Таким чином коротке замкнення швидко самоліквідується.

У силовій частині пристрою передбачено схему захисту від короткого замкнення на масу.

Як організаційні заходи по попередженню загорянь проводяться бесіди й інструктажі. Експлуатаційні заходи передбачають правильну експлуатацію, своєчасний огляд і ремонт. Зменшення контактного опору досягається збільшенням площі контактів, застосуванням нероз'ємних з'єднань проводів пайкою та болтових з'єднань.

## ВИСНОВОК

Коректне балансування напруги батарей – один зі шляхів покращення метрологічних характеристик акумуляторних батарей електротранспорту та збільшення безпеки експлуатації батарей та строку їх служби. Нові технології балансування відслідковують стан кожної батареї, що дозволяє збільшити строк їх служби й підвищити безпеку експлуатації. Технологія швидкого активного балансування Powerpump збільшує час роботи без підзарядки, а також дозволяє максимально й з високою ефективністю збалансувати батареї наприкінці циклу розряду.

Збільшити швидкість пасивного балансування можна за рахунок використання зовнішніх компонентів.

Через більші струми балансування технологія Powerpump більш ефективна, чим пасивне балансування.

Сусідні батареї не можуть бути збалансовані одночасно.

При застосуванні алгоритму балансування, що використовує в якості основної метрологічної характеристики є відхилення напруги, можливе неповне балансування через різницю внутрішнього імпедансу батарей. У такому випадку неможливо визначити, чим викликане розбалансування напруг: різною ємністю батарей або відмінністю їхніх внутрішніх опорів.

За допомогою технології Impedance Track досягаються найкращі метрологічні характеристики балансування акумуляторної батареї.

Мета роботи досягнута, всі завдання виконані в повному обсязі.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автоматизація проектування радіоелектронних засобів / О. В. Алексеев, А. А. Головков, И. Ю. Пивоваров, Г. Г. Чавка; Под ред. О. В. Алексеева. – М.: «Высш. шк.», 2000. – 125 с.
2. Хартов В.Я., Проектування и відладка программ для мікроконтролерів AVR фірми ATMEL: Навчальний посібник по курсу «мікропроцесорні системи». Москва, вид-во «МГТУ ім. Баумана», 2004. – 62 с.
3. Стащенко В. Б. Р-CAD. Технологія проектування печатних плат». – С-Пб.: БХВ-Петербург, 2003. – 720 с.
4. Детальне опис архітектури чіпсета Sirfstarii.. // Компонента й технології. 2012. № 11. – С. 25–32.
5. Рум'янців А., Рикованов А. Способи заряду Li-Ion-Акумуляторів і батарей на їхній основі // Компонента й технології. 2012. № 11. – С. 23–29.
6. Рикованов А. Системи балансу Li-ion акумуляторних батарей // Силова електроніка. 2009. № 1. – С. 15–28.
7. Рикованов А., Беляєв С. Активні й пасивні системи балансу Li-ion акумуляторних батарей // Компонента й технології. 2014. № 3. – С. 33–39.
8. Рикованов А. Елементна база систем забезпечення функціонування Li-Ion акумуляторів // Компонента й технології. 2012. № 8. – С. 12–27.
9. Рикованов А. С. Системи балансу Li-ion акумуляторних батарей // Силовая электроника. 2009. № 1.
10. Рикованов А. С., Румянцев А. М. Способи заряду Li-ion акумуляторів и батарей на их основе // Компоненти и технологии. 2012. № 11. – С. 14–23.

ДОДАТОК А ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

КАФЕДРА МЕЖДУНАРОДНОГО ПРАВА



Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
(ХНАДУ)

Механічний факультет

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

**ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ**  
бакалавра

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ДО ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ  
СИСТЕМИ ЗАРЯДЖАННЯ ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ  
ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ**

Завідувач кафедри канд. техн. наук, проф.



О.І. Богатов

Нормоконтролер канд. техн. наук



М.В. Москаленко

Керівник канд. техн. наук



І.О. Серікова

Студент гр. ММ-41-19



П.В. Ахмадєєв

Харків – 2023

**Мета роботи** – підвищення ефективності використання тягової батареї електромобіля за рахунок розроблення метрологічних вимог до вимірювальної інформаційної системи заряджання тягових акумуляторних батарей електротранспорту.

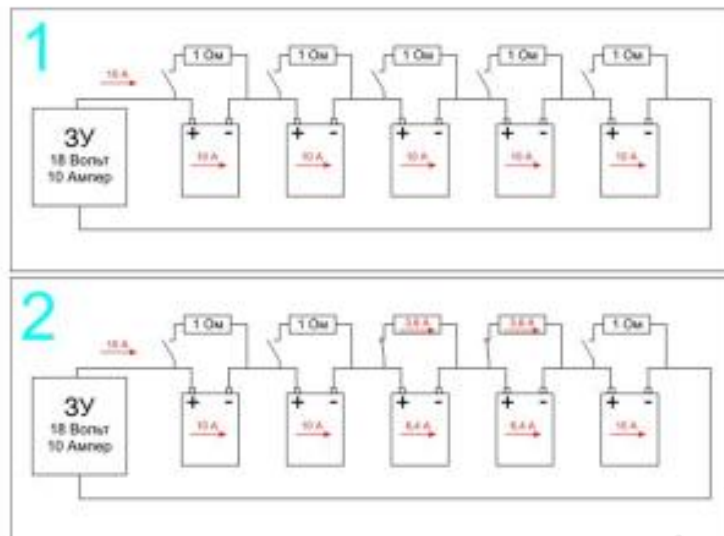
**Задачі дослідження:**

- розглянути режими вирівнювання заряду між ячійками;
- розглянути існуючі способи вирівнювання заряду між ячійками;
- проаналізувати перспективні методи вирівнювання заряду між ячійками;
- розробити метрологічні вимоги до системи заряджання тягових акумуляторних батарей.

**Об'єкт дослідження** – метрологічні вимоги до системи балансування тягової батареї електромобіля.

**Предмет дослідження** – пристрій вирівнювання заряду між ячійками батареї за допомогою електронного балансиру.

## ПАСИВНЕ БАЛАНСУВАННЯ



Основні критерії для оцінки ступеня балансування ячійок:

1. Вирівнювання напруги на ячійках,
2. Вирівнювання заряду в ячійках.

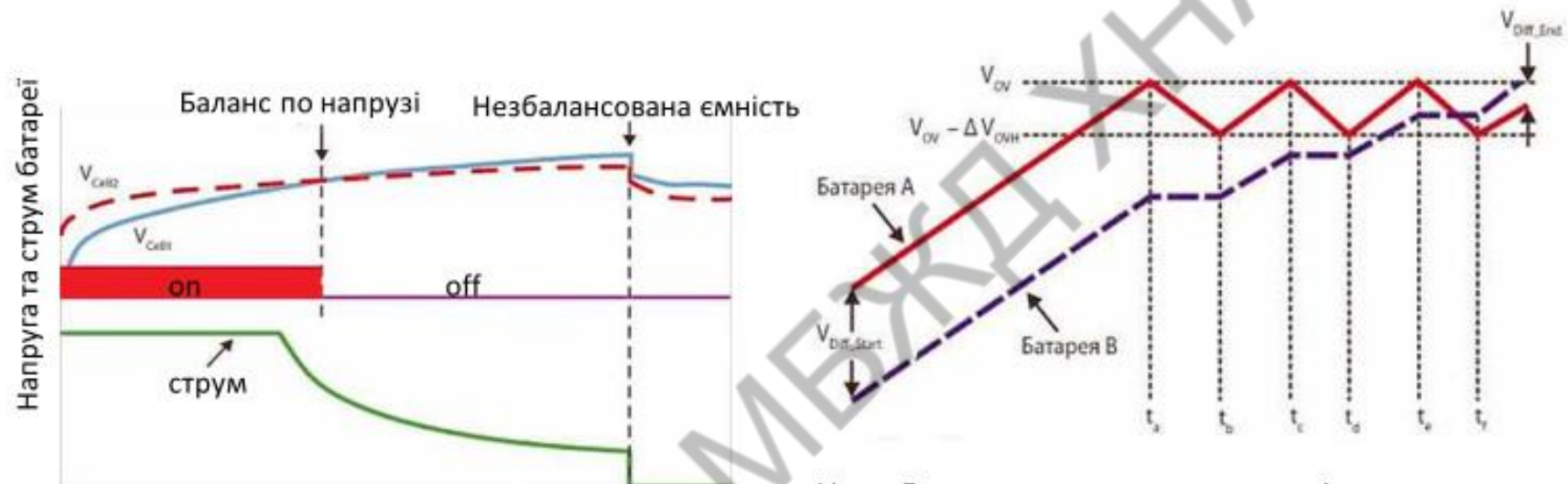
Два способи досягнення цих методів балансування:

1. Пасивний.
2. Активний.

Порівнюючи напругу батареї із запрограмованими порогоми, мікросхема при необхідності включає режим балансування. Якщо напруга якої-небудь батареї перевищує заданий поріг, заряд припиняється, підключаються байпасні кола. Заряд не відновлюється доти, поки напруга батареї не знизиться нижче граничного значення. Тоді процедура балансування припиняється.



## ПАСИВНИЙ МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ ПО НАПРУЗІ

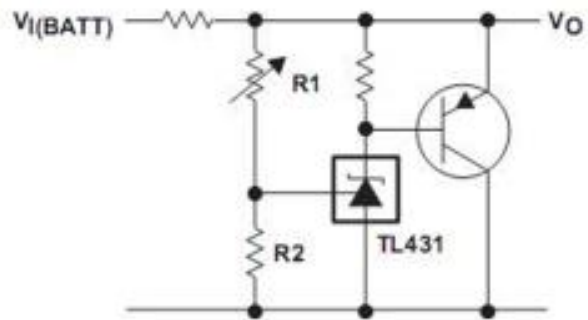


$V_{OV}$  – Детектування порога по напрузі;  
 $\Delta V_{OVh}$  – Гістерезис перенапруги для програмування кроків балансування.

Пасивний метод балансування по напрузі неефективно використовує ємність батарей.

При такому типі пасивного балансування немає гарантії, що усі ячійки будуть повністю зарядженими.

## ПАСИВНИЙ МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ ПО НАПРУЗІ



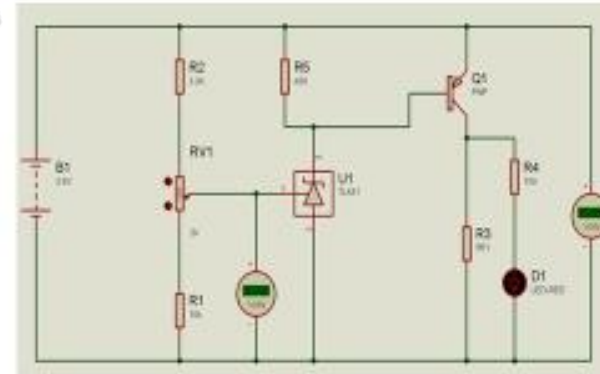
Балансування за допомогою стабілітрону



Підключення ячійок до балансирів

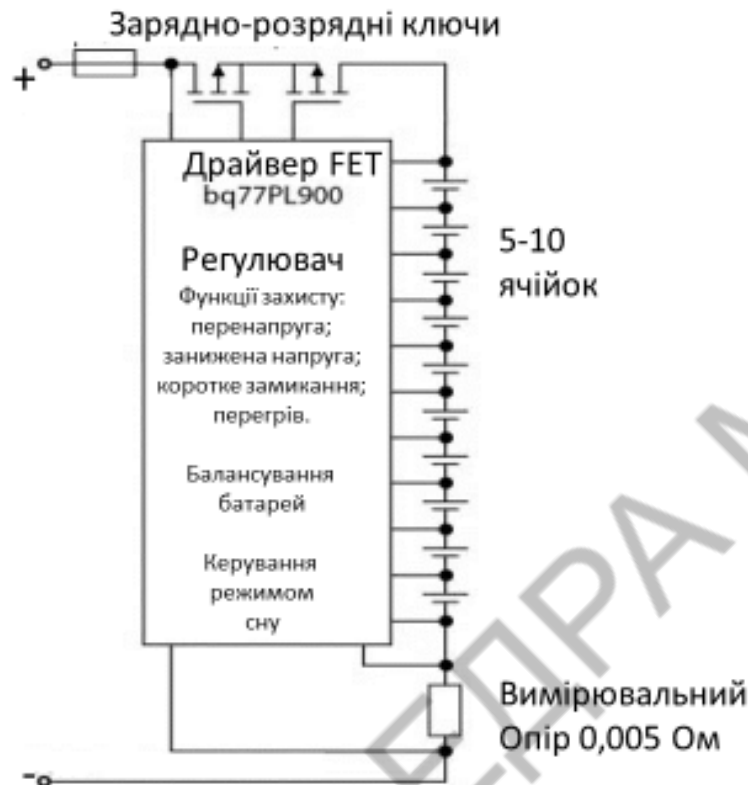


Фізична реалізація балансиру

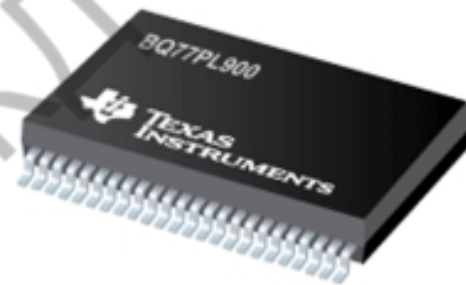


Розрахункова модель балансиру

## ДРАЙВЕР FET В АВТОНОМНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ ДЛЯ ЗАХИСТУ БАТАРЕЇ ЯЧІЙОК



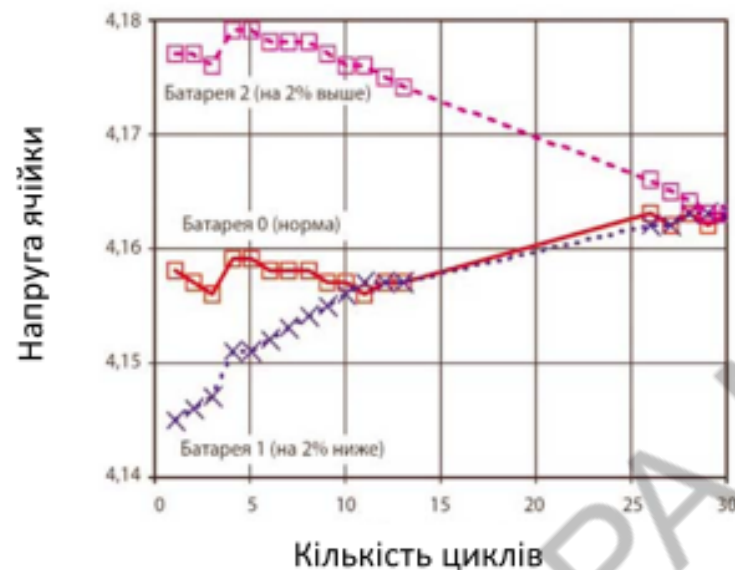
**Мікросхема BQ77PL900, використовувана в автономному режимі роботи для захисту батареї ячійок**



При застосуванні алгоритму балансування, що використовує в якості критерію тільки відхилення напруги, можливе неповне балансування через різницю внутрішнього імпедансу батарей. Справа в тому, що внутрішній імпеданс вносить свій внесок у розкид напруг при заряді. Мікросхема захисту батарей не може визначити, чим викликане розбалансування напруг: різною ємністю батарей або відмінністю їхніх внутрішніх опорів.

## ТЕХНОЛОГІЯ IMPEDANCE TRACK

За допомогою технології досягається більш точне балансування батареї Impedance Track

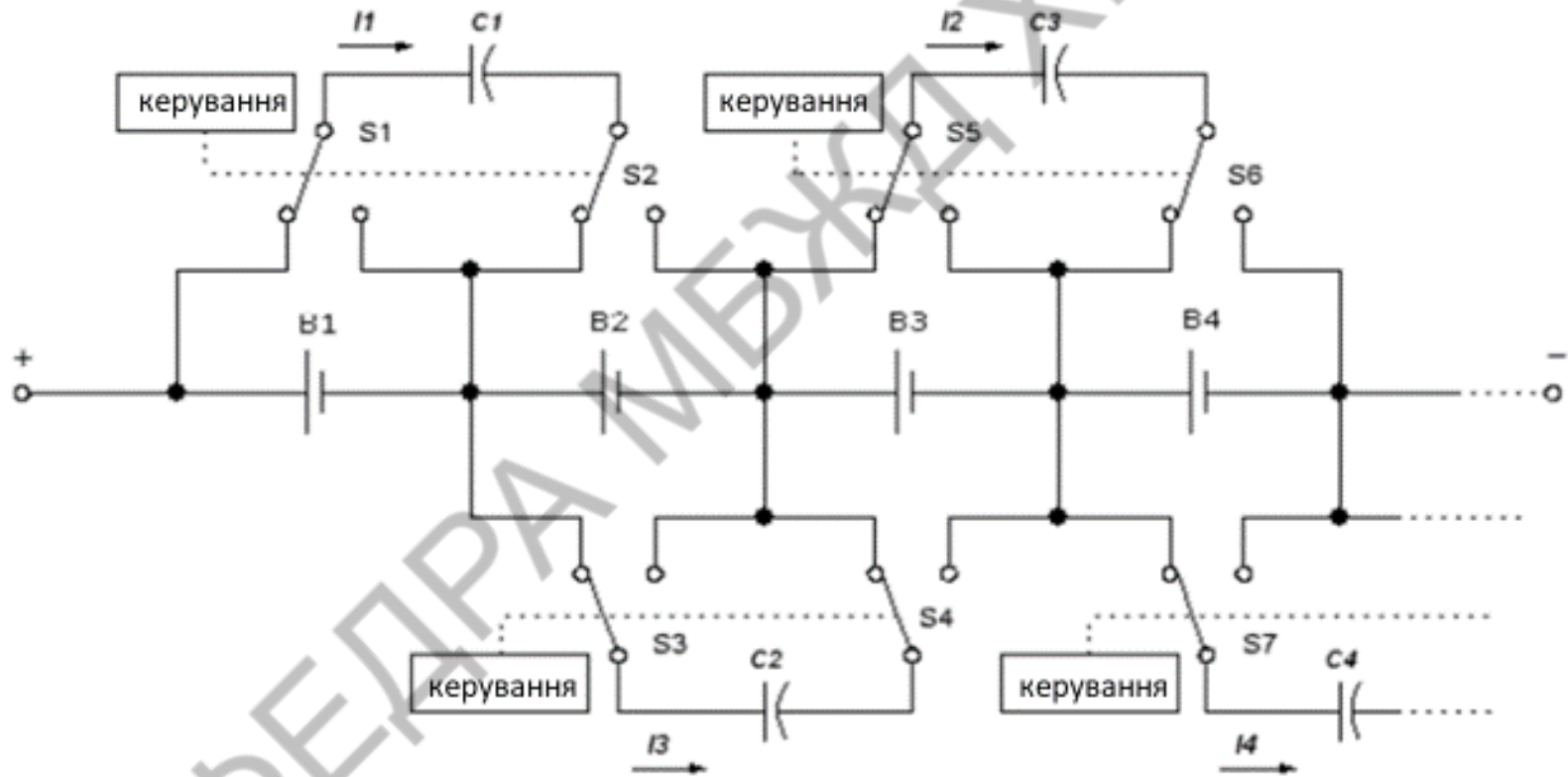


Пасивне балансування, що засновано СЗБ та ємності

Мікросхеми сімейства BQ20ZXX, використовують для визначення рівня заряду фірмову технологію Impedance Track, що базується на визначенні СЗБ і ємності батареї. У цій технології для кожної батареї обчислюється заряд QNEED, необхідний для досягнення повністю зарядженого стану, після чого перебуває різниця  $\Delta q$  між QNEED усіх батарей. Потім мікросхема вмикає силові ключі, через які відбувається балансування батареї до стану  $\Delta Q = 0$ . Внаслідок того, що різниця внутрішніх опорів батарей не виявляє впливу на цей метод, він може застосовуватися в будь-який час: і при зарядці, і при розрядці батарей. При використанні технології Impedance Track досягається більш точне балансування батареї.

## АКТИВНЕ БАЛАНСУВАННЯ

Схема з одним конденсатором, що комутує пару ячійок

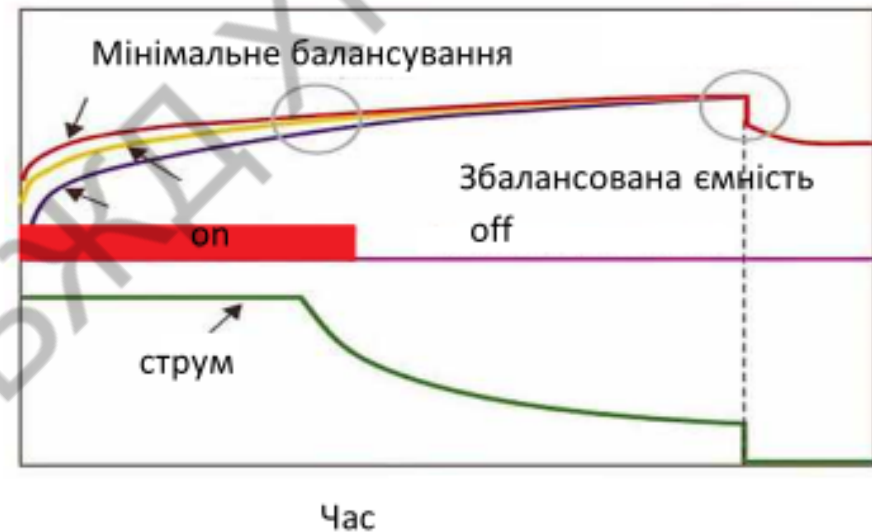
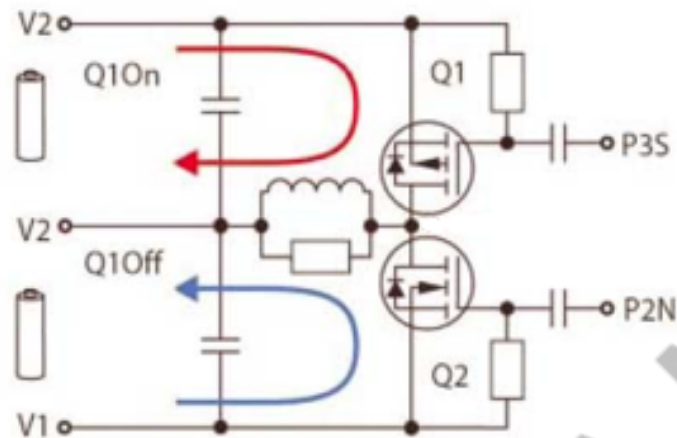




## АКТИВНЕ БАЛАНСУВАННЯ

### Балансування за технологією PowerPump

Процес перекачування енергії

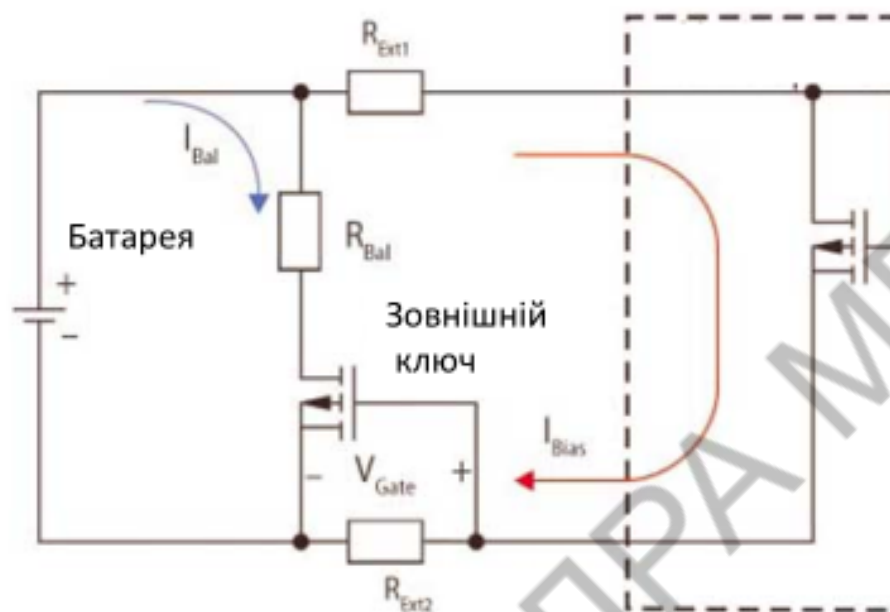


Через більші струми балансування технологія Powerpump більш ефективна, чим пасивне балансування. Підбираючи значення компонентів, можна досягти ефективності балансування в 12–20 раз кращої, чим при пасивному методі із внутрішніми ключами. Типового значення розбалансування (менш чим 5%) можна досягти за один або два цикли. Переваги: балансування може відбуватися при будь-якому режимі роботи – заряд, розряд і навіть тоді, коли батарея, що віддає енергію, має меншу напругу, чим батарея, що одержує енергію.

У порівнянні з пасивним методом губиться набагато менше енергії.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ АКТИВНОГО І ПАСИВНОГО МЕТОДА БАЛАНСУВАННЯ

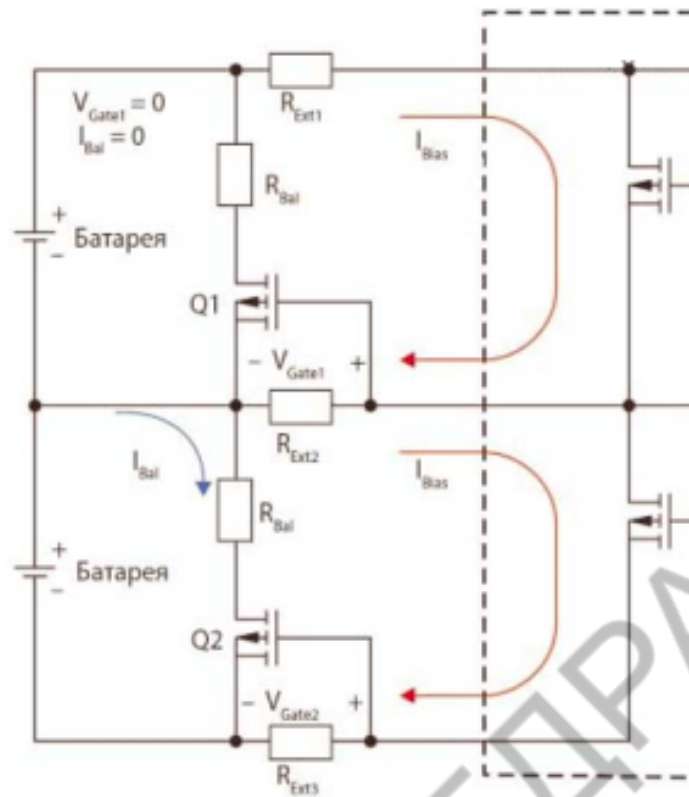
### Пасивне балансування з використанням зовнішніх компонентів



Технологія Poweruptr швидше робить балансування. При пасивному балансуванні вбудовані в батарейний блок силові ключі обмежують максимальне значення струму, тому може знадобитися багато більше циклів балансування. Процес балансування може бути навіть перерваний при великій різниці параметрів батарей. Збільшити швидкість пасивного балансування можна за рахунок використання зовнішніх компонентів.

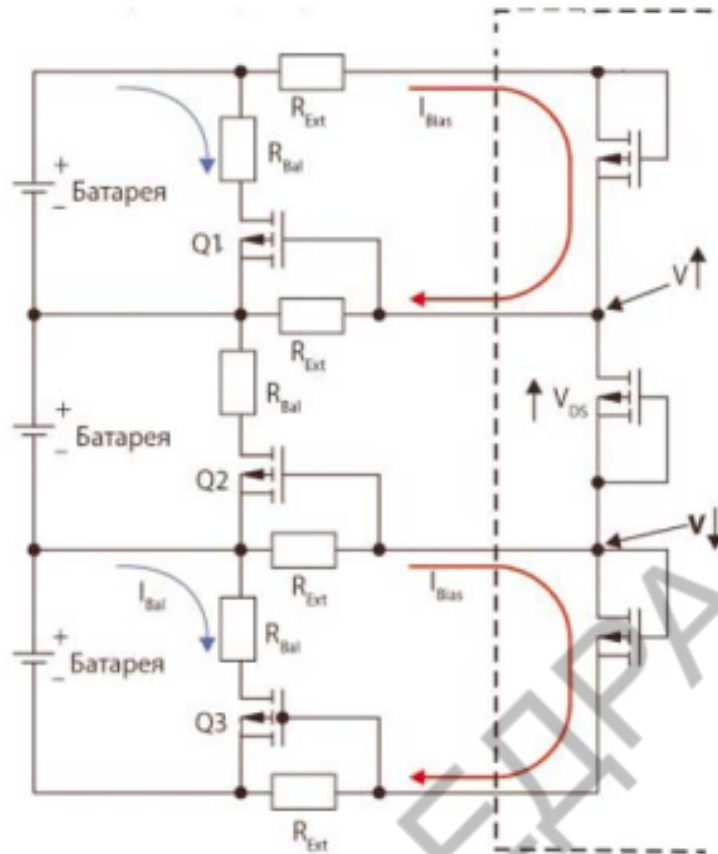
КАФЕДРА МЕНЕДЖМЕНТУ

## ПАСИВНЕ БАЛАНСУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗОВНІШНІХ КОМПОНЕНТІВ



Спочатку вмикається внутрішній ключ батареї, який створює невеликий струм зсуву, що протікає через резистори  $R_{Ext1}$  і  $R_{Ext2}$ , включені між виводами батареї й мікросхемою. Напряга «затворджерело» на резисторі  $R_{Ext2}$  вмикає зовнішній ключ, і струм балансування починає протікати через відкритий зовнішній ключ і резистор  $R_{Bal}$ . Недолік цього методу полягає в тому, що одночасно не може відбуватися балансування суміжної батареї. Це відбувається через те, що коли відкритий внутрішній ключ суміжної батареї, через резистор  $R_{Ext2}$  не може протікати струм. Тому ключ Q1 залишається закритим навіть тоді, коли відкритий внутрішній ключ. На практиці ця проблема не має великого значення, тому що при такому способі балансування батарея, підключена до Q2 швидко балансується, а слідом за нею балансується й батарея, підключена до ключа Q2.

## ПАСИВНЕ БАЛАНСУВАННЯ СУМІЖНИХ ЯЧІЙОК



Якщо балансується кожна друга ячейка, з'являється висока напруга стік-джерело  $V_{DS}$ . При цьому напруга  $V_{DS}$  середнього ключа може перевищити максимально припустиме значення. Розв'язок цієї проблеми – обмеження максимального значення резистора  $R_{ext}$  або виключення можливості одночасного балансування кожної другої батареї.

## ВИСНОВКИ

- Збільшити швидкість пасивного балансування можна за рахунок використання зовнішніх компонентів.
- Через більші струми балансування технологія Powerpump більш ефективна, чім пасивне балансування.
- Сусідні батареї не можуть бути збалансовані одночасно.
- При застосуванні алгоритму балансування, що використовує в якості критерію тільки відхилення напруги, можливе неповне балансування через різницю внутрішнього імпедансу батарей. У такому випадку неможливо визначити, чим викликане розбалансування напруг: різною ємністю батарей або відмінністю їхніх внутрішніх опорів.
- За допомогою технології Impedance Track досягається більш точне балансування батарей.