

ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНОГО БАЛАНСУВАННЯ ЗАРЯДУ LiFePO_4 ТА Li-POL АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Коломзаров Юрій Вікторович,
кандидат технічних наук

Корнага Василь Ігорович,
кандидат технічних наук

Пекур Демид Володимирович,
доктор філософії, старший дослідник

Сорокін Віктор Михайлович
чл. -кор. НАНУ, доктор технічних наук,
професор

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України
E-mail: vasyak1284@gmail.com

У сучасних умовах, коли стабільність мережевого електропостачання у багатьох регіонах залишається ненадійною або недостатньо гарантованою [1], спостерігається стрімке зростання інтересу до впровадження автономних систем резервного живлення. Такі системи здатні забезпечувати електроживлення навантаження з заданою потужністю протягом визначеного інтервалу часу. Ключовим компонентом подібних систем є акумуляторні батареї, що акумулюють енергію у періоди доступності зовнішнього джерела живлення та забезпечують її віддачу при його відсутності.

Найбільш поширеними типами хімічних джерел струму в таких системах резервного живлення є акумулятори на основі літій-залізо-фосфатних (LiFePO_4) та літій-полімерних (Li-Pol) елементів [2]. Це зумовлено їх високою питомою щільністю енергії, високим ресурсом циклів заряджання/розряджання, стабільністю при теплових впливах та низькою швидкістю саморозряду. LiFePO_4 акумулятори мають також переваги з точки зору хімічної стабільності та відносно низької схильності до підвищення температури при процесах заряджання/розряджання, що є критично важливим для підвищення безпеки експлуатації систем з великою накопиченою енергією.

Типовим інженерним підходом до побудови батарей на базі вказаних елементів є їх послідовне з'єднання, що дозволяє сформувати високу вихідну напругу. Це, у свою чергу, сприяє зниженню робочих струмів, зменшенню втрат на комутаційних елементах та підвищенню загальної ефективності енергетичних перетворювачів. Проте такий спосіб комутації вимагає високої однорідності характеристик усіх складових елементів: внутрішнього опору, фактичної ємності, температурної залежності параметрів тощо. В реальних умовах експлуатації неможливо досягти ідеального збігу вказаних характеристик, що призводить до виникнення неоднорідності в процесах заряджання та розряджання окремих елементів акумуляторної батареї.

Зокрема, при заряджанні таких батарей можливе перевищення максимально допустимої напруги на окремому елементі, навіть якщо загальна напруга всієї батареї залишається у межах допустимого робочого діапазону. Це пов'язано із неоднаковою швидкістю насичення елементів енергією внаслідок внутрішніх втрат або деградації окремих елементів через недосконалість технології виробництва. Перевищення граничного рівня напруги навіть на одному елементі здатне спричинити його необоротне пошкодження або, у найгіршому випадку, перегрів із небезпекою займання. Відмова одного елемента призводить до втрати працездатності всієї батареї або до суттєвого зниження її експлуатаційного ресурсу.

Для запобігання зазначеним негативним явищам у складі сучасних акумуляторних батарей впроваджуються системи балансування, що забезпечують моніторинг електричних параметрів (зокрема, напруги) на кожному окремому елементі та, у разі потреби, здійснюють активне вирівнювання рівня заряду між ними [3,4]. Існує дві основні архітектури таких систем балансування: пасивна та активна.

Пасивні системи балансування функціонують за принципом розсіювання надлишкової енергії на резистивних елементах у вигляді тепла. Такий підхід є конструктивно простим і має низьку вартість, проте характеризується низькою енергетичною ефективністю, особливо при балансуванні елементів в батареях великої ємності. Натомість активні системи реалізують перерозподіл енергії між елементами батареї, переміщуючи заряд від елементів з вищою напругою до менш заряджених елементів.

Метою даного дослідження було провести огляд існуючих підходів до реалізації систем балансування акумуляторних батарей на основі LiFePO_4 та Li-Pol акумуляторних елементів. Проаналізувати їх переваги, недоліки, енергетичні втрати, надійність, масштабованість та доцільність використання у конкретних застосуваннях — від малопотужних портативних пристроїв до високопотужних накопичувачів енергії для побутових та спеціальних застосувань, а також розробити власну архітектуру системи активного балансування елементів.

Дослідження проведені у рамках наукового проєкту, реалізованого за підтримки Національного фонду досліджень України (грант № 2022.01/0037), здійснено проектування та експериментальне дослідження власної системи активного балансування з використанням керованих ключів та енергоакумуляуючих елементів. Результати моделювання та практичної реалізації підтвердили ефективність обраної архітектури, а також виявили критичні вузли, що потребують подальшої оптимізації з метою зниження втрат на комутацію та покращення теплового режиму роботи.

Запропонована система має потенціал до інтеграції у склад більш масштабних систем управління енергозабезпеченням, що робить її перспективною для подальшої комерціалізації та застосування у сфері автономного енергоживлення, відновлюваних джерел енергії та транспортних засобів на електричній тязі.

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України в рамках грантового дослідницького проєкту №2022.01/0037.

Список використаних джерел

1. Shcrabets, F. P., Krasovskiy, P. Y., & Berdnyk, V. V. (2017). The systems of backup power supply based on renewable energy sources for mobile facilities. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, (2), 81-86.
2. Стисло, Б., Зайцев, Р., Мінакова, К., Кіріченко, М., & Єресько, О. (2021). Аналіз ефективності схем активного балансування акумуляторних батарей. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення у сучасних технологіях*, (2 (8)), 38-45.
3. Daowd, M., Omar, N., Van Den Bossche, P., & Van Mierlo, J. (2011, September). Passive and active battery balancing comparison based on MATLAB simulation. In *2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference* (pp. 1-7). IEEE
4. Li, S., Mi, C. C., & Zhang, M. (2012). A high-efficiency active battery-balancing circuit using multiwinding transformer. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 49(1), 198-207.