

УВЕЛИЧЕНИЕ ДИАПАЗОНА УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИТИЙ ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Салменов Еркебулан Арманович

магистрант, Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина, РК, г. Нур-Султан

Ногай Адольф Сергеевич

научный руководитель, проф., Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина, РК, г. Нур-Султан

Аннотация. В данной работе представлены результаты оптимизации максимальной удельной энергии литий-ионного аккумулятора с использованием метода поверхности с прогрессивным квадратичным откликом и планирования экспериментов на основе прикладной программы Matlab.

Ключевые слова: Литий-ионные аккумуляторы, удельная энергия, пористость, корреляционный анализ, дисперсионный анализ

Введение

Литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы (ЛИА) стали преобладающим средством хранения энергии из-за их высокой эффективности, низкой стоимости, большой емкости, отсутствия эффекта памяти и длительного срока службы. Благодаря высокой теоретической плотности энергии и длительного срока службы литий-ионные аккумуляторы (LIB) широко используются в качестве аккумуляторных батарей. Спрос на ЛИА связан, из-за большой мощности и большой емкости и резко растущего применения в электромобилях и устройствах хранения энергии. Чтобы удовлетворить эту тенденцию, плотность энергии ЛИА должна быть улучшена. Для этого исследуются и разрабатываются новые электродные материалы. Однако разработка новых электродных материалов требует значительного времени и усилий [1].

Таким образом, одним из способов снижения затрат на исследования и разработки является оптимизация конструктивных параметров существующих электродных материалов, таких как пористость и толщина, для увеличения мощности и емкости ЛИА. Крайне важно оптимизировать переменные конструкции для достижения целевой производительности, потому что мощность и емкость имеют компромиссное соотношение. Однако взаимосвязь между конструктивными параметрами и характеристиками ЛИА очень нелинейна; поэтому их сложно сконструировать экспериментально. Для преодоления этих трудностей используется оптимизация с использованием численных моделей, учитывающих электрохимические реакции, что является эффективным методом. Недавние исследования были проведены для оптимизации переменных конструкции элементов с использованием численных моделей для проектирования аккумуляторов большой мощности / большой емкости [2, 3].

Целью работы является оптимизация максимальной удельной энергии ЛИА с использованием метода поверхности с прогрессивным квадратичным откликом.

2 Методика эксперимента.

Оптимизация удельной плотности энергии литий-ионного аккумуляторного элемента

Алгоритм PQRSM — это один из методов SAO, который использует квадратичную модель поверхности отклика [4]. В отличие от алгоритмов на основе градиента, градиент не требуется, поэтому не требуется сложных вычислений. Это также может быть применено к задачам с числовым шумом и эффективно для нелинейных задач. Кроме того, применяется алгоритм доверительной области, гарантирующий слабую глобальную сходимость. Следовательно, вероятность сходимости к локальному оптимуму мала. Алгоритм PQRSM генерирует полную квадратичную модель поверхности отклика, которая удовлетворяет вращаемой с каждой итерацией с $2n + 1$ точками выборки, и проводит приближительную оптимизацию с использованием этой модели поверхности отклика. На рисунке 1 показана процедура оптимизации PQRSM



Рисунок 1. Блок-схема процесса оптимизации PQRSM

Исследование показывает потенциал оптимизации на основе PQRSM для проектирования ячеек с максимальной плотностью энергии при сохранении определенных требований к мощности. В результате оптимизации удельная плотность энергии увеличилась на 56,8%, а удельная мощность снизилась на 1,02% при соблюдении ограничений. Рисунок 2 представляет собой график зависимости удельной плотности энергии от удельной плотности мощности исходной и оптимизированной ячеек. При удельной плотности мощности 600 Вт / кг и ниже оптимизированная ячейка показала более высокие характеристики удельной

плотности энергии, чем исходная ячейка. Для подтверждения явления поляризации ячейки был проведен анализ HPLC [5]. Этот результат демонстрирует, что теоретическая энергия эффективно увеличилась без увеличения явления поляризации, несмотря на уменьшение пористости

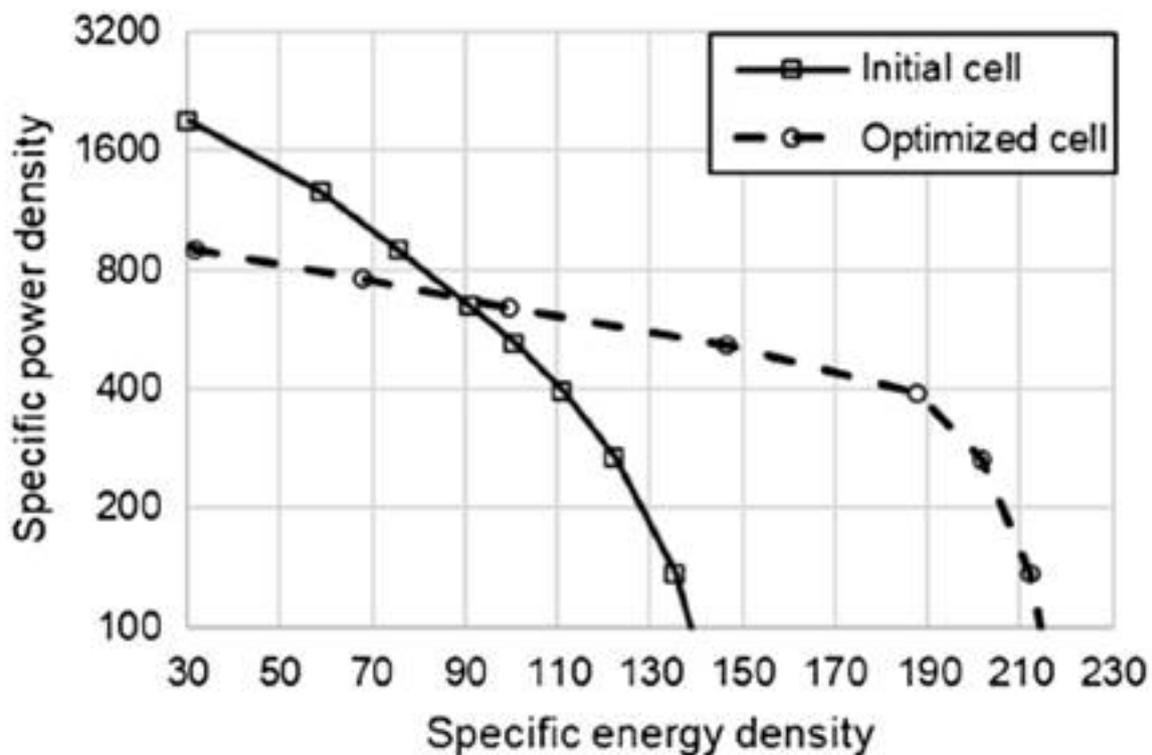


Рисунок 2. Удельная плотность энергии в зависимости от удельной плотности мощности исходной ячейки и оптимизированной ячейки

3. Экспериментальные результаты

Моделирование в среде Matlab

Мы увидим, как состояние заряда аккумулятора можно использовать для управления зарядкой и разрядкой литий-ионного аккумулятора. Здесь мы собираемся использовать Matlab для настройки литий-ионного аккумулятора, подвергающемуся разряду постоянным током. На рисунках 3 и 4 показаны принципиальная схема и результаты кривых осциллограмм

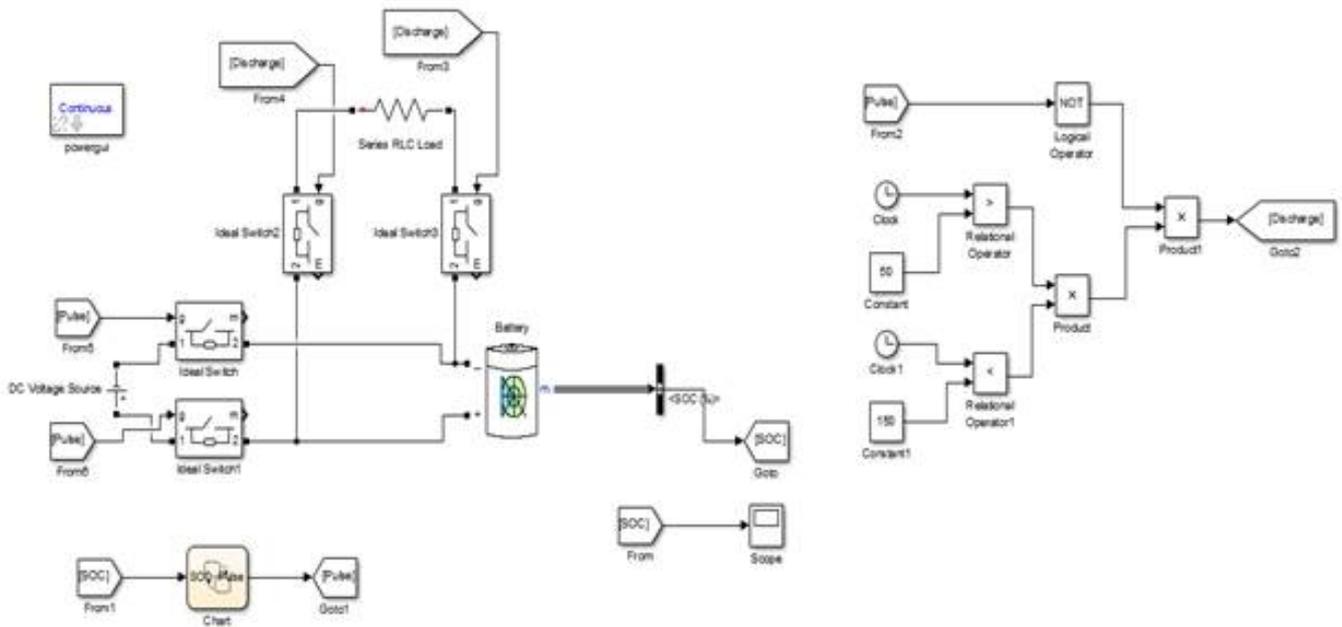


Рисунок 3. Принципиальная схема моделирования

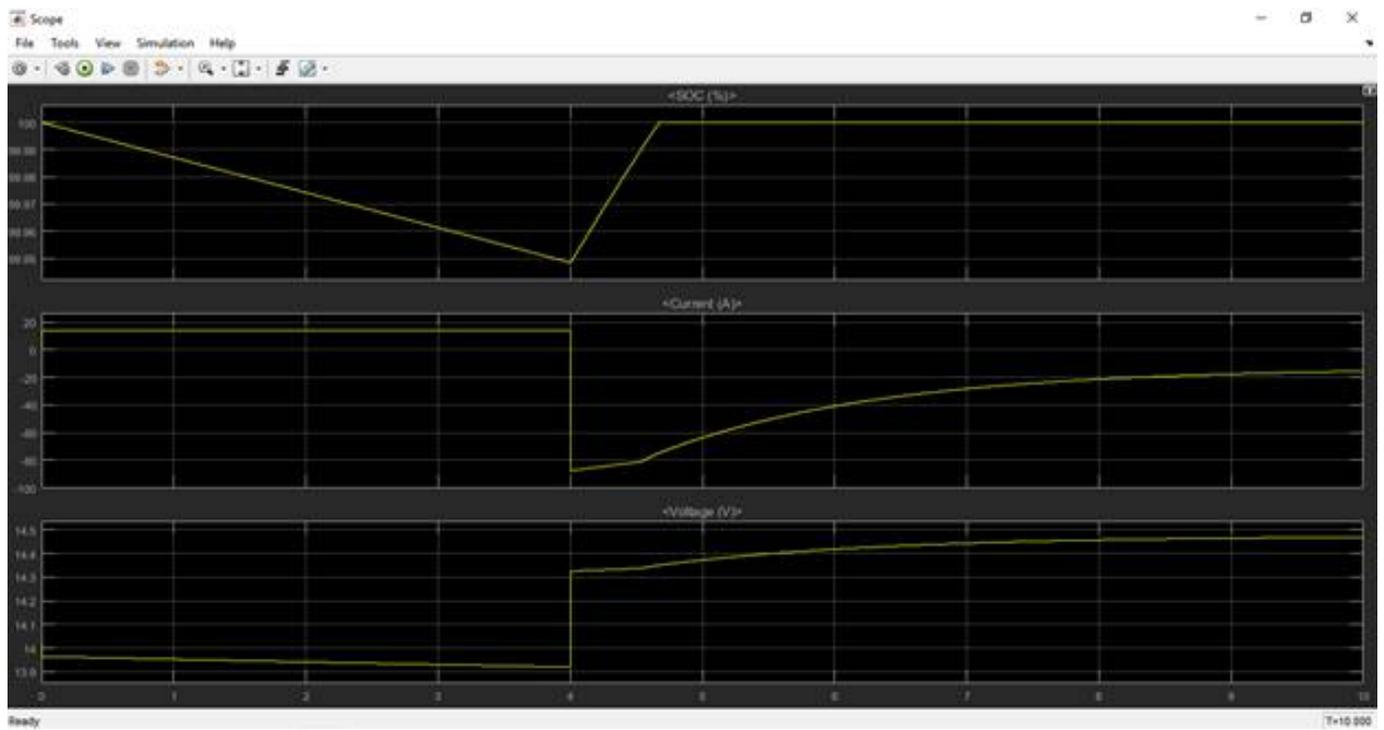


Рисунок 4. Кривые SOC, Current u Votage

В этом исследовании была проведена оптимизация для максимизации удельной плотности энергии LIB с использованием DOE и PQRSМ, что гарантирует слабую глобальную сходимость и не требует вычисления градиентов. Сначала был выполнен DOE для выбора проектных переменных, точки выборки были получены с помощью 4-уровневого ортогонального массива, а чувствительность была проанализирована с помощью корреляционного анализа и ANOVA [6, 7]. Корреляционный анализ подтвердил, что никакие факторы не имеют явной линейной зависимости и что толщина электрода имеет умеренную отрицательную линейную зависимость от удельной плотности мощности. Посредством ANOVA толщина катода, толщина

анода, толщина сепаратора, пористость катода и пористость анода были выбраны в качестве переменных конструкции, которые являются факторами, влияющими на удельную плотность энергии и удельную плотность мощности. Затем ЛИА был оптимизирован для максимизации удельной плотности энергии при сохранении удельной плотности мощности с использованием PQRSМ. Результат оптимизации показал, что удельная плотность энергии была улучшена на 56,8% при соблюдении ограничений. Это исследование подтвердило, что оптимизация на основе PQRSМ эффективна для разработки аккумуляторов большой емкости.

В качестве демонстрационных доказательств исследования была использована методология моделирования в среде Matlab. Построенные схемы и осциллограммы графически подтверждают нами выбранную методологию.

Заключение

На основе выполненных работ можно сделать следующие выводы:

1. Достижение теоретической максимальной удельной энергии ЛИА можно достичь результате применения метода поверхности с прогрессивным квадратичным откликом. Посредством ANOVA можно выбрать оптимальные толщины катода, анода, сепаратора, а также на пористости катода и анода для достижения максимальной удельной плотности энергии и удельную плотности мощности.
2. Реализация данного метода применительно к ЛИА эффективна путем моделирования в среде Matlab,
3. Показано, что путем применения данной методики можно достичь улучшения удельной плотности аккумулятора энергии на 56,8%., относительно существующих ЛИА.

Список литературы:

1. Blomgren, G. E. (2016). The Development and Future of Lithium-Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 164(1), A5019–A5025. doi:10.1149/2.0251701jes
2. Deiss, E. (1997). Average Voltage, Energy Density, and Specific Energy of Lithium-Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 144(11), 3877. doi:10.1149/1.1838105
3. Jansen, A. ., Kahaian, A. ., Kepler, K. ., Nelson, P. ., Amine, K., Dees, D. ., ... Thackeray, M. . (1999). Development of a high-power lithium-ion battery. *Journal of Power Sources*, 81-82, 902-905. doi:10.1016/s0378-7753(99)00268-2
4. Meister, P., Jia, H., Li, J., Kloepsch, R., Winter, M., & Placke, T. (2016). Best Practice: Performance and Cost Evaluation of Lithium-Ion Battery Active Materials with Special Emphasis on Energy Efficiency. *Chemistry of Materials*, 28(20), 7203–7217. doi:10.1021/acs.chemmater.6b02895
5. Morris, R. S., Dixon, B. G., Gennett, T., Raffaele, R., & Heben, M. J. (2004). High-energy, rechargeable Li-ion battery based on carbon nanotube technology. *Journal of Power Sources*, 138(1-2), 277–280. doi:10.1016/j.jpowsour.2004.06.014
6. Scrosati, B., Hassoun, J., & Sun, Y.-K. (2011). Lithium-ion batteries. A look into the future. *Energy & Environmental Science*, 4(9), 3287. doi:10.1039/c1ee01388b
7. Zubi, G., Dufo-López, R., Carvalho, M., & Pasaoglu, G. (2018). The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 292–308. doi:10.1016/j.rser.2018.03.002