ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

OVERVIEW OF METHODS FOR ASSESSING BATTERY STATE

УДК 629

Фатхутдинов Т.М., МГТУ им. Баумана, Москва, 2 курс магистратуры
Узеньков Д.А., МГТУ им. Баумана, Москва, 2 курс магистратуры
Корчагин А.И., МГТУ им. Баумана, Москва, 2 курс магистратуры
Марченко А.Б., МГТУ им. Баумана, Москва, 2 курс магистратуры

Fatkhutdinov T.M., fatkhutdinovtm@gmail.com
Uzenkov D.A., fatkhutdinovtm@gmail.com
Korchagin A. I., fatkhutdinovtm@gmail.com
Marchenko A.B. fatkhutdinovtm@gmail.com

Аннотация

На сегодняшний день все большее количество людей, используют портативные устройства, имеющие в себе аккумуляторные батареи. Чтобы обеспечить безопасность и долговечность использования этих устройств необходимо следить за состоянием аккумуляторной батареи. Состояние работоспособности батареи (СРБ) представляет собой важную информацию о производительности, сроке службы, правильности выдаваемых параметров в пределах погрешности устройства. В этой статей представлен обзор оценки СРБ с помощью экспериментальных методов исследования, рассмотрены их достоинства и недостатки.

Abstract

Today, more and more people use portable devices that have rechargeable batteries in them. To ensure the safety and durability of these devices, you must monitor the condition of the battery. The battery health status (BHS) is important information about performance, service life, and the correctness of the reported parameters within the device error. This article provides an overview of the assessment of BHS using experimental research methods, their advantages and disadvantages are considered.

Ключевые слова: обзор; идентификация параметров, внутреннее сопротивление батареи, внутренний импеданс батареи, количество заряда

Key words: review; parameter identification, battery internal resistance, battery internal impedance, charge amount.

Введение

Литий-ионные аккумуляторы являются сложными электрохимическими устройствами с нелинейным поведением. Их характеристики сильно зависят от внутренних их и внешних условий (старение, температура и т. д.). Чтобы отслеживать эти характеристики, аккумуляторные батареи всегда оснащены системой управления аккумулятора, являющейся частью системы управления батареями. Ее роль - обеспечить безопасное использование батареи и как можно точнее оценить основные параметры аккумуляторной системы, такие как его состояние здоровья, состояние питания и состояние заряда.

Состояние заряда обеспечивает информация о текущем количестве энергии, хранящейся в батарее. Состояние питания показывает возможность аккумулятора обеспечивать необходимой мощностью потребителя. Между тем, как состояние здоровья — это показатель качества, указывающий на уровень деградации аккумулятора. Точность оценки состояние здоровья прямо пропорциональна точности оценки состояния питания и состояния заряда. Для оценки состояния аккумулятора используются разные методы. Что касается оценки состояния здоровья аккумулятора, есть три основных индикатора,

которые определяют его состояние: внутреннее сопротивление, импеданс и его емкость. Емкость аккумулятора отражает количество энергии, которое может хранить аккумулятор. в то время как внутреннее сопротивление и импеданс являются показателями его мощности. В зависимости от используемого режима аккумулятора, состояние здоровья зависит от разных индикаторов.

Для гибридных автомобилей главный показатель - мощность, поэтому состояние их здоровья можно увидеть с помощью индикаторов состояния питания, а именно внутреннее сопротивление и импеданс. Эти параметры меняются в течение срока службы аккумулятора из-за старения. Заряд батареи можно рассчитать, используя соотношение между фактическим значением индикатора. (емкость, импеданс или сопротивление) и его начальное. В конце срока службы, аккумулятор гибридной установки может потерять в емкость до 20%, в то время как внутреннее сопротивление увеличивается до 160% от его начального значения.

Экспериментальные методы, как правило, проводятся в лабораториях, поскольку они требуют определенного оборудования и часто требуют много времени на исследование. Они основаны на сборе данных и измерений, которые могут использоваться для понимания и оценки поведения батареи при старении. В этой главе представлены основные экспериментальные методики.

1. Измерение внутреннего сопротивления батареи

Внутреннее сопротивление батареи считается важным показателем состояние здоровья аккумулятора, внутренние сопротивление батареи определяется. Падением напряжения при подаче тока на аккумулятор. Внутреннее сопротивление аккумулятора сильно зависит от старения и деградации аккумулятора. Значение внутреннего сопротивления коррелирует с максимальным зарядом аккумулятора, поэтому его часто используют как индикатор для оценки заряда. В литературе показано, как несколько авторов исследовали методы измерения внутреннего сопротивления. Наиболее часто используемый метод называется текущего импульса [1]. Он основан на законе

Ома. Закон Ома измеряет падение напряжения батареи при заданном токе, а затем вычисляет внутреннее сопротивление батареи, как показано ниже.

$$R_b(SOC, T) = \frac{OCV(SOC,T) - V_{bat}(SOC,T)}{I_{pulse}} \quad (1)$$

где Rb - внутреннее сопротивление батареи, OCV - напряжение холостого хода, Vb – подаваемое напряжение и Ipulse - приложенный ток. Этот метод широко используется в лабораториях для определения поведения внутреннего сопротивления батареи в различных рабочих условиях с высокой точностью. Однако этот метод больше подходит для прикладных исследований и лабораторного применения из-за длительности процесса (примерно один час разрядки батареи для достижения равновесия перед измерением OCV).

В [2]-25 внутреннее сопротивление батареи измеряется с использованием потерь энергии, вызванных законом Джоуля, который напрямую связан с этим сопротивлением следующим уравнением:

$$\frac{dQ_{joule}}{dt} = I_{bat}^2 * R_b \quad (2)$$

где Qjoule представляет собой тепло, выделяемое батареей. Этот метод часто применяется с использованием калориметров для измерения потерь тепла при работе от батареи. Этот метод в основном применяется в условиях лаборатории из-за их высокой стоимости и, как следствие, требований к наличию такого оборудования.

Третий распространенный метод измерения внутреннего сопротивления батареи — это электрохимический Спектроскопия импеданса (EIS), что позволяет рассчитывать сопротивление по измеренному импедансу. Этот метод будет подробно представлен в следующей главе. Экспериментальное измерение внутреннего сопротивления батареи является очень точным, но проведение таких измерений на борту может оказаться сложной задачей.

2. Измерение внутреннего импеданса батареи

Импеданс батареи представляет собой комбинацию ее внутреннего сопротивления и реактивного сопротивления. Было установлено и доказано, что внутреннее сопротивление батареи имеет тенденцию к увеличению с возрастом.

Поэтому его можно считать индикатором состояния аккумуляторной батареи. Наиболее частый метод измерения импеданса - EIS [3]. Это неразрушающий метод, который измеряет полное сопротивление электрической системы путем подачи синусоидального переменного тока и измерения выходного напряжения отклика. Импеданс измеряется как функция частоты. Основные преимущества этого метода заключаются в том, что он помогает точно определить явление старения, происходящее в батарее. Собственно говоря, в [4] автор с помощью EIS исследует два основных явления старения батарей. Первый — это перенос заряда на положительном электроде. Между тем, второй вызван переносом ионов лития через слой SEI. Другое явление старения описано в [5], где автор использует EIS, чтобы указать на влияние цикличности и хранения в полевых условиях на импеданс. Процесс осуществляется в режиме реального времени с использованием платформы управления и эффективного преобразователя мощности, что увеличивает его стоимость. Исходя из полученных данных стало ясно, что этот метод EIS действенный для измерения импеданса батареи, но также и для определения механизмов ее старения. Тем не менее, основные недостатки этого метода измерения заключаются в том, что он требует длительного времени и особенно стабильной среды.**3. Измерение емкости аккумуляторной батареи**

Емкость — это характеристика, которая указывает общее количество энергии, которое может храниться в батарее. Известно, что эта характеристика уменьшается с возрастом батареи. Следовательно, экспериментальное измерение этого уменьшения емкости во времени - один из наиболее точных способов оценки состояния здоровья аккумуляторной батареи. В [6] автор провел несколько циклов зарядки / разрядки литий-ионного аккумулятора до момента его окончания. Основная идея этого исследования - определить емкость заряда аккумулятора в зависимости от его напряжения для разных уровней деградации (количества циклов). В [7] автор оценил уровень емкости аккумулятора путем экспериментального тестирования с учетом различных температурных условий. Батарея была протестирована на 800 циклов при

температуре 25 ◦C и 40 ◦C. Затем экспериментально измеренные данные были использованы для настройки метода оценки состояния аккумуляторной батареи. Однако эти экспериментальные методы можно проводить только в автономном режиме в лабораторных условиях, когда батарея испытывается до истечения срока эксплуатации.

4.Остальные методы

В литературе можно найти другие методы, позволяющие оценить состояние аккумуляторной батареи с помощью экспериментального тестирования. Например, батарея может быть исследована путем анализа изменения ее кривых приращения емкости (IC) и дифференциального напряжения (DV) [8]. Так как эти параметры меняются во время эксплуатации аккумулятора. То есть по этим параметрам возможно отслеживать старение; батареи путем экспериментального тестирования, как показано в [9]. Эти методы анализа добавочной емкости (ICA) и анализа дифференциального напряжения (DVA) требуют много времени, поскольку их кривые получены при низком токе (например, C/20). В [10] данные, были собраны за 11 месяцев, чтобы сделать хорошую оценку старения аккумулятора, и это исследование охватывает только некоторые конкретные условия эксплуатации. Метод подсчета количества циклов, как указывает его название, состоит из подсчета количества циклов, которые испытал аккумулятор, и сравнения его с числом, указанным производителем, для оценки состояния аккумулятора. Этот метод подсчета циклов учитывает важный параметр - глубину разряда (DOD). Количество циклов, определяющее оставшийся полезный срок службы батареи (RUL), зависит от количества заряда и рассматриваемого DOD. Ультразвуковой контроль — это еще один метод, позволяющий обнаружить внутренние изменения внутри батареи, вызванные ее старением, с помощью испытательного стенда, генерирующего волны [11]. Оценка состояния аккумулятора может производиться деструктивными методами исключительно в лабораторных условиях. Они исследуют изменения структуры внутри батареи, используя такие методы, как дифракция рентгеновских лучей [12].

Заключение

Рассмотрев все возможные экспериментальные методы определения состояния аккумуляторной батареи, можно выделить 3 основных метода, которые возможно повторить не только в лабораторных условиях: Измерение внутреннего сопротивления, Измерения внутреннего импеданса, Уровень энергии. Каждый из выбранных методов имеет свои достоинства и недостатки. Для Измерение внутреннего сопротивления можно выделить следующие достоинства: точность и простота исследования, а недостатками данного метода можно отметить невозможность в режиме реального времени отслеживать параметры, и время проведения исследования. Достоинствами метода измерения внутреннего импеданса можно выделить точность получаемых данных, а также с помощью данного метода можно выделить причину деградации батареи, к недостаткам данного метода можно отнести необходимость определения химического состава для исследуемого аккумулятора. Метод измерения емкости аккумуляторной батареии является одним из самых быстрым и точных методов исследования аккумуляторной батареи, но к недостаткам данного метода можно отнести необходимость полностью заряжать батарею перед исследованием.

Список используемой литературы:

1. Сайфар И., Маларик М., Буллоу Р. П. Герметичные батареи в распределительных сетях с переходными ограничениями-методы измерения их внутреннего сопротивления. В трудах 12-й Международной конференции по телекоммуникационной энергетике, Орландо, Флорида, США, 22-25 октября 1990 года; стр. 458-463
2. Швайгер, Х.-Г.; Обейди, О.; Комескер, О.; Рашке, А.; Шиманн, М.; Цех, С.; Генен, М.; Келлер, М.; Бирке, П. Сравнение нескольких методов определения внутреннего сопротивления литий-ионных элементов. Датчики 2010, 10, 5604-5625
3. Каневский Л.С., Деградация литий-ионного аккумулятора и методы борьбы с ней/ Л.С. Каневский В.С.Дубасова // Электрохимия. – 2005. – том 41. №1, с.3-19

4. Овехас В., Куадрас А. Импедансная характеристика LCO-NMC/графитовой ячейки: омическая проводимость, перенос SEI и явление переноса заряда. Батарейки 2018, 4, 43
5. И.А. Кедринский, В.Е. Дмитриенко, Ю.М. Поваров, И.И. Грудянов. Химические источники тока с литиевым электродом. изд-во Красноярск. ун-та, Красноярск, 1983
6. Li, X.; Wang, Z.; Zhang, L.; Zou, C.; Dorrell, D. D. Оценка состояния здоровья литий-ионных батарей путем расчесывания метода инкрементного анализа емкости с помощью реляционного анализа грея. J. Источники питания 2019, 410-411, 106-114.
7. Xiong, R.; Zhang, Y.; Wang, J.; He, H.; Peng, S.; Pecht, M. Прогноз состояния литий-ионных батарей На основе реальной системы управления батареями, используемой в электромобилях. IEEE Trans. Veh. Технол. 2019, 68, 4110-4121.
8. Чжэн, Л.; Чжу, Дж.; Лу, Д. Д.-С.; Ван, Г.; Хэ, Т. Инкрементный анализ емкости и дифференциальный анализ напряжения на основе оценки состояния заряда и емкости литий-ионных батарей. Энергетика 2018
9. Li, X.; Yuan, C.; Li, X.; Wang, Z. Оценка состояния здоровья литий-ионной батареи с использованием анализа инкрементной емкости и регрессии гауссовского процесса. Энергия 2020, 190, 116467
10. Штро, Д.; Шальц, Э. Оценка состояния здоровья литий-ионных батарей С использованием метода инкрементного анализа емкости. IEEE Trans. Инд. Приложение 2020, 56, 678-685
11. Д'Орацио, Т.; Лео, М.; Дистанте, А.; Гураньелла, С.; Пианезе, В.; Каваччини, Г. Автоматический ультразвуковой контроль для обнаружения внутренних дефектов в композитных материалах. NDT E Int. 2008, 41, 145-154
12. Костецки Р.; Макларнон Ф. Микрозондовое исследование влияния интеркаляции Li на структуру графита. J. Источники питания 2003, 119-121, 550-554

Literature:

1. Sajfar, I.; Malaric, M.; Bullough, R.P. Sealed batteries in transient limiting distribution networks-methods of measuring their internal resistance. In Proceedings of the 12th International Conference on Telecommunications Energy, Orlando, FL, USA, 22–25 October 1990; pp. 458–463
2. Schweiger, H.-G.; Obeidi, O.; Komesker, O.; Raschke, A.; Schiemann, M.; Zehner, C.; Gehnen, M.; Keller, M.; Birke, P. Comparison of Several Methods for Determining the Internal Resistance of Lithium Ion Cells. Sensors 2010, 10, 5604–5625
3. Каневский Л.С., Деградация литий-ионного аккумулятора и методы борьбы с ней/ Л.С. Каневский В.С.Дубасова // Электрохимия. – 2005. – том 41. №1, с.3-19
4. Ovejas, V.; Cuadras, A. Impedance Characterization of an LCO-NMC/Graphite Cell: Ohmic Conduction, SEI Transport and Charge-Transfer Phenomenon. Batteries 2018, 4, 43
5. И.А. Кедринский, В.Е. Дмитриенко, Ю.М. Поваров, И.И. Грудянов. Химические источники тока с литиевым электродом. изд-во Красноярск. ун-та, Красноярск, 1983
6. Li, X.; Wang, Z.; Zhang, L.; Zou, C.; Dorrell, D.D. State-of-health estimation for Li-ion batteries by combing the incremental capacity analysis method with grey relational analysis. J. Power Sources 2019, 410–411, 106–114.
7. Xiong, R.; Zhang, Y.; Wang, J.; He, H.; Peng, S.; Pecht, M. Lithium-Ion Battery Health Prognosis Based on a Real Battery Management System Used in Electric Vehicles. IEEE Trans. Veh. Technol. 2019, 68, 4110–4121.
8. Zheng, L.; Zhu, J.; Lu, D.D.-C.; Wang, G.; He, T. Incremental capacity analysis and differential voltage analysis based state of charge and capacity estimation for lithium-ion batteries. Energy 2018
9. Li, X.; Yuan, C.; Li, X.; Wang, Z. State of health estimation for Li-Ion battery using incremental capacity analysis and Gaussian process regression. Energy 2020, 190, 116467

10. Stroe, D.; Schaltz, E. Lithium-Ion Battery State-of-Health Estimation Using the Incremental Capacity Analysis Technique. IEEE Trans. Ind. Appl. 2020, 56, 678–685
11. D’Orazio, T.; Leo, M.; Distante, A.; Guaragnella, C.; Pianese, V.; Cavaccini, G. Automatic ultrasonic inspection for internal defect detection in composite materials. NDT E Int. 2008, 41, 145–154
12. Kostecki, R.; McLarnon, F. Microprobe study of the effect of Li intercalation on the structure of graphite. J. Power Sources 2003, 119–121, 550–554