

# Сравнение централизованного и децентрализованного подходов к реализации системы управления батареями

В. С. Пикалева

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

vspikaleva@stud.etu.ru

**Аннотация.** Аккумулятор играет важную роль в качестве накопителя энергии при использовании в системах электроснабжения, таких как портативные электронные устройства, электромобили, а также в электростанциях на возобновляемых источниках энергии, например, в интеллектуальных системах малых автономных сетей. Аккумулятор с хорошей производительностью обеспечит оптимальную поддержку работы соответствующей системы. В данной статье рассматривается реализация централизованного и децентрализованного подходов к системе управления батареями.

**Ключевые слова:** аккумуляторный накопитель; система управления батареями; балансировка батареи; мониторинг напряжения ячеек

## I. ВВЕДЕНИЕ

Для того чтобы удовлетворить требованиям приложений с более высоким уровнем напряжения, батареи необходимо соединять последовательно и параллельно. Однако влияние различных факторов, таких как, например, отличающиеся условия зарядки/разрядки, а также ограничения производственного процесса, приводят к тому, что при многократном использовании батареи начинают отличаться друг от друга по внутреннему сопротивлению и по емкости, что приводит к несоответствию уровня заряда и, как следствие, может привести к таким проблемам как снижение емкости батарейного блока и чрезмерный разряд/перезаряд, а это, в свою очередь, сокращает дальнейший срок службы батарей. Для того, чтобы избежать этих процессов, используется система управления батареями (англ. BMS). Система управления аккумулятором предназначена для того, чтобы осуществлять контроль за поддержанием постоянного уровня заряда батареи. Это способствует существенному продлению срока эксплуатации и лучшей производительности литий-ионного аккумулятора в результате контроля динамики процесса накопления энергии в батарее. [1]. Комплексная система управления батареями должна включать в себя функции сбора данных, обеспечения безопасности, возможности определения и прогнозирования состояния батареи, управления зарядкой и разрядкой батареи, балансировки элементов, терморегулирования, передачи данных о состоянии батареи и аутентификации на пользовательский интерфейс, связи со всеми

компонентами системы управления батареями и, самое главное, продления срока службы батареи [2].

Для выравнивания заряда батареи существуют различные способы эквализации, которые, в свою очередь, подразделяются на централизованный эквалайзер и распределенный эквалайзер. Централизованная структура эквализации недорогая и довольно просто реализуемая, однако управление в данной структуре осуществляется сложнее, чем в распределенной. Достоинством распределенного эквалайзера является простая структура, однако при этом снижается скорость эквализации. Обе структуры обеспечивают баланс батарей через передачу энергии [1].

## II. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БАТАРЕЕЙ

Рассмотрим подробнее архитектуру системы управления батареями. Система управления батареями состоит из компонентов, относящихся к двум областям: электрической и электронной. Электрическая область состоит из схем для измерения параметров ячеек, а также архитектуры балансировки ячеек. Электронная область образована вычислительными устройствами, которые обрабатывают полученную информацию и управляют активными функциями, такими как балансировка ячеек. Кроме того, в электронной области необходима коммуникационная архитектура для связи компонентов системы управления батареями как внутри, так и с окружающими системами.

### A. Централизованный подход

Традиционные системы управления батареями организованы централизованно, где главный контроллер определяет и контролирует все свойства ячеек. Ведущий контроллер может быть прямо подключен к каждой ячейке или управлять параметрами нескольких ячеек через подчиненные модули. Независимо от фактической структуры, главный контроллер является центральным органом, который принимает решения по управлению [3].

На рис. 1 показана типичная современная архитектура батарейного блока с централизованным иерархическим управлением батареями. Здесь модули ячеек управляются блоками управления модулями (англ. MMU), а центральный мастер системы управления батареями подключен посредством частной

коммуникационной шины к этим блокам управления модулями, чтобы получать показания датчиков и координировать их действия.

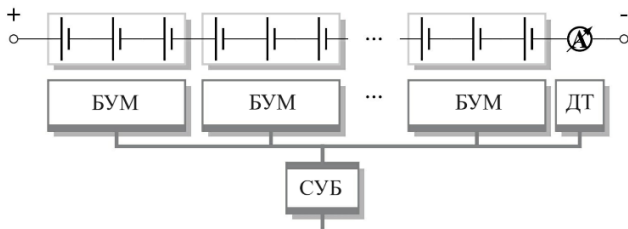


Рис. 1. Централизованная система управления батареей (СУБ), которая управляет блоками управления модулями (БУМ) и датчиком тока (ДТ) в иерархической архитектуре [3]

Кроме того, используется датчик тока (англ. CS) для измерения тока аккумуляторной батареи [3].

Однако при централизованном подходе к реализации системы управления батареей существуют и некоторые недостатки. В обычной аккумуляторной системе, используемые аккумуляторные элементы в цепи могут быть значительно разбалансированы. Обычные методы выравнивания могут оказаться недостаточно эффективными для устранения большого дисбаланса или для быстрого выравнивания элементов аккумуляторной батареи, поскольку они предназначены для балансировки стандартных батарейных цепей, обычно имеющих небольшой дисбаланс. Кроме того, многие методы выравнивания плохо справляются с отработанными батареями разного химического состава или емкости. Еще одной проблемой, связанной с отработанными батареями, является снижение надежности. В традиционной системе управления батареями не уделяется особого внимания обеспечению безопасности и надежности использованных батарей [4].

### В. Децентрализованный подход

Теперь рассмотрим подход, в котором предлагается полностью децентрализованная система. Децентрализованный подход к реализации системы управления батареей представляет собой модульно-интегрированную распределенную систему хранения и управления энергией батарей без необходимости использования дополнительных эквалайзеров батарей и централизованного интерфейса преобразователя. Это достигается за счет включения силовой электроники в элементы батареи в виде встроенного модуля. По сравнению с традиционной централизованной аккумуляторной системой модульная конструкция дает ряд преимуществ, таких как снижение номинальной мощности и напряжения силовой электроники, отсутствие дополнительных эквалайзеров или централизованных преобразователей, возможность активного управления распределением тепла, повышенная безопасность и надежность и т. д. Теперь система батарей может быть построена путем простого соединения встроенных модулей [5].

Децентрализованный подход обеспечивает функциональность на уровне системы без централизованного управления за счет координации отдельных действий посредством связи и

распределенных алгоритмов, предлагая горячее подключение к интеграции батарейного блока. Основным компонентом встроенной системы управления батареями являются умные ячейки. Умные ячейки могут регулировать параметры отдельных элементов батареи, что говорит о больших автономных возможностях. Каждая такая ячейка состоит из батарейного элемента и блока управления ячейкой (англ. CMU), который включает в себя вычислительные, коммуникационные, сенсорные и управляющие возможности. Благодаря взаимной связи умные ячейки образуют распределенную самоорганизующуюся структуру, которая формирует поведение на уровне блока батарей, позволяя им выполнять задачи, требующие информации или контроля за пределами уровня отдельных ячеек, например балансировку ячеек или оценку уровня заряда блока батарей [3].

Архитектура ЭВМ показана на рис. 2, где к каждой отдельной ячейке подключен отдельный блок управления ячейками (англ. CMU). Компоненты, включая вычислительные и коммуникационные блоки, интегрированные в ячейку, а также схемы обнаружения и управления, составляют блок управления ячейкой. Локальное управление и распределенная координация становятся возможными благодаря взаимодействию ячейки с блоком управления ячейками, создавая «умную» ячейку. Сеть таких «умных» элементов работает совместно для управления батареей.

Устройством, обеспечивающим встроенную систему управления батареей, является умная ячейка. Умная ячейка способна взаимодействовать с другими умными ячейками для координации операций на уровне батареи, а также для осуществления контроля и управления собой. Блок управления ячейкой, подключенный к ячейке, питается от самой ячейки. На рис. 3 показано, как элемент батареи и блок управления ячейкой образуют умный элемент. Блок управления ячейкой состоит из:

- датчика (напряжения, температуры, тока) и платы управления необходимой для получения параметров ячейки и проведения балансировки ячейки;

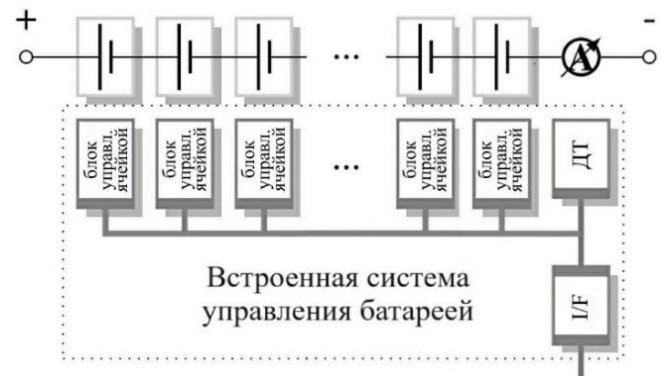


Рис. 2. Архитектура встроенной системы управления батареей [3]

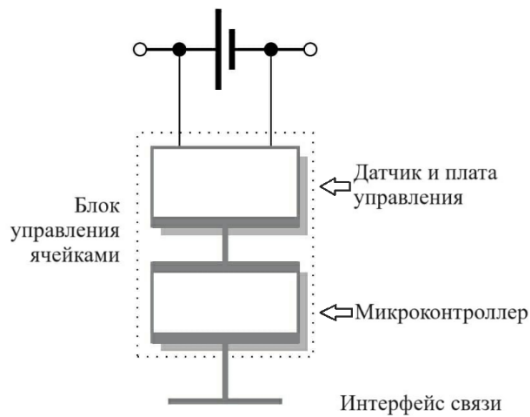


Рис. 3. Ячейка батареи и специальный блок управления ячейкой батареи образуют умную ячейку [3]

- микроконтроллера, обеспечивающего вычислительные возможности;
- интерфейса связи, необходимого для обмена информацией между умными ячейками [3].

Количество схем управления, которые могут быть встроены в блок управления ячейкой, зависит от типа балансировки ячеек, который будет поддерживать умная ячейка.

Основными свойствами ячейки являются текущие напряжение и температура. Кроме того, необходимо отслеживать ток, поступающий в ячейку и выходящий из нее. Определение напряжения и температуры можно легко обеспечить с помощью встроенного мультиплексированного аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который одним каналом подключается к клеммам элемента, а другим – к термистору или резистивному датчику температуры.

Чтобы произвести измерение тока при пассивной и активной балансировке ячеек для того, чтобы найти уровень заряда, необходимо следить за энергией, которая расходуется или передается. Так как для решения данной задачи достаточно знать только ток балансировки, который в сравнении с током нагрузки на уровне пакета довольно мал, использование шунтирующего резистора будет экономически обоснованным. Датчики на эффекте Холла используются, когда, напротив, точность и эффективность важнее стоимости и объема интеграции.

Все умные элементы, образующие батарею, должны иметь одинаковые возможности балансировки. Для пассивной балансировки ячеек блок управления ячейкой должен включать в себя переключаемый резистор, обладающий способностью рассеивать энергию, накопленную в ячейке. Активная балансировка элементов может быть выполнена с помощью модульной конструкции на основе индуктора, поскольку каждая умная ячейка включает в себя однородные модули.

Архитектура встроенной системы управления батареей, использующей умные ячейки, предполагает, что блок управления ячейкой должен выполнять конкретные расчетные задачи, например, осуществлять обработку локальной информации, полученной от датчиков умной ячейки, и информации, полученной по

каналу связи, к которому подключена умная ячейка. На основании собранных данных проводится управление и технический контроль каждой отдельной ячейки, а также обеспечивается совместная функциональность системы, в которую вносит свой вклад умная ячейка [3].

При децентрализованном подходе к реализации системы управления батареей имеется ряд преимуществ по сравнению с централизованным подходом. Так как встроенный модуль может выполнять функции зарядного устройства, регулятора напряжения шины постоянного тока, балансировщика модулей, а также осуществляет контроль элементов батареи. В результате, система обеспечивает ряд преимуществ при управлении отработанными батареями:

- Повышение энергоэффективности отработанных батарей. Если характеристики отработанных батарей значительно отличаются, например, если в них смешаны элементы разной ёмкости, то данная система может программировать различную номинальную мощность заряда/разряда для разных элементов в соответствии с их ёмкостью. При этом уровень заряда можно сбалансировать, регулируя мощность заряда/разряда каждого элемента, поэтому они могут одновременно достигать полной ёмкости или разряжаться. Таким образом, в отличие от централизованной системы, в децентрализованной системе управления батареей имеется возможность максимизировать общую доступную энергию.
- В децентрализованной системе не требуется дополнительного эквалайзера или централизованного преобразователя, модульный преобразователь самостоятельно управляет элементами батареи и регулирует выходное напряжение без централизованного управления.
- Напряжение, ток, уровень заряда и температура контролируются на уровне ячеек. Любые слабые ячейки или опасные операции могут быть выявлены и устранены.
- Бывшие в употреблении батареи более безопасно использовать в децентрализованной системе, чем в централизованной. Например, в системе с использованными батареями больше шансов, что несколько элементов выйдут из строя одновременно. Однако в децентрализованной системе, в отличие от централизованной, имеется возможность обойти неисправные элементы, сохранив работоспособность остальной части системы и тем самым продолжит поддерживать необходимую производительность в системе.
- Устройство блоков позволяет легко и просто настраивать любые системы отработанных аккумуляторов из различных отработанных батарей.
- Обеспечивается активный контроль теплового распределения. Система строительных блоков имеет возможность контролировать распределение тепла, регулируя мощность заряда/разряда различных ячеек, например,

ячейка с высоким тепловым напряжением будет получать меньшую мощность, чтобы охладиться.

Хотя децентрализованный подход к реализации системы управления батареями обладает вышеупомянутыми преимуществами, его основным недостатком является то, что из-за необходимости использования большего количества деталей конструкция блоков для такой системы обойдется дороже, чем для централизованной системы. Однако более высокая стоимость компенсируется массовым использованием низковольтных и маломощных устройств по сравнению с небольшим количеством высоковольтных и мощных устройств [4].

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно сделать вывод, что децентрализованный подход к реализации системы управления батареями представляет собой более эффективный и безопасный способ управления энергией. По сравнению с централизованным подходом, децентрализованная система является более надёжной и безопасной. Возможность активного управления распределением тепла и простота интеграции батарейных блоков также являются значительными

преимуществами децентрализованного подхода. Умные ячейки, составляющие основу децентрализованной системы, обладают автономными возможностями и обеспечивают координацию действий на уровне блока батарей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Shengping Hong, Jianhua Jiang, Xi Li A battery management system with two-stage equalization / 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC), Chongqing, China, 28-30 May 2017.
- [2] Development of Battery Management System for Cell Monitoring and Protection / Irsyad Nashirul Haq, Edi Leksono, Muhammad Iqbal, FX Nugroho Soelami, Nugraha, Deddy Kurniadi, Brian Yulianto // IEEE International Conference on Electrical Engineering and Computer Science, Bali, Indonesia, 24-25 November 2014.
- [3] Smart Cells for Embedded Battery Management / Sebastian Steinhorst, Martin Lukasiewicz, Swaminathan Narayanaswamy, Matthias Kauer, Samarjit Chakraborty // The 2nd IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems, Networks, and Applications, Hong Kong, China, 25-26 Aug. 2014.
- [4] Ye Li, Yehui Han Used-Battery Management with Integrated Battery Building Block System / 2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Charlotte, NC, USA, 15-19 March 2015.
- [5] Ye Li, Yehui Han A Module-Integrated Distributed Battery Energy Storage and Management System // IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, Volume: 31, Issue: 12, December 2016.