

УДК 681.586.7, 681.5.08, 537.7, 53.087

BMS: ИЗМЕРЕНИЕ АНАЛОГОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ИХ В ЦИФРОВЫЕ

**BMS: MEASUREMENT OF ANALOG INDICATORS
AND TRANSFORMATION INTO DIGITAL ONES**

А. И. Филиппович, маг., **А. С. Гурский**, канд. техн. наук, доц.,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь
A. Filipovich, Master,
A. Gursky, Ph.D in Engineering, Associate Professor
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

Аккумулятор на основе Li-ion широко распространен в современной бытовой технике и находит свое применение в качестве источника энергии в электромобилях. Технические показатели зависят от химического состава, применяемого при производстве анодов и катодов батареи. Для контроля оптимальных параметров работы литий-ионных элементов применяют систему управления батарей – BMS. BMS контролирует ряд важнейших параметров высоковольтной батареи (ВВБ), позволяет улучшить режим эксплуатации аккумуляторных батарей и максимально увеличить срок их службы

The Li-ion battery is widely used in modern household appliances and is used as an energy source in electric vehicles. Technical parameters depend on the chemical composition used in the production of anodes and cathodes of the battery. To control the optimal operation parameters of lithium-ion cells, a battery management system – BMS is used. BMS controls a number of important parameters of the high-voltage battery (HVB), allows you to improve the operation mode of the batteries and maximize their service life.

Ключевые слова: электротранспорт, аналоговые сигналы, цифровые параметры, АЦП, оценка уровня заряда, SOC, SOH

Key words: electric transport, analog signals, digital parameters, ADC, charge level estimation, SOC, SOH.

ВВЕДЕНИЕ

В системе BMS предусмотрена возможность ведения реестра о работе аккумуляторной батареи. Может хранить в памяти такие показатели, как количество циклов заряда/разряда, максимальное и минимальное напряжение ячеек, максимальное и минимальное значение тока заряда и разряда. На основе этих данных BMS способна рассчитать и определять состояние исправности аккумуляторной батареи. Далее рассмотрим ряд параметров и методы обработки значений характерных для функционала BMS.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ, УСТРОЙСТВО И ФУНКЦИИ BMS

BMS (Battery Management System) – это электронная система в виде платы, которая устанавливается на аккумуляторную батарею с целью контроля процесса ее заряда/разряда, мониторинга состояния аккумулятора и его элементов, оценку вторичных данных работоспособности.

Устройство BMS рассмотрим на примере платы BMS HX-3S-01 (рисунок 1) [8]:

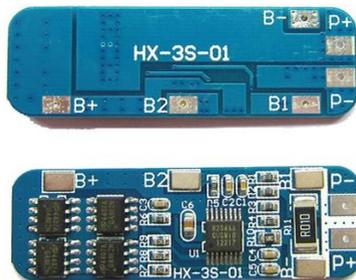


Рисунок 1 – Плата BMS HX-3S-01

B+, B-, B1, B2, B3 – подключение аккумуляторов
P+, P- – подключение нагрузки/зарядки

Плата состоит из: резисторов – в схеме питания и защиты; накопительного конденсатора С6; защитной микросхемы-контроллера – S8254AA; терморезистора R010; аналоговой обвязки, определяющей балансировку или ток источника питания; 4-х силовых MOSFET транзисторов 4407A, отвечающих за отключение нагрузки в нужный момент.

С целью защиты платы BMS от негативного воздействия влаги и пыли ее покрывают специальным эпоксидным герметиком.

Функции BMS:

- **контроль:** напряжения; температуры; заряда и глубины разряда; токов заряда /разряда;
- **интеллектуально-вычислительная.** Оценка максимального допустимого тока заряда/разряда; количества энергии; внутреннего сопротивления ячейки; общего количества циклов работы;
- **связная.** Иногда вместо одной платы BMS используется сразу несколько связанных между собой регулировочных электронных плат;
- **защитная:** защита по току, по напряжению и по температуре;
- **балансировка:** обеспечивает индивидуальный контроль напряжения и сопротивления каждого элемента аккумулятора, распределяет токи между составными аккумуляторной батареи во время зарядного процесса, контролирует ток разряда, определяет потерю емкости от дисбаланса, гарантирует безопасное подключение/отключение нагрузки [2].

АЛГОРИТМ РАБОТЫ ЗАРЯДА БАТАРЕЙ

Аккумуляторы на литиевой основе заряжаются в два этапа. Первый – при постоянном токе (CC – constant current), второй – при постоянном напряжении (CV – constant voltage). На протяжении первого этапа устройство для зарядки плавно увеличивает напряжение так, чтобы батарея брала определенный ток. Рекомендованное значение 0.5C – 1C (рисунок 2) [7].

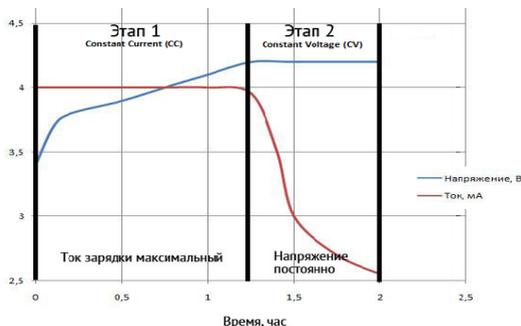


Рисунок 2 – Этапы заряда Li- ion аккумулятора

Доведя напряжение до четырех вольт, первый этап заканчивается, после чего наступает второй – плавное поддержание напряжения аккумулятора на уровне 4.2В. Как только источник питания прекратит прием тока, система регистрирует это поведение как завершение зарядки. Реализация этого алгоритма также возможна с использованием обычных лабораторных блоков питания. Но это не всегда актуально, учитывая активное применение специализированных микросхем, предварительно настроенных под соблюдение четкой последовательности действий, указанных выше.

АНАЛОГОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Напряжение. Цифровая BMS измеряет напряжение каждой ячейки последовательно. Общее напряжение батареи вычисляется путем суммирования отдельных напряжений ячеек по формуле (1):

$$V_{pack} = N_s \cdot V_{cell} \quad (1)$$

где V_{pack} – общее напряжение батареи; V_{cell} – напряжение отдельной ячейки; N_s – количество ячеек, соединенных последовательно

BMS может измерить напряжение непосредственно на каждой ячейке (дискретный метод) или же напряжение различных точек в батарее и вычислить напряжение ячейки как разность потенциалов между двумя точками при помощи мультиметра. Показания считываются аналого-цифровым преобразователем (АЦП), который затем передает значение к контроллеру.

Температура. Электронная плата оснащается как внутренними температурными датчиками, проводящими мониторинг температуры непосредственно платы, так и внешними, которые используются для контроля температуры конкретных элементов батареи. BMS может измерить температуру каждой ячейки или же температура батареи. Измерение происходит при помощи терморезисторов [4] (рисунок 3).

Измерение температуры батареи или отдельных ячеек полезно по нескольким причинам:

– литий-ионные ячейки не должны заряжаться\разряжаться вне определенного диапазона температур;

– ячейка способна интенсивно нагреваться при наличии проблем эксплуатации (плохое состояние, используется не по назначению). BMS может предотвратить опасный для аккумуляторной батареи процесс путем непосредственного влияния на нее или же подачи соответствующего сигнала о невозможности последующего использования аккумулятора к управляющему устройству.

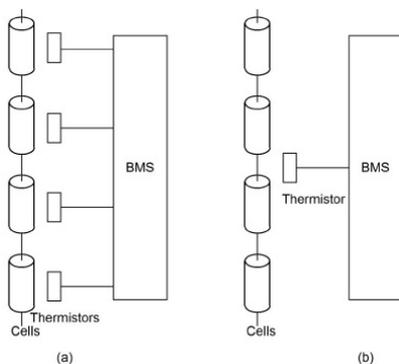


Рисунок 3 – Измерение температуры
а) по ячейкам; б) батареи

Если у BMS ограничено количество выводов для датчиков температуры, датчики должны быть помещены в стратегические места вокруг батареи, которые наиболее вероятны быть самыми горячими или самыми холодными.

Ток. Измерение тока в батарее необходимо BMS для выполнения дополнительных функций:

- вычисление внутреннего сопротивления по постоянному току ячеек;
- вычисление таких показателей, как SOH (State-of-Health) и SOC (State-of-Charge);

Напрямую получить величину тока невозможно: можно измерить напряжение, а затем использовать АЦП.

Есть два главных способа измерить токи [1]:

- токовый шунт;
- датчик тока на основе эффекта Холла.

Токовый шунт – низкоомный (0.1 мОм), высокопрецизионный резистор (рисунок 4) [4].

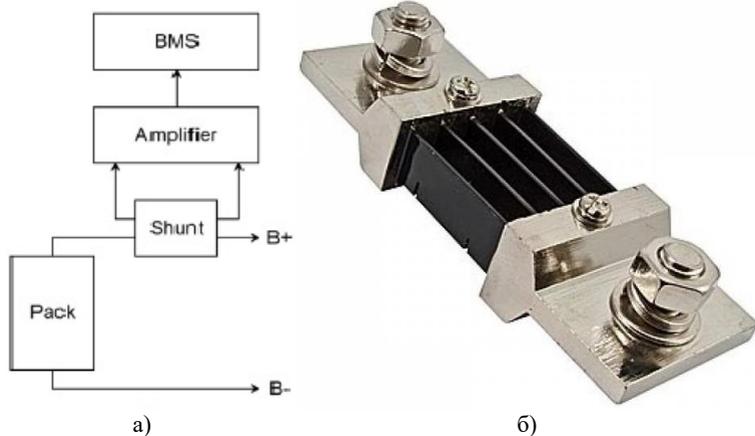


Рисунок 4 – Токовый шунт
 а) схема подключения токового шунта; б) образец шунта

Ток батареи направлен через шунт, который приводит к падению напряжения на нем пропорционально силе тока.

Особое внимание нужно обратить на контакты: силовые (массивные болты) соединения разделены от измерительных, и выведены в четырехпроводное соединение (Calvin connection). Такое соединение способствует увеличению точности измерения.

Токовый шунт – это простота, высокая точность, низкая стоимость. Однако необходимо учитывать и следующие факторы:

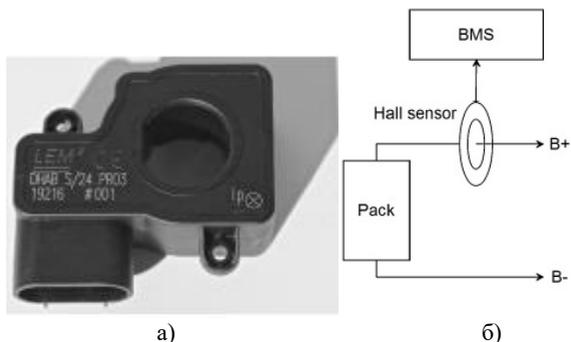
- требуется дополнительная изоляция от батареи;
- сопротивление шунта изменяется с температурой, что приводит к ошибкам в измерении;
- шунт приводит к потерям энергии;
- шунт производит недостаточный сигнал – требуется усилитель и экранирование от электрических помех.

Датчик Холла. Принцип действия датчика заключается появлении напряжения при помещении в магнитное поле проводника с постоянным током. Выходное напряжение пропорционально приложенному магнитному полю. Токпроводящий провод батареи проходит через круглое отверстие в центре датчика (рисунок 5) [4].

Датчики Холла обладают следующими свойствами:

- физически изолированы от батареи;

- точность измерения остается постоянной с изменением температуры и времени;
- не требуют усилителя сигнала.



а) Рисунок 5 – Датчик Холла
 б) схема подключения
 а) образец; б) схема подключения

ЦИФРОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

При расчете батареи для применения в электротранспорте необходимо знать два таких параметра как:

- мощность, доступная в определенный момент времени;
- энергия, запасенная в батарее.

Получить значения этих показателей прямым измерением нет возможности. Требуется провести вычисление на основе следующих показателей [3]:

- SOC (State-of-Charge) – состояние заряда батареи;
- емкости батареи Q;
- сопротивления батареи R.

Однако, эти показатели также являются оценочными и точность вычисления зависит от полученных аналоговых данных, таких как напряжение U, сила тока I и температура T (рисунок 6) [6].

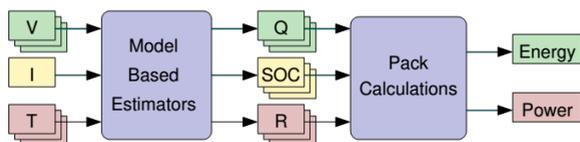


Рисунок 6 – Модель преобразования данных

SOC (State-of-Charge). Степень заряда батареи измеряется в процентах и показывает, какая часть от полного заряда еще остается запасенной. Для измерения SOC батареи можно использовать только косвенные методы, так как нет прямого способа оценки.

Основные методы оценки [5]:

– **прямые измерения с помощью приборов.** При этом используется зависимость постоянного выходного тока от значения степени разряда. Метод подходит для ограниченного спектра приложений.

– **определение степени заряда по напряжению аккумулятора.** Недостатки: напряжение аккумулятора имеет нелинейную зависимость от величины тока нагрузки, температуры;

– **метод интегрирования тока.** Ток преобразуется в напряжение с помощью датчиков тока – полученное напряжение оцифровывается с помощью АЦП. Исходя из потерь на нагрев и саморазряд батареи реальное значение емкости будет значительно меньше расчетной.

– **измерения напряжения OCV.** Значение степени заряда может быть определено с помощью мгновенного напряжения на аккумуляторе. При использовании установившегося напряжения на разомкнутых контактах (Open Contact Voltage, OCV) можно значительно улучшить расчеты. Недостаток: батарея должна быть отключена от нагрузки на протяжении достаточно продолжительного времени для устранения погрешности в измерениях.

– **измерения импеданса батареи.** Измерив импеданс можно определить степень заряда. Данный метод является перспективным с высокой точностью измерения. Требуется сложная схема с дополнительными компонентами.

SOH (State-of-Health). Степень работоспособности аккумулятора – SOH – отражает текущее состояние емкости ячейки по отношению к ее первоначальному состоянию.

Величина выражается в процентах.

BMS способна вычислять параметр SOH на основании таких полученных данных как:

- сопротивление батареи;
- емкость разряда/заряда;
- количество циклов разряда/заряда.

В зависимости от характеристики Li – ion батареи может быть задана определенная величина порога SOH, при превышении кото-

рого батарея считается неработоспособной. Также может быть выполнена оценка оставшегося времени жизни аккумулятора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе алгоритмов работы BMS следует, что точное определение параметров, влияющих на условия эксплуатации имеет ключевое значение для правильного расчета оптимального режима работы батареи. Вычисление перечисленных параметров способствует решению проблематики мгновенной диагностики состояния Li-ion батареи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современная промышленные датчики тока / А. Данилов. «Современная электроника» № 1, 2004. – 26 с.

2. Активные и пассивные системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей / А. Рыкованов, С. Беяев. «Компоненты и технологии» № 3, 2014. – 121 с.

3. Методика оценки остаточной емкости литий-ионные аккумуляторной батареи при изменении температуры аккумулятора / М. М. Хандорин, В. Г. Букреев. Доклады ТУСУРа, том 21, № 2, 2017. – 120 с.

4. <http://li-ion-energy.blogspot.com>.

5. <https://www.compel.ru>.

6. <https://www.coursera.com>.

7. <https://www.auto-gl.ru>.

8. <https://yandex.by/>.

Представлено 19.05.2021