

УДК 62-768

## **Разработка системы контроля и управления литий-ионной аккумуляторной батареи для АНПА**

*Капкаев Т. Ш., студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Подводные роботы и аппараты»*

*Научный руководитель: Мецзякова Р. И.,*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[kafsm11@sm.bmstu.ru](mailto:kafsm11@sm.bmstu.ru)*

Аккумуляторная батарея (АБ) является неотъемлемой частью любого автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА). В настоящее время все более широкое применение находят литий-ионные АБ, обладающие высокими удельными энергетическими показателями, высоким уровнем напряжения и пониженным саморазрядом. Однако при использовании литий-ионных АБ недопустимы следующие ситуации в процессе их работы:

- чрезмерные токи заряда или разряда;
- короткое замыкание;
- перезаряд аккумуляторов выше или ниже определенных уровней напряжения;
- превышение максимально допустимого значения температуры аккумуляторов.

Несоблюдение этих требований может привести к возникновению аварийных ситуаций. Так при заряде АБ, в случае превышения верхней границы напряжения на аккумуляторе, может возникнуть угроза взрыва. С другой стороны превышение нижней границы напряжения на литий-ионном аккумуляторе может привести к полному разряду аккумулятора и полной потере емкости. Таким образом, в классификации электронных устройств появилось новое направление Battery Management System (BMS) или системы контроля и управления (СКУ) литий-ионных аккумуляторных батарей. СКУ представляет собой электронные блоки, которые выполняют диагностику параметров аккумуляторной батареи, управление процессом ее заряда и таким образом гарантируют надежность работы в течение всего срока эксплуатации. При этом следует подчеркнуть, что каждый аккумулятор требует индивидуального контроля.

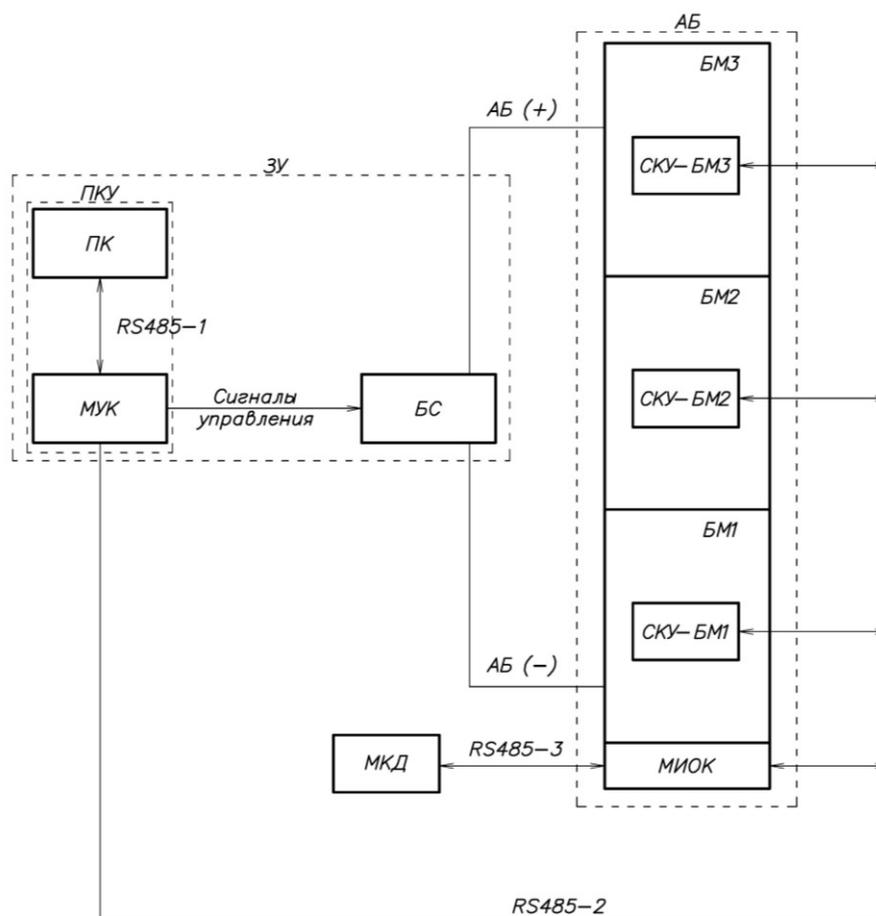
Для заряда АБ необходимо зарядное устройство (ЗУ), осуществляющее контролируемый процесс заряда. Заряд выполняется в два этапа:

– номинальным постоянным током до достижения номинального напряжения на АБ;

– заряд падающим током при постоянном номинальном напряжении на АБ до минимального тока.

Кроме того, при заряде АБ из последовательно соединенных аккумуляторов, заряд отдельных аккумуляторов происходит неравномерно, что вызвано технологическим разбросом внутренних сопротивлений аккумуляторов и неравномерным снижением емкости аккумуляторов в процессе их старения. Разница зарядов на отдельных аккумуляторах будет приводить к постепенно возрастающему неполному заряду некоторых аккумуляторов, то есть фактически к снижению емкости аккумуляторной батареи. Для устранения неравномерности заряда на отдельных аккумуляторах батареи электроника СКУ, должна осуществлять процесс балансировки аккумуляторов в процессе заряда, позволяя выровнять уровни напряжений на всех последовательно соединенных аккумуляторах.

Разрабатываемая аккумуляторная батарея имеет модульную конструкцию и состоит из трех батарейных модулей, соединенных последовательно. Модульность аккумуляторной батареи обеспечивает условие взаимозаменяемости модулей и возможность увеличения выходного напряжения АБ за счет подключения дополнительных модулей. В случае выхода модуля из строя нет необходимости на аппарате заменять целиком всю батарею, достаточно произвести замену неисправного модуля. Такой принцип построения аккумуляторной батареи определяет структуру организации СКУ. Структурная схема, разрабатываемой системы контроля и управления показана на рисунке.



СКУ состоит из следующих основных частей:

- ЗУ - зарядное устройство;
- ПК - панельный компьютер;
- МУК - модуль управления и контроля;
- БС - блок силовой;
- 3 модуля СКУ-БМ;
- МИОК - модуль информационного обмена и контроля;
- МКД - модуль контрольного дисплея.

Модульная конструкция АБ предполагает полную взаимозаменяемость модулей и установку на каждый батарейный модуль модуля СКУ-БМ. Модуль СКУ-БМ выполняет следующие основные функции:

- измерение напряжения на аккумуляторах;
- измерение температуры аккумуляторов;
- пассивную балансировку аккумуляторов;

– запись и хранение информации в EEPROM, содержащую заводской номер АБ, заводские номера аккумуляторов и дату их изготовления.

Измеренные модулем SKU-БМ параметры батарейного модуля и диагностическая информация о состоянии модуля SKU-БМ передаются на пульт контроля и управления, где они отображаются на экране панельного компьютера. Модуль управления и контроля на основе принятой информации от трех модулей SKU-БМ управляет блоком силовым, который выполняет заряд АБ. При хранении аккумуляторной батареи, когда отсутствует зарядное устройство, имеется возможность отображения значений напряжений и температур аккумуляторов через модуль контрольного дисплея (МКД), который подключается к модулю информационного обмена и контроля (МИОК). В задачи МИОК так же входит преобразование выходного напряжения АБ в напряжения питания модулей SKU-БМ.

Подробно остановимся на рассмотрении модуля SKU-БМ. Конструктивно модуль SKU-БМ выполнен в виде четырехслойной печатной платы. Один модуль SKU-БМ контролирует до 26 аккумуляторов батарейного модуля. Обмен информацией между SKU-БМ и ЗУ осуществляется по интерфейсу RS-485 по сетевому протоколу. Такой способ обмена обеспечивает высокую устойчивость к синфазной помехе, что является актуальным в разрабатываемой аппаратуре, где электромагнитные волны, создаваемые при потреблении тока от АБ, будут наводить потенциал в линиях связи. Функции ведущего устройства выполняет модуль управления и контроля, три модуля SKU-БМ и МИОК- ведомые устройства.

В настоящее время ведущие фирмы изготовители интегральных схем, такие как Texas Instruments, Analog Devices, Atmel, активно занимаются вопросом разработки специальных интегральных схем по управлению и слежению за питанием от аккумуляторных источников энергии. В основе модуля SKU-БМ лежит специализированная интегральная схема BMS, позволяющая осуществлять контроль до шести аккумуляторов. Применение интегральных схем BMS позволяет упростить и сократить время разработки, уменьшить габариты разрабатываемого изделия, а так же повысить его надежность, так как применяется уже готовое, проверенное временем решение. В модуле SKU-БМ установлена интегральная схема BMS bq76PL536 фирмы Texas Instruments. Эта интегральная схема имеет встроенный 14-ти разрядный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), что позволяет ей производить измерение напряжений на аккумуляторах и температур, при подключении резистивных температурных датчиков. Так же эта интегральная схема формирует сигналы ошибок, которые можно разделить на

---

2 типа. К первому относятся ошибки, связанные с работой аккумуляторов: сигналы перезаряда, переразряда, превышение температуры. Ко второму типу ошибок можно отнести ошибки, вызванные сбоями при работе с интегральной схемой: потеря связи, ошибка записи в EPROM, недостаточный уровень напряжения питания интегральной схемы.

Для работы с интегральными схемами BMS требуется наличие ведущего устройства, которое по SPI интерфейсу ими управляет. В качестве такого устройства в модуле SKU-БМ применен микроконтроллер ATmega164PA фирмы Atmel. В основные функции микроконтроллера входит:

- обеспечение информационного обмена с ведущим устройством по интерфейсу RS485;
- запись и хранение заводского номера АБ и даты ее изготовления;
- инициализация интегральных схем BMS при запуске системы;
- управление работой интегральных схем BMS.

Одна интегральная схема BMS обслуживает до 6-ти аккумуляторов, измеряя на них напряжение и формируя при необходимости сигналы ошибок. Так как батарейный модуль состоит из большого числа аккумуляторов, то одной интегральной схемы для обслуживания всего модуля недостаточно. Интегральные схемы BMS предусматривают возможность объединения в стек путем последовательного соединения нескольких интегральных схем. Обслуживание батарейного модуля, состоящего из 26 аккумуляторов, требует установки 5 интегральных схем BMS в модуле SKU-БМ.

Для связи ведущего микроконтроллера с интегральными схемами BMS в стеке используется высокоскоростной SPI интерфейс, представляющий собой четырех проводной канал связи со следующими линиями:

- CS - выбор устройства, с которым осуществляется обмен данными;
- MOSI – данные, которые передаются от ведущего устройства к ведомому;
- MISO - данные, которые передаются от ведомого устройства к ведущему;
- CLK – тактовый сигнал.

Канал связи между интегральными схемами BMS получил название daisy-chain. При обмене информацией с какой-либо интегральной схемой в стеке микроконтроллер формирует тактовые импульсы, и последовательно выдвигает данные по линии MOSI, одновременно с этим ведомая интегральная схема BMS выставляет свои данные на линии MISO, которые последовательно задвигаются в микроконтроллер с каждым синхроимпульсом. Отличительной особенностью daisy-chain является то, что имеется

только один сигнал CS, при помощи которого ведущее устройство выбирает все интегральные схемы в стеке. Для обращения к конкретной интегральной схеме перед обменом данными ведущее устройство выставляет адрес интегральной схемы BMS, к которой производится обращение, после чего осуществляется операция записи или чтения данных из этой интегральной схемы. Поскольку каждая интегральная схема в стеке имеет свой адрес, то перед началом работы с интегральными схемами BMS ведущее устройство осуществляет процедуру инициализации, в ходе которой интегральным схемам BMS присваивается уникальный адрес. При сбросе питания все интегральные схемы в стеке имеют нулевой адрес. Интегральная схема с нулевым адресом блокирует прохождение сигнала CS к интегральным схемам, расположенным выше по стеку. Так что при инициализации в стеке может присутствовать только одна интегральная схема с нулевым адресом. После присвоения интегральной схеме адреса, она дает возможность прохождению сигналу CS вверх по стеку. Таким образом, становится доступна следующая интегральная схема в стеке с нулевым адресом. Процедура адресации продолжается до тех пор, пока не будет найдена последняя в стеке интегральная схема BMS с нулевым адресом.

Важной особенностью при организации информационного обмена является тот факт, что между первой и последней интегральной схемой в стеке может быть высокий потенциал за счет подключения интегральных схем к аккумуляторной батарее. При построении стека положительный потенциал интегральной схемы BMS, расположенной ниже по стеку, объединяется с землей интегральной схемы BMS, которая расположена выше. Это необходимо для обеспечения измерений напряжений на аккумуляторах. Задачу измерения напряжений на аккумуляторах батарейного модуля можно также решить и с помощью применения нескольких многоканальных АЦП с дифференциальными входами, однако в этом случае требуется организация гальванической развязки канала связи между ведущим устройством и каждым АЦП. При наращивании количества АЦП земля верхнего АЦП объединяется с положительным выводом питания АЦП, расположенного ниже в итоге между землей нижнего и верхнего АЦП находится высокий потенциал. Для обмена информацией между ведущим устройством и АЦП требуется объединение их земель, при отсутствии гальванической развязки такое объединение приведет к выходу системы из строя.

Помимо мониторинговых функций интегральные схемы BMS по команде МУК обеспечивают выполнение балансировки аккумуляторов, для чего интегральные схемы имеют выводы балансировки, которые управляют работой транзисторных ключей,

подключая или отключая резистивную нагрузку к аккумулятору, таким образом, регулируя уровень его заряда. При выполнении балансировки замер напряжений на каждом аккумуляторе выполняется с ошибкой, вызванной падением напряжения на проводниках, соединяющие клеммы аккумулятора с выводами АЦП, от токов разряжаемых аккумуляторов. Для получения достоверных значений напряжений на аккумуляторах на время выполнения измерения необходимо отключить все балансировочные резисторы и дать возможность аккумуляторам восстановить напряжение на клеммах. Затем продолжить процесс балансировки до момента выравнивания напряжений на всех аккумуляторах.

Для измерения температур аккумуляторов модуль СКУ-БМ в качестве измерителей использует резистивные температурные датчики, которые крепятся к аккумуляторам. В интегральных схемах bq76PL536 предусмотрена возможность измерения температуры 2-х аккумуляторов. Поэтому для измерения температуры на всех аккумуляторах в модуле СКУ-БМ применены многоканальные АЦП, управляемые по интерфейсу TWI микроконтроллером, который осуществляет преобразование измеренных значений напряжений в температуру на каждом аккумуляторе.

#### **Список литературы**

1. David Andrea. Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs. Boston|London: Artech house, 2010. 290 p.
2. Barsukov Y. Battery Cell Balancing: What to Balance and How. Available at: <http://www.ti.com/download/trng/docs/seminar/Topic%20%20-%20Battery%20Cell%20Balancing%20-%20What%20to%20Balance%20and%20How.pdf>, accessed 28.05.2014.
3. Chester S. Characteristics of rechargeable batteries. Available at: <http://www.ti.com/lit/an/snva533/snva533.pdf>, accessed 28.05.2014.