

Литий-ионная аккумуляторная батарея производства для СОПТ

Термины и сокращения

1.1. Термины

- Аккумулятор – накопитель энергии, допускающий многократный заряд и разряд;
- Аккумуляторная батарея – комплектное устройство, включающее последовательное соединение аккумуляторных ячеек и систему контроля и управления;
- Источник бесперебойного питания – преобразователь напряжения, использующий метод двойного преобразования, работающий в on-line режиме;

1.2. Сокращения

- АКБ – аккумуляторная батарея
- ЛИАБ – литий-ионная аккумуляторная батарея
- ЗВУ – зарядно-выпрямительное устройство
- НРЦ – напряжение разомкнутой цепи
- СКБ – свинцово-кислотная аккумуляторная батарея
- СОПТ – система оперативного постоянного тока
- BMS – система контроля и управления батареями
- SoC – степень заряженности

2. Особенности работы аккумуляторной батареи

2.1. Аккумуляторная батарея в составе систем оперативного постоянного тока

Система оперативного постоянного тока (далее - СОПТ) предназначена для обеспечения потребителей первой категории и первой категории особой группы качественным бесперебойным электропитанием постоянного тока. В состав СОПТ, как правило, входит одна или две аккумуляторные батареи, обеспечивающая электроснабжение потребителей в аварийном режиме при отсутствии питающей сети. При этом переход на питание от батареи осуществляется без токовой паузы.

Аккумуляторная батарея, входящая в состав СОПТ, используется в режиме поддерживающего заряда (буферном режиме), при котором зарядно-выпрямительное устройство, также входящее в состав СОПТ, компенсирует токи саморазряда батареи, при этом батарея находится в заряженном состоянии все время, за исключением аварийного режима и режима заряда батареи после его окончания.

Как правило, в составе СОПТ используются обслуживаемые свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (далее – СКБ). Они имеют следующие достоинства:

- Длительный срок службы (не менее 20 лет).
- Сравнительно невысокая стоимость запасаемой энергии.
- Большой наработанный опыт эксплуатации.

Вместе с тем, СКБ имеют следующие недостатки:

- СКБ необходимо размещать в специализированных аккумуляторных помещениях взрывоопасного класса В-Ia. Это требует создания сложной инженерной инфраструктуры,

включающей сооружение тамбура и помещения для хранения кислоты, установку отдельной от общей системы приточно-вытяжной механической системы вентиляций во взрывозащищенном исполнении, установку взрывозащищенных светильников и т.д. Пример расположения СКБ показан на рисунке 1.

- Снижение емкости при переходе в режим малых времен разряда (больших разрядных токов). Эффективность использования СКБ существенно снижается (в 2 – 3 раза) при переходе к временам разряда 30 минут (характерное время резервирования для объектов генерации).
- Жесткие требования к температуре эксплуатации. При увеличении температуры эксплуатации СКБ на десять градусов срок ее жизни уменьшается в два раза.



Рисунок 1 – Расположение СКБ в аккумуляторном помещении

2.2. Литий-ионная аккумуляторная батарея

В последние годы все большую популярность завоевывают литий-ионные аккумуляторные батареи (далее – ЛИАБ). В основном они получили распространение на рынке электротранспорта и для питания гаджетов, электроинструмента и медицинского оборудования. На традиционных для СКБ рынках ЛИАБ пока представлены не очень широко. Тем не менее, поскольку ЛИАБ лишены многих недостатков, присущих СКБ, они имеют хорошие перспективы внедрения на новых рынках.

Принципиальным отличием ЛИАБ от традиционных АКБ является то, что у них не происходит химическая реакция с преобразованием вещества электролита на границе электрод – электролит. В ЛИАБ вещество электролита используется только для транспортировки ионов лития. Этим обусловлены как преимущества ЛИАБ, так и их недостатки.

Преимущества ЛИАБ

- Не требуют для своего размещения специальную инфраструктуру.
- Компактные размеры. ЛИАБ располагается в шкафу рядом с остальным оборудованием СОПТ. Пример расположения представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Вариант размещения ЛИАБ в шкафу

- Хорошие разрядные характеристики на малых временах разряда (30 минут). В отличие от традиционных АКБ они не имеют ограничений, связанных со скоростью протекания химической реакции.
- Низкое значение поляризационного потенциала. При переходе в аварийный режим снижение напряжение на аккумуляторе происходит в значительно меньшей степени по сравнению с СКБ. Это позволяет в несколько раз снизить номинал батареи, если он определяется толчковыми нагрузками.
- Нечувствительны к температуре. Для длительной эксплуатации ЛИАБ не требуется поддержания оптимальной температуры с высокой точностью.

Недостатки ЛИАБ

- ЛИАБ склонны к перезаряду. Их нельзя эксплуатировать длительное время в режиме поддерживающего заряда в состоянии заряда 100% или близкой к этому.
- Требуется периодическая балансировка аккумуляторов, входящих в состав ЛИАБ.
- В связи с этим, для их эксплуатации требуется дополнительное оборудование – BMS (Battery Management System).
- По сравнению с некоторыми СКБ (например, OPzS), ЛИАБ имеет более высокую стоимость.

Ключевым параметром, определяющим возможность использования ЛИАБ в составе СОПТ, является возможность обеспечения срока эксплуатации батареи не менее 20 лет. Как показывает опыт реализованных проектов нашей компании, для ЛИАБ в режиме поддерживающего заряда достижимы сроки эксплуатации не менее 20 лет.

3. Работа ЛИАБ в режиме поддерживающего заряда

Как показали исследования [1], для обеспечения длительного срока эксплуатации ЛИАБ в режиме поддерживающего заряда требуется поддержание степени заряженности аккумуляторов ниже 100 %. Важно отметить, что понятие «аккумулятор заряжен на 100 %» для литий-ионных

аккумуляторов является величиной относительной, в отличие от СКБ, для которых это означает однозначно определяемое состояние, при котором весь сульфат свинца преобразован либо в металлический свинец (на отрицательном электроде), либо в двуокись свинца (на положительном электроде) [2].

Поддержание степени заряженности аккумуляторов в ЛИАБ ниже 100 % (на уровне 85 – 90 %) является нетривиальной задачей для наиболее популярных батарей (литий-железо-фосфатных), которые, по нашему мнению, являются наиболее привлекательными с точки зрения соотношения цена–безопасность–качество, поскольку для этих ЛИАБ характерна слабая зависимость напряжения разомкнутой цепи аккумуляторов (далее – НРЦ) от степени заряженности (SoC – State of Charge) – смотри рисунок 3.

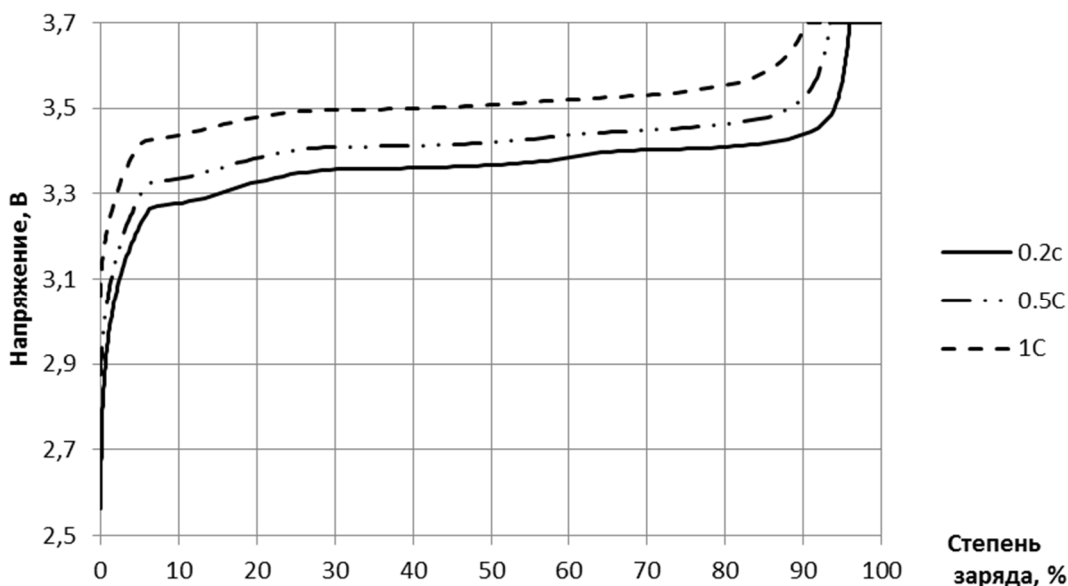


Рисунок 3 – Типичная кривая заряда ЛИАБ

3.1. Режим зарядки ЛИАБ

Также как и традиционные СКБ, литий-ионные аккумуляторные батареи рекомендуется заряжать в режиме ограничения по току (CC – constant current) с переходом в режим ограничения по напряжению (CV – constant voltage). В этом плане процесс зарядки аналогичен тому, который используется для СКБ (смотри Рисунок 4).

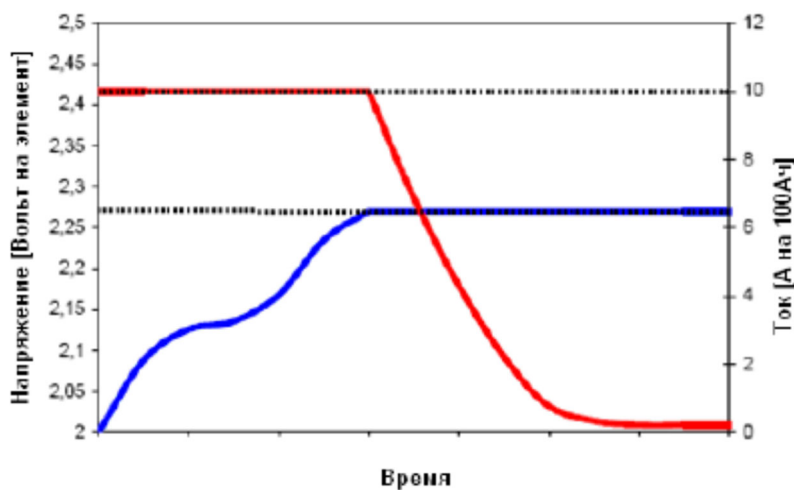


Рисунок 4 – Типичная зависимость зарядки CC/CV для свинцово-кислотного аккумулятора

Для того, чтобы предотвратить опасность перезарядки аккумуляторов в аккумуляторной батарее, и при этом обеспечить заряд батареи на 100 %, иногда организуется обратная связь между системой управления ЛИАБ (BMS) и системой управления ЗВУ. При этом, при приближении ЛИАБ к степени заряженности близкой к 100 %, ЗВУ плавно снижает зарядный ток. В это же время аккумуляторы балансируются за счет подключения шунтирующих резисторов. Этот способ доказал свою эффективность. К его недостаткам можно отнести то, что требуется согласование алгоритмов работы BMS и системы управления ЗВУ, что не всегда просто сделать.

3.2. Решение компании

Для обеспечения оптимального режима заряда ЛИАБ был запатентован способ, позволяющий не снижать зарядный ток, а обеспечить своевременное отключение батареи от выхода ЗВУ, входящего в состав СОПТ. При этом ЛИАБ остается подключенной к нагрузке для предотвращения токовой паузы в случае перехода в аварийный режим, при котором происходит питание энергией, запасенной в АКБ. Схематично это представлено на рисунке 5 .

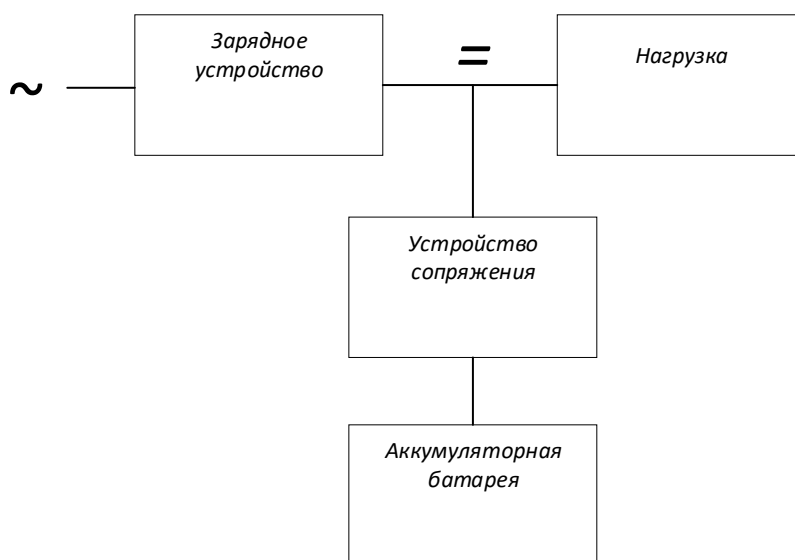


Рисунок 5 – Структурная схема решения

Алгоритмы, реализованные на уровне BMS, обеспечивают следующие условия:

- Отключение зарядки при достижении напряжения на отдельном аккумуляторе выше установленного порога;
- Подключение зарядки при снижении напряжения на отдельном аккумуляторе ниже установленного порога;
- Переход в режим балансировки аккумуляторов при возникновении установленных параметров батареи или по команде оператора;
- Отсутствие токовой паузы при переходе из режима поддерживающего заряда в режим аварийного разряда в случае исчезновения питающей сети и обратно при ее появлении;
- Контроль температуры каждой ячейки;
- Передача любых аварийных сигналов в АСУ ТП.

При этом не предъявляется дополнительных требований к системе управления ЗВУ, в том числе установления обратной связи между BMS и системой управления ЗВУ.

4. Технические характеристики ЛИАБ

Основные технические характеристики ЛИАБ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические параметры ЛИАБ

Параметр	Значение
Тип электрохимии аккумуляторов	LFP+
Время разряда, мин.	30 – 120
Емкость, Ач	Определяется проектом
Напряжение батареи номинальное, В	220
Напряжение батареи максимальное, В	242
Допустимый ток длительного разряда, С	3
Размещение	шкафное
Размер шкафа (ВхШхГ) мм	2000x800x600

ЛИАБ представляет собой цепочку последовательно соединенных аккумуляторов, которые располагаются на полках шкафа. Аккумуляторы подключаются к платам группами по 12 или 18 штук. Платы BMS, в свою очередь, подключаются к контроллеру BMS.

В зависимости от способа размещения батареи, аккумуляторы объединяются в блоки по несколько штук, скрепленные металлическими обечайками, препятствующими деформации корпусов отдельных аккумуляторов при больших токах разряда.

4.1. Технические характеристики BMS

Для защиты и мониторинга состояния ЛИАБ применяется система управления батареей (BMS). Используется трехуровневая система управления (аккумуляторная ячейка – групповой контроллер – главный контроллер). Передача данных между аккумулятором и групповым контроллером осуществляется аналоговым сигналом. Передача данных между групповыми контроллерами и главным контроллером осуществляется с помощью интерфейса RS-485 или CAN. Такая конфигурация обеспечивает высокую помехозащищенность системы, что особенно важно при совместной работе с полупроводниковыми силовыми преобразователями напряжения.

BMS выполняет следующие функции:

- контроль напряжения аккумуляторной ячейки с целью предотвращения перезаряда и глубокого разряда;
- контроль температуры аккумуляторной ячейки;
- выравнивание степени заряженности аккумуляторной ячейки в ЛИАБ (балансировка);
- контроль тока заряда и разряда;
- расчет текущего значения степени заряженности ЛИАБ (SoC);
- индикация состояния аккумуляторной ячейки и BMS (статус, код аварии);
- передача текущих данных о состоянии отдельных аккумуляторных ячеек в систему управления верхнего уровня;
- определение степени работоспособности ЛИАБ (SoH);
- проведение теста на определение внутреннего сопротивления;
- управление системой охлаждения и нагрева;
- логирование значимых событий;
- наличие счетчиков полученной и отданной энергии.

Структурная схема BMS представлена на рисунке 6.

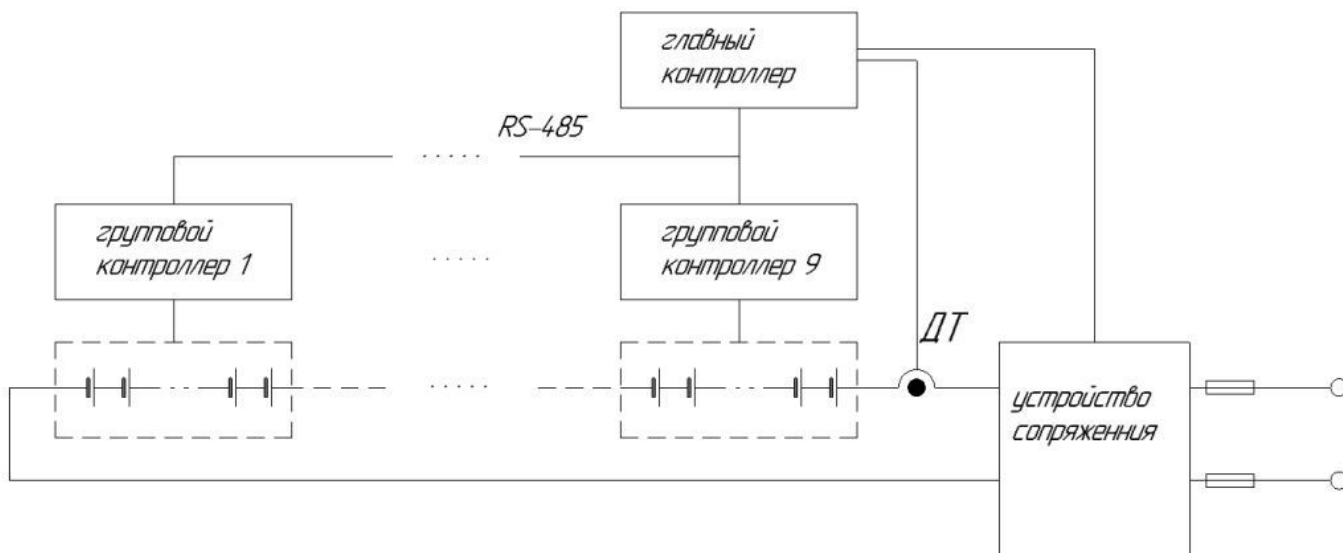


Рисунок 6 – Структурная схема BMS

В таблице 2 – Технические характеристики BMS представлены технические характеристики BMS.

Таблица 2 – Технические характеристики BMS

Параметр	Значение
Напряжение аккумулятора, В	1...5
Точность измерения напряжения, мВ	4
Допустимый температурный диапазон, °С	-40...+75
Максимально допустимое напряжение, В	1000
Напряжение питания, В	9...30
Количество аккумуляторных ячеек, подключаемых к групповому контроллеру	до 12
Балансировка	пассивная
Ток балансировки, А	до 0,5
Используемые интерфейсы	Ethernet, CAN, RS-485, WiFi
Количество программируемых дискретных входов	4
Количество программируемых дискретных выходов	4
Количество программируемых выходных реле	4
Количество подключаемых датчиков тока	2
Энергопотребление, Вт	2,0

Для изменения уставок BMS используется кабель USB-Micro USB.

5. Резюме

а) Литий-ионные аккумуляторные батареи доказали свою перспективность с точки зрения использования их в составе СОПТ. Но эти батареи имеют ряд принципиальных отличий от традиционных аккумуляторных батарей (СКБ), которые необходимо учитывать для обеспечения длительного срока эксплуатации их в режиме поддерживающего заряда.

б) Специалисты компании накопили более чем 10-летний опыт работы с литий-ионными аккумуляторными батареями, в том числе, в составе СОПТ. Имеются запатентованные решения, обеспечивающие длительный срок эксплуатации ЛИАБ в режиме поддерживающего заряда.

Реализованные на уровне BMS алгоритмы не предъявляют специфических требований к системе управления ЗВУ и обеспечивают работоспособность ЛИАБ с любыми ЗВУ, предназначенными для работы со свинцово-кислотными батареями.

Список литературы

1. Ворошилов А.Н., Петров А.Н., Чудинов Е.А. – Литий-железо-фосфатная аккумуляторная батарея. Моделирование режима заряда // Новости электротехники 2017 – №2 с. 44 – 49
2. Стандарт DIN 40729-1985 – Элементы гальванические вторичные. Основные термины и определения.