

УДК 621.311.21

**ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИТИЙ-ИОННЫХ  
АККУМУЛЯТОРОВ**

REUSE OF LITHIUM-ION BATTERIES

А.С. Щигельский, Н.А. Федоренко

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Shchigelsky, N. Fedorenko

Scientific supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior lecturer  
Belarusian National Technical University, Minsk

**Аннотация:** В данной статье рассмотрено повторное использование литий-ионных аккумуляторов для использования их в целях автономного питания жилого помещения без использования электросетей.

**Abstract:** This article discusses the reuse of lithium-ion batteries for their use for autonomous power supply of residential premises without the use of power grids.

**Ключевые слова:** аккумулятор, питание помещений, солнечные панели, солнечный контроллер, АКБ, инвертор.

**Keywords:** battery, indoor power supply, solar panels, solar controller, battery, inverter.

**Введение**

Типы солнечных электростанций.

Мы рассмотрим систему для обычной бытовой солнечной электростанции для небольшого дома с минимальными финансовыми затратами при достижении максимальной функциональности. Т.е. отопление дома солнечной энергией, не оглядываясь на электросети.

Теперь поговорим о видах солнечных электростанций для частного дома. По большому счету их всего три, но есть и вариации. Рассмотрим их от самых дешевых до самых дорогих.

Сетевая солнечная электростанция – этот тип электростанции сочетает в себе относительно невысокую стоимость и высокую простоту использования. Состоит всего из двух элементов: солнечных батарей и сетевого инвертора. Электроэнергия от солнечных панелей напрямую преобразуется в дома в 220В или 380В и расходуется на бытовых потребителей.

Но есть один существенный недостаток: для работы такой системы требуется опорная сеть. При его отсутствии система не будет работать и перестанет подавать электричество.

Кроме того, при существующей сетевой инфраструктуре работа сетевого инвертора не очень рентабельна. Пример: если у нас есть солнечная электростанция на 3 кВт, а дом потребляет 1 кВт. Излишек будет возвращен в сеть, а обычные счетчики будут считать энергию, отданную в сеть, то есть счетчик будет считать эту энергию как потребленную, и вам все равно придется за нее платить.

Тогда возникает вопрос: что делать с лишней энергией и как ее избежать? Далее мы переходим ко второму типу солнечных электростанций.

Гибридная солнечная электростанция – этот тип электростанции сочетает в себе преимущества сетевых и автономных электростанций. Состоит из четырех элементов: солнечных батарей, солнечного контроллера, аккумуляторов и гибридного инвертора.

В основе всего лежит гибридный инвертор, который может добавлять энергию, вырабатываемую солнечными панелями, к энергии, потребляемой из внешней сети. Более того, у хороших инверторов есть возможность настраивать приоритеты энергопотребления.

В идеале дом должен сначала потреблять энергию от солнечных батарей и только при ее недостатке – брать энергию из внешней сети. В случае исчезновения внешней сети инвертор переходит в автономную работу и использует энергию солнечных панелей и энергию, накопленную в батареях.

Таким образом, даже если электричество будет долгое время отсутствовать, или будет пасмурный день (или отключат электричество ночью), электричество в доме все равно будет. Но что делать, если электричества нет совсем, а жить нужно как-то? Далее переходим к третьему типу силовых установок.

Автономная солнечная электростанция – этот тип электростанции позволяет жить вообще при отсутствии внешних электросетей. Он может состоять более чем из четырех элементов, это могут быть: солнечные батареи, солнечный контроллер, аккумулятор, инвертор.

В дополнение к этому, а иногда вместо солнечных батарей может быть установлен генератор (дизельный, газовый или бензиновый). Как правило, на таких объектах стоит генератор, так как солнца и ветра может не быть, а запас энергии в аккумуляторах не бесконечен – в этом случае генератор запускается и обеспечивает энергией весь объект, одновременно заряжая батареи.

Такая силовая установка легко может быть преобразована в гибридную установку, при включении внешней сети, если инвертор имеет эти функции. Основное отличие автономного инвертора от гибридного инвертора, заключается в том, что он не способен объединять энергию от солнечных панелей, с энергией из внешней сети.

В то же время гибридный инвертор, наоборот, может работать как автономный, если внешняя сеть отключена. Как правило, гибридные инверторы соизмеримы по цене с полностью автономными инверторами, а если и отличаются, то незначительно.

Что такое солнечный контроллер?

Все типы солнечных электростанций имеют солнечный контроллер. Даже в сетевой солнечной электростанции он есть, он просто включен в сетевой инвертор. И многие гибридные инверторы поставляются с солнечными контроллерами на борту.

Солнечный контроллер – это устройство, которое преобразует энергию, полученную от солнечных панелей, в энергию, перевариваемую инвертором. Например, солнечные панели производятся с напряжением, кратным 12В. И батареи производятся с напряжением, кратным 12В.

Простые системы на 1-2 кВт работают от 12В. Производительные системы на 2-3 кВт, уже работают от 24В, а мощные системы 4-5 кВт и более – работают от 48В. Здесь, будем рассматривать только «дом». Потому что есть инверторы, работающие от напряжения в несколько сотен вольт, но это уже опасно для дома.

Итак, допустим, у нас есть система на 48В, и солнечные панели на 36В (панель собирается кратно 3 x 12В). Как получить необходимое напряжение 48В для работы инвертора? Батарея 48В подключена к инвертору, и эти батареи подключены к солнечному контроллеру с одной стороны и солнечным панелям с другой.

Солнечные панели собираются при намеренно более высоком напряжении, чтобы иметь возможность заряжать аккумулятор. Солнечный контроллер, получая намеренно более высокое напряжение от солнечных панелей, преобразует это напряжение в желаемое значение и передает его на батарею.

Есть контроллеры, которые могут понижать напряжение батарей от 150-200В от солнечных панелей до 12В, но здесь протекают очень большие токи, и контроллер работает с наихудшей эффективностью. Идеальный случай – это когда напряжение от солнечных панелей в два раза превышает напряжение на батарее.

Существует два типа солнечных контроллеров:

- ШИМ (ШИМ – широтно-импульсная модуляция);
- MPPT (MRRT – отслеживание максимальной мощности).

Принципиальное различие между ними заключается в том, что ШИМ-контроллер может работать только с панельными сборками, напряжение которых не превышает напряжение батареи. Контроллер MPPT может работать с заметным превышением напряжения относительно батареи. Кроме того, контроллеры MPPT имеют заметно более высокую эффективность, но и стоят дороже.

### **Основная часть**

Литий-ионный аккумулятор является наиболее распространенным типом аккумулятора на земле. Наиболее популярным является формат 18650, 18 – диаметр аккумулятора, 65 – высота.

Существует несколько "химических" составов литий-ионных аккумуляторов:

- Литий-марганцевый (Оксид марганца лития). Это батареи LiMn2O4.
- Литий-кобальт (Оксид лития-кобальта). К ним относятся NCR, ICR, LiCoO2.
- Фосфат лития-железа (Фосфат лития-железа или феррофосфат). Здесь вы можете позвонить в LFP, LiFePO4, IFR.

Технологии их производства схожи, поэтому все эти аккумуляторы можно отнести к литий-ионным аккумуляторам.

Номинальное напряжение составляет – 3,7В, а минимальное напряжение – до 2,5В, максимальное – 4,2В.

Емкость аккумуляторов 18650 колеблется от 0 до 3500 мА\*ч. Ток разряда в среднем не должен превышать значений 2С, где С – емкость аккумулятора, но

существуют высоко-токовые литий-ионные аккумуляторы, где максимальный ток разряда достигает 20А

Аккумулятор электромобиля Tesla model S собран из таких аккумуляторов.

Батарея состоит из большого количества элементов, соединенных последовательно и параллельно для достижения требуемого напряжения, емкости и передачи тока.

Что такое последовательное соединение и параллельное соединение?

Последовательное соединение – это набор ячеек, соединенных путем объединения одного из их отрицательных и одного из их положительных выводов.

Результатом является увеличение напряжения на их неподключенных клеммах.

Параллельное соединение – это набор ячеек, соединенных путем объединения их отрицательных и положительных выводов вместе. Результатом является увеличение емкости и токоотдачи.

Последовательное соединение на схемах обозначено заглавной буквой S. Параллельное соединение на схемах обозначено заглавной буквой P.

Емкость аккумулятора измеряется в ампер-часах (А\*ч), существуют также Ампер-секунды, Ампер-минуты и т.д. Ампер-час – это единица мощности, или накопленной потенциальной энергии.

Энергия обычно обозначается в ватт-часах и используется для измерения потребления энергии, часто в киловатт-часах (кВт\*ч). Этот индикатор можно использовать для сравнения батарей одинакового напряжения.

Если у вас аккумулятор емкостью 2000 мА\*ч, то в каждом из них хранится  $2\text{А} \cdot \text{ч} \cdot 3,7\text{В} = 7,4\text{ Вт} \cdot \text{ч}$ . Для того чтобы собрать аккумулятор емкостью 1 кВт\*ч, необходимо определить емкость и напряжение будущей батареи. Возьмите напряжение 25,9В – (7 С), тогда емкость аккумулятора в сборе составит  $1036\text{ В} \cdot \text{ч} \cdot 25,9\text{В} = 40\text{ А} \cdot \text{ч}$ . Поэтому параллельно требуется 20 батарей (20P). Мы получим батарею 7S20P.

И это всего лишь один пример того, как собрать аккумулятор, есть много других возможностей. Необходимо знать рабочее напряжение аккумулятора, его емкость и требуемый выходной ток

Утилизация литий-ионных аккумуляторов чрезвычайно сложна. По последним данным, эффективность утилизации аккумуляторов на 2019 год составляет 74,5%. Основными извлекаемыми и повторно используемыми металлами являются кобальт, медь, алюминий и железо. Поскольку металлы присутствуют в небольших количествах, с производителей аккумуляторов взимается налог для покрытия расходов на утилизацию. На данный момент извлечение лития из аккумуляторов невыгодно – это всего 2% от веса аккумулятора. Процессы переработки литий-ионных аккумуляторов ННА основаны на пирометаллургической переработке с последующей гидрометаллургической стадией. Во время пирометаллургической обработки, которая происходит в активной зоне установки, материалы плавятся в высокотемпературной печи. Это приводит к получению промежуточного продукта, содержащего концентрированные металлы. На

гидрометаллургической стадии промежуточный продукт выщелачивают под давлением с получением сульфата никеля, сульфата меди и сульфата кобальта экстракцией растворителем.

Основная проблема заключается в том, что во многих случаях батарея в сборе не исчерпала весь свой ресурс, контроллеры заряда могут выйти из строя, отдельные элементы выходят из строя, в то время как остальные остаются работающими.

Рассмотрим повторное использование литий-ионных аккумуляторов на примере батареи ноутбука

Внутри находится литий-ионная батарея 3S2P, с напряжением 12,6В и емкостью примерно 4500-5000 мА\*ч, в зависимости от модели батареи может выйти из строя плата управления или сборка, состоящая из 2-х последовательно соединенных батарей. Оставшиеся 4 батарейки можно извлечь и использовать повторно.

После того, как батареи достали, их всех надо проверить на напряжение, оно должно быть не ниже 2,5В. Эти аккумуляторы еще можно будет использовать. Далее все аккумуляторы должны быть заряжены до 4,2В и разряжены до 3,0В для замера емкости каждого аккумулятора. После этого их сортируют по емкости и внутреннему сопротивлению, разбег не должен составлять больше 200 мА\*ч.

Для заряда Li-ion аккумуляторов используется метод «постоянное напряжение / постоянный ток», суть которого заключается в ограничении напряжения на аккумуляторе, поэтому используют специальные зарядные устройства, т.к. перезарядить аккумулятор выше, чем 4,2В, опасно. Литий-ионные аккумуляторы могут воспламениться или вообще взорваться, а учитывая тот факт, что в сборке может находиться тысячи аккумуляторов, возгорание одного может привести к серьезным последствиям. Для контроля заряда используют управляющие платы – BMS. BMS (Battery Monitoring System) – это управляющая плата, которая следит за показателями каждого аккумулятора в сборке и в случае его переразряда или перезарядки одного или не скольких аккумуляторов, отключает все сборку от зарядки.

### **Заключение**

На данный момент, аккумуляторы применяются повсеместно, на их производство используются редкоземельные металлы. Можно выборочно продлить их использование, и не уничтожать раньше времени, пока не выработают свой ресурс.

### **Литература**

1. Nitta N. et al. Li-ion battery materials: present and future //Materials today. – 2015. – Т. 18. – №. 5. – С. 252-264.
2. Miao Y. et al. Current Li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements //Energies. – 2019. – Т. 12. – №. 6. – С. 1074.
3. Heelan J. et al. Current and prospective Li-ion battery recycling and recovery processes //Jom. – 2016. – Т. 68. – №. 10. – С. 2632-2638.
4. Georgi-Maschler T. et al. Development of a recycling process for Li-ion batteries //Journal of power sources. – 2012. – Т. 207. – С. 173-182.