

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Киптенко В.В.

БНТУ, МИДО, Минск, Беларусь, [Vvkp@tut.by](mailto:Vvkp@tut.by)

Любое транспортное средство, использующее в своей работе два или более источника энергии, является гибридом. Большинство выпускаемых в наше время автомобилей являются бензиново-электрическими гибридами, силовая установка которых сочетает двигатель внутреннего сгорания и электромотор.

В гибридах и электромобилях одним из самых важных вопросов, на сегодняшний день, являются накопители энергии. Требования, которым должны соответствовать аккумуляторы для автомобилей с альтернативным приводом, значительно отличаются от требований, предъявляемых к свинцово-кислотным аккумуляторам обычных автомобилей, которые, как правило, используются лишь для запуска ДВС или для обеспечения работы электрооборудования при заглушенном двигателе.

В настоящее время существует целый ряд альтернативных накопителей энергии, более приемлемых для использования в силовой установке автомобиля.

К числу таких накопителей относятся:

- водородные топливные элементы;
- электрохимические аккумуляторы;
- суперконденсаторы (ионисторы);
- инерционные накопители энергии;
- пневматические аккумуляторы, гидроаккумуляторы с пневмонакопителем.

Рассматривая электрохимические аккумуляторы, остановимся на свинцово-кислотных и литий-ионных.

Свинцово-кислотные аккумуляторы являются на сегодняшний день наиболее дешевыми и практичными для нужд электротранспорта. Несмотря на длительную историю существования до сих пор появляются интересные решения на базе свинцово-кислотной технологии.

Принцип работы свинцово-кислотных аккумуляторов основан на электрохимических реакциях свинца и диоксида свинца в водном растворе серной кислоты. При подключении к электродам аккумулятора внешней нагрузки начинается электрохимическая реакция взаимодействия оксида свинца и серной кислоты, при этом металлический свинец окисляется до сульфата свинца. Вообще говоря, электрохимические процессы в аккумуляторе сложны.

Принцип работы кислотного аккумулятора можно посмотреть на рисунке 1.

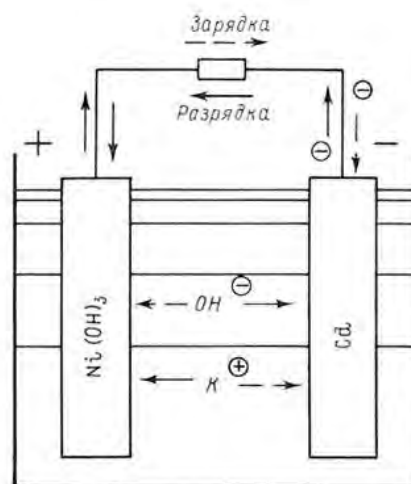


Рисунок 1 - Устройство и принцип действия кислотного аккумулятора.

Основные типы тяговых аккумуляторов свинцово-кислотных батарей:

- 1) PzS - панцирные аккумуляторы с жидким электролитом, изготовленные по немецким стандартам DIN;
- 2) PzB - панцирные аккумуляторы, изготовленные по британским стандартам BS, по характеристикам схожи с PzS аккумуляторами;
- 3) PzV - панцирные необслуживаемые аккумуляторы, в которых электролит находится в гелеобразном состоянии (наиболее перспективны для электромобиля из всех свинцово-кислотных аккумуляторов, несмотря на больший вес).

Достоинства свинцово-кислотных аккумуляторов:

- 1) Широкая распространенность технологии;
- 2) Низкий саморазряд батареи;
- 3) Хорошая переносимость мощностных нагрузок.

Недостатки свинцово-кислотных аккумуляторов:

- 1) Низкая плотность энергии в аккумуляторе, в связи с чем вес батареи выше, чем у большинства других батарей;
- 2) Глубокий разряд - при разряде свыше 80% резко снижается продолжительность жизни батареи. Рекомендуемые 60% разряда (при которых достигается до 1500 циклов разряда-заряда) еще больше усиливают проблему низкой плотности энергии;
- 3) Проблема обслуживания для вентилируемых батарей - требуется постоянный контроль уровня электролита, зарядка в специальном хорошо проветриваемом помещении;
- 4) При заряде теряется до 30% затраченной электроэнергии;
- 5) Чувствительность к низким температурам при сильном разряде батареи;

б) При больших токах разряда стоит проблема неполной одномоментной отдачи заряда батареями.

Литий-ионные аккумуляторы, широко распространенные в бытовой технике, нашли свое применение в качестве тяговых батарей для электротранспорта и накопителей энергии в энергетических системах. Первый литий-ионный аккумулятор выпустила корпорация Sony в 1991 году.

Работа всех литий-ионных аккумуляторов основана на обратимых электрохимических реакциях: на аноде идут окислительные процессы, на катоде - восстановительные. При подключении к батарее внешнего потребителя тока - например, электродвигателя - находящиеся в толще анодного материала атомы лития мгновенно начинают окисляться, превращаясь в катионы. Высвобождающиеся при этом электроны отправляются на пластину токосъемника, откуда через двигатель перетекают на катод, создавая в цепи электрический ток. Тем временем ионы лития тоже устремляются к катоду, но коротким путем - сквозь проводящий электролит. Здесь они восстанавливаются, присоединяя к себе электроны. При заряде батареи те же электрохимические реакции на положительном и отрицательном электродах протекают в обратном направлении.

Схема работы литий-ионного аккумулятора указана на рисунке 2.

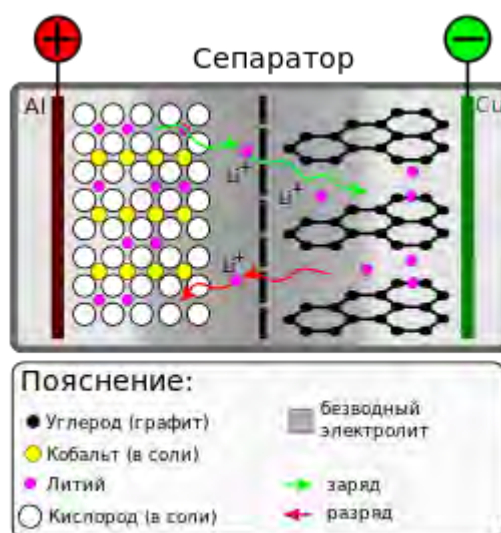


Рисунок 2 - Устройство и принцип действия литий-ионного аккумулятора.

Достоинства литий-ионных аккумуляторов:

- 1) Высокая энергетическая плотность (емкость);
- 2) Напряжение питания на элементе - 3,6В, что в 3 раза выше, чем у NiMH и NiCd аккумуляторов и почти в 2 раза выше, чем для свинцово-кислотных аккумуляторов;
- 3) Низкий саморазряд - до 7% в месяц;
- 4) Не требуют обслуживания.

Недостатки литий-ионных аккумуляторов:

- 1) Взрывоопасность - возможность взрыва при механическом повреждении или перезарядке аккумулятора;
- 2) Старение аккумулятора - температурный режим заряда литий-полимерных и литий-ионных аккумуляторов влияет на их ёмкость: ёмкость снижается при зарядке на холоде или в жару. Глубокий разряд полностью выводит из строя литий-ионный аккумулятор;
- 3) Снижение емкости при низких температурах - при снижении температуры окружающего воздуха ниже 0 °С происходит снижение мощности литий-ионного аккумулятора до 40-50%;
- 4) высокая стоимость.

Высокая стоимость и недостаточная емкость литий-ионных батарей, используемых в большинстве современных электрокаров, подтолкнула ученых к использованию альтернативных источников накопления энергии - суперконденсаторов (ионисторов).

Суперконденсаторы можно назвать ярчайшей разработкой последних лет. В сравнении с конденсаторами обычными они, при тех же габаритах, отличаются на три порядка большей емкостью. За это конденсаторы и получили свою приставку – «супер». За малый промежуток времени они могут отдавать огромное количество энергии.

Ионистор - это энергонакопительный конденсатор, заряд в котором накапливается на границе раздела двух сред - электрода и электролита (в двойном электрическом слое). Энергия в ионисторе содержится в виде статического заряда. Накопление совершается, если к его обкладкам будет приложена разность потенциалов (постоянное напряжение). Концепция создания ионисторов появилась относительно недавно, и в настоящее время они заняли свою нишу применения.

На рисунке 3 изображено устройство ионистора (суперконденсатора).

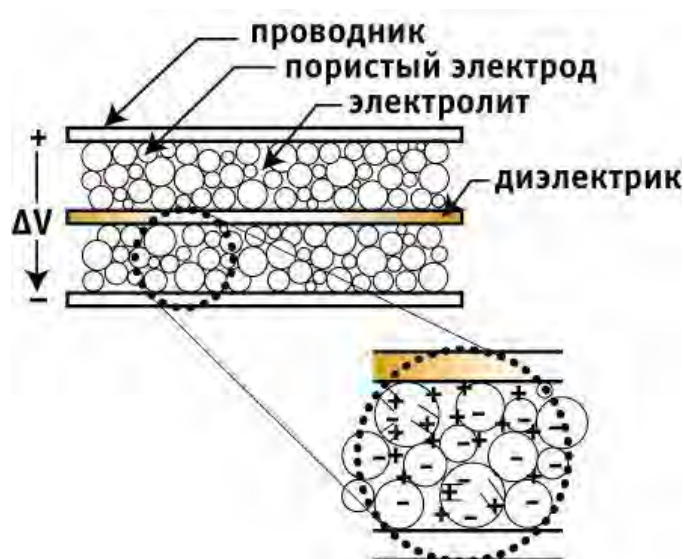


Рисунок 3 - Устройство суперконденсатора.

Работы по улучшению свойств электрохимических конденсаторов привели к появлению в конце XX века суперконденсаторов с емкостью до 10 Вт\*ч/кг, а в 2011 году появились образцы с удельной емкостью 85.6 ватт-часов на килограмм при комнатной температуре и 136 Вт-ч/кг при 80°C, что позволяет использовать их в качестве буферных накопителей энергии:

- 1) для энергетических установок с нестабильными энергетическими характеристиками. Таких как ветро - электрогенерирующие установки, электростанции с полупроводниковыми солнечными панелями, приливные электростанции;
- 2) для энергетических установок с ограниченной мощностью в случае их применения для питания нестабильных нагрузок, например топливные элементы. В том числе как буферные в электротранспорте с аккумуляторными источниками питания, позволяет применить АБ на меньшие пиковые токи, что удлиняет срок из службы;
- 3) для приводов и гибридных транспортных средств, где характерны кратковременные пиковые нагрузки при трогании и разгоне.

Достоинства суперконденсаторов:

- 1) большой срок службы;
- 2) малое внутреннее сопротивление;
- 3) быстрый заряд;
- 4) работа ионистора при любом напряжении, не превосходящем номинального;
- 5) неограниченное число циклов заряд/разряд;
- 6) отсутствие необходимости контроля за режимом зарядки;
- 7) использование простых методов заряда;
- 8) широкий диапазон рабочих температур: -25...+70 °C;

Недостатки суперконденсаторов:

- 1) Удельная энергия симметричных ионисторов меньше, чем у аккумуляторов (4—6 Вт·ч/кг против 180—240 Вт·ч/кг у литий-ионных аккумуляторов);
- 2) Напряжение напрямую зависит от степени заряженности;
- 3) Возможность выгорания внутренних контактов при коротком замыкании для ионисторов большой емкости и с низким внутренним сопротивлением;
- 4) Низкое рабочее напряжение по сравнению с большинством конденсаторов других типов;
- 5) Значительно больший, по сравнению с аккумуляторами, саморазряд: порядка 1 мкА у ионистора  $2 \Phi \times 2,5 \text{ В}$ .

Список литературы:

- 1) Двойной электрический слой на поверхности, <http://www.powerinfo.ru/electric-layer.php>
- 2) СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ: ПРИНЦИПЫ И ПРИМЕНЕНИЯ, Деньщиков КК. denszczikov.pdf
- 3) Суперконденсаторы для электроники, ч.1, [http://news.cxem.net/articles/circuit\\_28.php](http://news.cxem.net/articles/circuit_28.php), изложены принципы функционирования суперконденсаторов, показаны конструкции приборов с двойным электрическим слоем и описана технология их изготовления, (СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА № 5 2006), А. Деспотули, А. Андреева (Московская обл.)
- 4) [Свойства конденсатора и их влияние на его применение](#), июль 2006 - сентябрь 2006 г, А.Сорокин
- 5) Ликбез по кислотным аккумуляторам <http://sdisle.com/battery/index.html>
- 6) Хрусталёв Д. А. Аккумуляторы. М: Изумруд, 2003.
- 7) Юрий Филипповский. [Мобильное питание. Часть 2.](#) (RU). КомпьютерраLab (26 мая 2009). — Подробная статья о Li-ion аккумуляторах.
- 8) Романов В. В., Хашев Ю. М. Химические источники тока. — М., 1968.
- 9) Орлов В. А. Малогабаритные источники тока. — 2-е изд. — М., 1970.
- 10) Вайнел Д. В. Аккумуляторные батареи. — пер. с англ., 4-е изд. — М. — Л., 1960.
- 11) The Primary Battery / ed. G. W. Heise, N. C. Sahoo. — N. Y. — L., 1971. — Т. v.
- 12) Каштанов В. П., Титов В. В., Усков А. Ф. и др. Свинцовые стартерные аккумуляторные батареи. Руководство.. — М.: Воениздат, 1983. — 148 с