

УДК 621.3.031

## УСТРОЙСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Сосновский П.В., Дмитров С.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Впервые о суперконденсаторах узнали ещё в 1962 году, когда американский химик Роберт Райтмаер подал заявку на получение патента, где подробно описывалось устройство, сохраняющее электрическую энергию с двойным электрическим слоем. В 1971 году лицензия была передана японской компании *NEC*, занимающейся к тому моменту всеми направлениями электронной коммуникации. Японцам удалось успешно продвинуть на рынок электроники эту технологию, которая в настоящее время, имеет несколько различных названий: суперконденсатор, ультраконденсатор, ионистор, который представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Блок суперконденсаторов

Известно, что обычные конденсаторы имеют многослойный или монолитный диэлектрик между двумя обкладками. Ионистор же не имеет диэлектрического слоя, в нём применяется физический механизм образования двойного электрического слоя, который работает аналогично заряженному диэлектрику. Процесс зарядки/разрядки, представленный на рисунке 2, происходит в слое ионов, сформированном на поверхности положительного и отрицательного электродов.

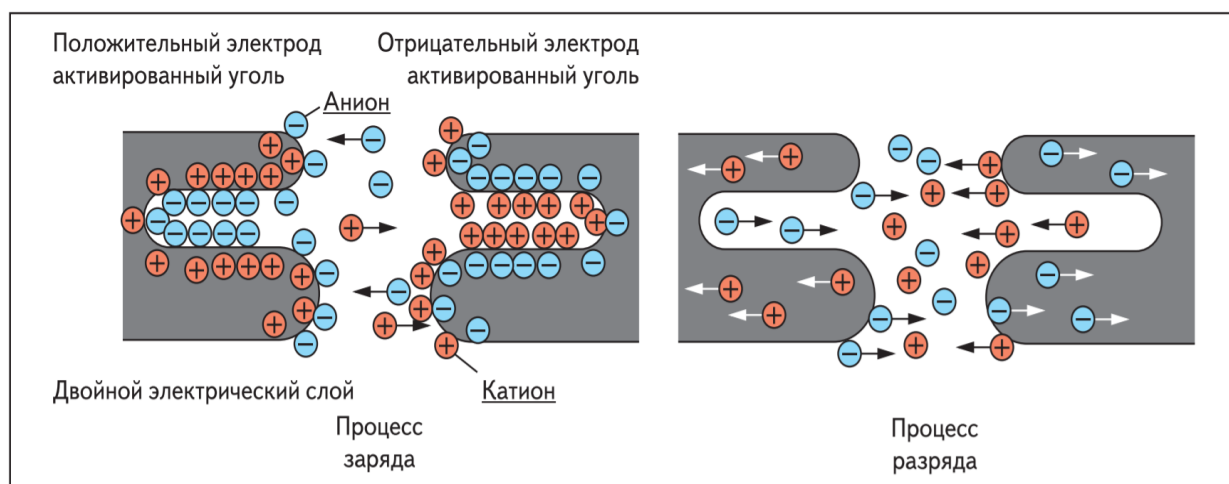


Рисунок 2. Процесс зарядки/разрядки ионистора

Под действием приложенного напряжения анионы и катионы движутся к соответствующему электроду и накапливаются на поверхности электрода, образуя, таким образом, с зарядом электрода двойной электрический слой, который и будет являться границей раздела. Эта область увеличивается при приложении более высокого напряжения, и накапливаемый заряд увеличивается. Этот процесс представлен на рисунке 3.

Толщина двойного электрического слоя очень мала и сопоставима с размером молекулы, то есть около 5-10 нм. В качестве электродов используются пористые материалы, например, активированный уголь в виде мелкодисперсной фракции, изготовленный по специальной порошковой технологии, и органический электролит. Между электродами для предотвращения проникновения ионов расположен «сепаратор» с хорошими изоляционными свойствами, что позволяет не допустить короткого замыкания между электродами. Электролит проникает между частицами активированного угля, и электрод, таким образом, «пропитан» электролитом. Таким образом, общую ёмкость такого ионистора можно представить, как большое количество маленьких конденсаторов, где каждая частица активированного угля – своеобразный электрод для маленького конденсатора с ёмкостью, обусловленной двойным электрическим слоем.

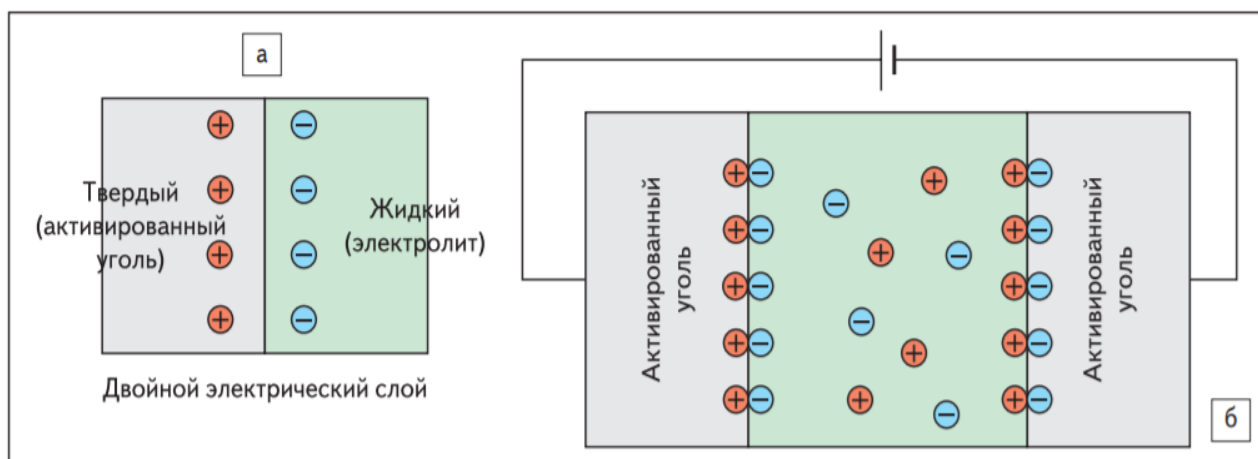


Рисунок 3. Образование двойного электрического слоя (а) и увеличение заряда при приложении напряжения (б)

Поскольку электрод ионистора представляет собой совокупность огромного количества частиц активированного угля, он имеет очень большую «развитую» площадь поверхности, приблизительно до  $2500-3000 \text{ см}^2/\text{г}$ , что позволяет получить ёмкость до нескольких десятков фарад.

К числу безусловных преимуществ этих устройств относятся следующие качества:

- Большие максимальные токи зарядки и разрядки, что позволяет их использовать в тех случаях, когда аккумуляторы установить не представляется возможным из-за долгой подзарядки;
- Малая деградация даже после сотен тысяч циклов заряда/разряда. Даже после 100 000 циклов не наблюдалось ухудшения характеристик.
- Высокое внутреннее сопротивление у большинства ионисторов, которое препятствует быстрому саморазряду, а также перегреву и разрушению.
- Более длительный срок эксплуатации (при номинальном напряжении 0,6 В около 40000 часов).
- Меньшие вес и габариты по сравнению с аккумуляторами и конденсаторами подобной ёмкости;
- Низкая токсичность материалов, кроме органических электролитов.
- Широкий диапазон рабочей температуры – от  $-40$  до  $70\text{C}^\circ$ .
- Большая механическая прочность: выносят многократные перегрузки.

Но как бы ни были хороши суперконденсаторы, у них есть и недостатки, которые несколько усложняют их эксплуатацию, а именно:

- Относительно высокая цена ионисторов приводит к тому, что использование их в технике ведёт к её удорожанию. Как утверждают специалисты, в ближайшем будущем эта проблема будет решена, благодаря развитию новых технологий;
- Напряжение напрямую зависит от степени заряженности.
- Низкие параметры номинального напряжения устройств, решением может служить последовательное соединение нескольких элементов (принцип такой же, как при подключении нескольких батареек).
- Значительно больший, по сравнению с аккумуляторами, саморазряд: порядка 1 мкА у ионистора 2 Ф × 2,5 В.

Сфера применения суперконденсаторов на единицы фарад довольно обширна, но наибольшее распространение они получили в качестве аварийного или резервного блока питания, внешний вид которого представлен на рисунке 4. Начиная с питания таймеров бытовой техники, и заканчивая сложными медицинскими приборами. В момент замены батареек или аккумуляторов прерывается питание или могут сбиться настройки, например, частоты в радиостанции. Но, благодаря встроенному ионистору, этого не происходит. И хотя его ёмкость намного меньше ёмкости аккумулятора, но его хватает на несколько суток, чтобы сохранить работу устройства и сохранения его настроек. Телефоны, электронные счётчики электроэнергии, охранные системы сигнализации, электронные измерительные приборы и приборы медицинского применения – везде нашли применение суперконденсаторы.



Рисунок 4 – Резервный блок питания на основе ионисторов

Предпринимались и довольно экзотические эксперименты по применению суперконденсаторов, в частности, на их основе пытались создать гаусс оружие (электромагнитную пушку).

При разработке ионисторов все более и более повышается их удельная ёмкость, и, по всей вероятности, рано или поздно это приведёт к полной замене аккумуляторов на суперконденсаторы во многих технических сферах.

Последние исследования группы учёных Калифорнийского университета в Риверсайде показали, что новый тип ионисторов на основе пористой структуры, где частицы оксида рутения нанесены на графен, превосходят лучшие аналоги почти в два раза.

Исследователи обнаружили, что поры «графеновой пены» обладают наноразмерами, подходящими для удержания частиц оксидов переходных металлов. Суперконденсаторы на основе оксида рутения теперь являются самым перспективным из вариантов. Безопасно работающие на водном электролите, они обеспечивают увеличение запасаемой энергии и повышают допустимую силу тока вдвое по сравнению с самыми лучшими из доступных на рынке ионисторов.

Они запасают больше энергии на каждый кубический сантиметр своего объёма, поэтому ими целесообразно будет заменить аккумуляторы. Прежде всего, речь идёт о носимой и имплантируемой электронике, но в перспективе новинка может обосноваться и на персональном электротранспорте, компоновочная схема которого представлена на рисунке 5.

На частицы никеля послойно осаживают графен, выступающий опорой для углеродных нанотрубок, которые вместе с графеном формируют пористую углеродную структуру. В полученные нанопоры последней из водного раствора проникают частицы оксида рутения диаметром менее 5 нм. Удельная ёмкость ионистора на основе полученной структуры составляет 503 фарад на грамм, что соответствует удельной мощности 128 кВт/кг.

Возможность масштабирования этой структуры уже положила начало и создала основу на пути создания идеального средства хранения энергии. Ионисторы на основе «графеновой пены» прошли успешно первые тесты, где показали способность к перезаряду более восьми тысяч раз без ухудшения характеристик.

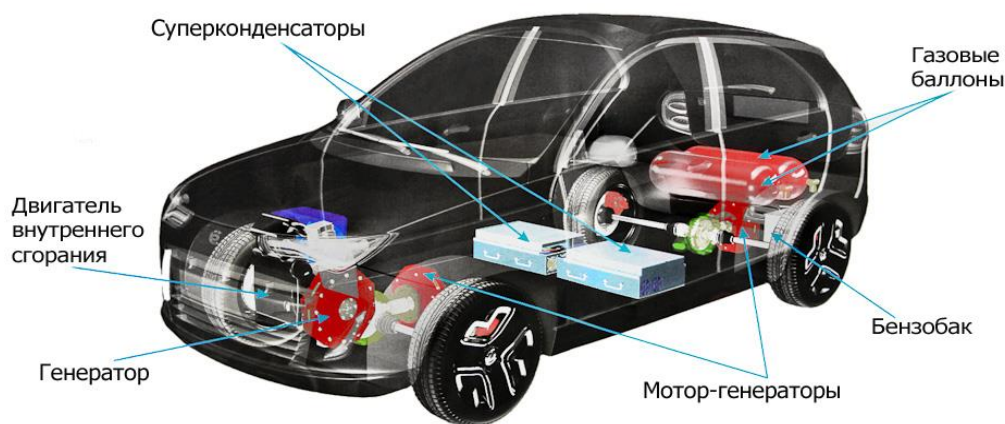


Рисунок 5. Устройство электромобиля на основе суперконденсаторов

### Литература

1. [http://linochek.ru/r\\_17752](http://linochek.ru/r_17752)