

**VI Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
207-1
17-23 ноября 2023 года**

УДК 621.31

А.К. КАЧЕНКОВ, студент гр. ЭПб-221 (КузГТУ)
Научный руководитель: Т.М. ЧЕРНИКОВА, д.т.н., профессор (КузГТУ)
г. Кемерово

**СУПЕРКОНДЕНСАТОР: НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ХРАНЕНИЕ
ЭНЕРГИИ**

Суперконденсаторы возникли, когда появилась необходимость быстро накопить и отдать энергию. Они имеют более высокую емкость заряда, которая превышает емкость обычного конденсатора в несколько десятков и даже сотен раз. Внедрение суперконденсаторов и современную технику позволит пользоваться ей чаще, поскольку зарядка таких устройств происходит намного быстрее.

Первый суперконденсатор, запатентованный американской General Electric Company в 1957 году, представлял собой обычный конденсатор, но с двухслойными пористыми углеродными электродами. В то время механизм работы этого устройства был еще не до конца понятен, но отмечали его «необыкновенную способность накапливать заряд», из-за, как тогда полагали, запаса энергии в порах на электродах.

С тех пор постепенно стали разрабатываться многие конструкции суперконденсаторов.

В СССР ионисторы (другое название суперконденсаторов) появились только в 1978 году, когда их опубликовали в журнале "Радио". Это были ионисторы КИ1-1 с емкостью 0,1-50 Ф в зависимости от типоразмера [1].

Ученые из американского научно-исследовательского института Pinnacle в 1982 году создали суперконденсатор с высокой плотностью энергии, который назвали PRI Ultracapacitor. Его создание расширило сферу применения суперконденсаторов, появилась возможность обеспечивать электричеством оборудования большой мощности [2].

До сих пор ведутся работы по модернизации и улучшению ионисторов. Многие страны мира принимают участие в этой работе, в том числе и Россия.

Изучение работы суперконденсаторов позволяет оценить возможности применения этих устройств на промышленных объектах.

В настоящей работе рассмотрены достоинства и недостатки суперконденсаторов и приводится их сравнительный анализ с другими накопителями энергии.

**VI Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
207-2
17-23 ноября 2023 года**

Суперконденсатор состоит из двух пористых электродов, сепаратора, токосъемников и электрода (рис. 1), тогда как обычные керамические и электрические конденсаторы состоят из диэлектрического материала [3].

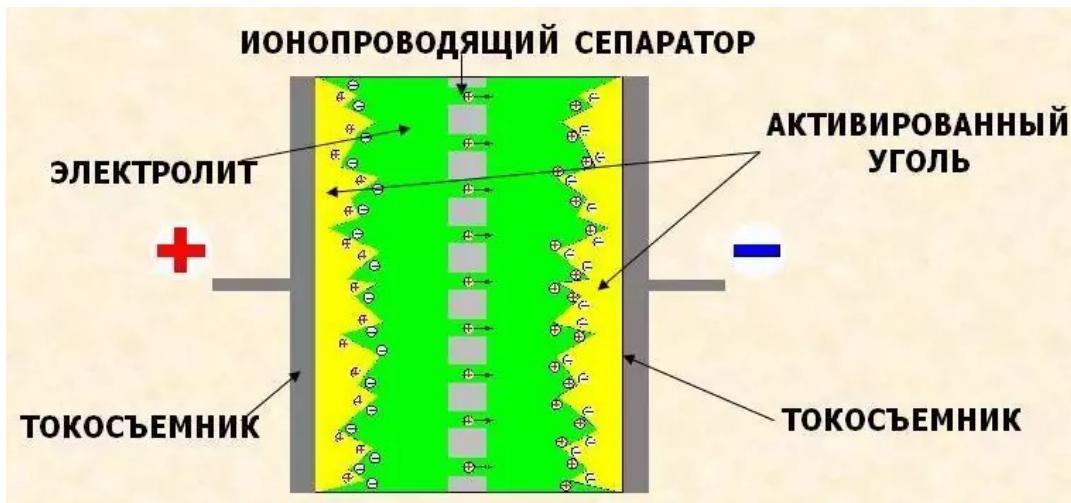


Рис.1. Устройство суперконденсатора

Токосъемники в основном состоят из алюминиевой фольги (которая покрыта электродным материалом), поскольку использование титана и платины экономически не выгодно.

В электродах емкость пропорциональна площади поверхности этого электрода. В качестве электродного материала в основном используют высокопористый порошковый активный углеродный материал либо электродные нанотрубки, которые защищены специальным покрытием и погружены в электролит. Из-за пористой поверхности материала, он может хранить большое количество заряда (ионов или радикалов). Это увеличивает емкость суперконденсатора.

Электролит является основным показателем внутреннего сопротивления, и его раствор должен быть либо водным, либо неводным. В суперконденсаторах чаще всего используются неводные электролиты, поскольку они обеспечивают высокое напряжение на выводах клемм. Такие электролиты состоят из проводящих солей, растворенных в ацетонитриле или пропиленкарбонате.

Сепаратор состоит из прозрачного для ионов материала, но являющегося изолятором для контакта между пористыми электродами, которое может привести к короткому замыканию.

Использование активированного угля повышает величину емкости за счет увеличения площади поверхности. Электролит с малым внутренним сопротивлением повышает мощностную плотность. Эти характеристики

VI Международная молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

207-3

17-23 ноября 2023 года

дают возможность суперконденсаторам быстро отдавать и накапливать энергию.

Заряд в ионисторе накапливается из-за формирования двойного электрического слоя на электроде при адсорбции ионов («смачивание» ионами поверхности) из электролита [3].

Основной принцип работы суперконденсатора заключается в разложении разности потенциалов на токовыводах. При этом на положительном электроде образуются отрицательные ионы, а на отрицательном электроде - положительные. В то же время сепаратор предотвращает короткое замыкание электродов, пропуская через себя ионы электролита. Накопление и сохранение зарядов происходит статически, однако в процессе заряда и разряда не происходит электрохимических реакций. Главная особенность суперконденсатора – способность накапливать большое количество энергии за малое количество времени.

Конструкции элементарных ячеек позволяют создать модули различных размеров и любого напряжения. Устройства могут быть выполнены с охлаждением разного типа – воздушного, водяного и естественного.

Конструкции элементарных ячеек дают возможность создать модули суперконденсатора различных размеров и различного напряжения. Ионистры могут быть с различными типами охлаждения – естественного (взаимодействие с окружающей средой), водяного и воздушного [4].

Существует три типа суперконденсаторов:

- двухслойные конденсаторы (ДСК) с идеально поляризуемыми углеродными электродами;
- гибридные конденсаторы (ГК) асимметрического типа, содержащие поляризуюший углеродный электрод и неполяризующий (слабополяризуемый) анод или катод;
- псевдоконденсаторы (ПсК), у которых на поверхности электродов при зарядке-разрядке протекают обратимые электрические процессы

В типе ДСК не протекают электрохимические реакции при рабочем интервале напряжений, что не накладывает ограничений на скорость зарядки-разрядки, поэтому по мощности они близки к оксидно-электролитическим конденсаторам. Электрический заряд определяется емкостью двойного электрического слоя (ДЭС).

По емкости конденсаторы типа ДСК аналогичны оксидно-электролитическим, так как в рабочем диапазоне напряжений не происходит электрохимической реакции, поэтому нет ограничений на

VI Международная молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

207-4

17-23 ноября 2023 года

скорость заряда и разряда. Заряд определяется емкостью двойного электрического слоя (ДЭС).

ГК представляет собой комбинацию полностью поляризуемых и неполяризуемых электродов. В суперконденсаторах этого типа на аноде и катоде происходят те же электрохимические реакции, что и в аккумуляторе. Но поскольку эти реакции накладывают диффузионные и кинетические ограничения на скорости заряда и разряда, характеристики суперконденсаторов этого типа аналогичны характеристикам аккумулятора: в ГК электрод, на котором происходит процесс Фарадея, обеспечивает высокую плотность энергии, а электрод ДЭС – высокую допустимую мощность в системе. Этот тип суперконденсаторов имеет большую емкость и большую плотность энергии по сравнению с другими типами. Основным недостатком ГК является ограниченное количество циклов заряда и разряда из-за эффекта Фарадея на электродах.

Работа ПсК основана на протекании быстрых и обратимых реакций обмена электронами вокруг электрода и на его поверхности. Учитывая электролиз по Фарадею (окислительно-восстановительные реакции), участвующий в накоплении энергии, можно увеличить значения плотности энергии и удельной емкости псевдоконденсаторов. Однако, в отличие от суперконденсаторов на основе ДЭС, ПсК имеют низкую плотность энергии, а также малое количество и продолжительность циклов заряда/разряда [4].

Среди достоинств ионисторов можно выделить:

- высокая плотность энергии и относительно низкая стоимость устройства накопления этой энергии из расчета на 1 Ф;
- длительный срок службы конденсатора и высокий коэффициент полезного действия (доходит до 95% и более);
- экологическая безопасность, бесперебойная эксплуатация и высокая надежность устройства;
- широкий диапазон рабочих температур, довольно высокая удельная мощность и энергия;
- большее количество циклов заряда - разряда (выдерживает до миллиона циклов), по сравнению с обычным конденсатором, также высокая скорость заряда и разряда;
- большой процент отдачи электроэнергии (>90%, когда у современных ионных аккумуляторов он не превышает 60%).

Среди недостатков:

- высокая токсичность материалов в устройстве ионистора;
- возможность разряда до нуля, довольно небольшая плотность энергии;

VI Международная молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

207-5

17-23 ноября 2023 года

- низкое напряжение на единицу элемента, высокая степень саморазряда [5].

В табл. 1 и табл.2 приведено сравнение аккумуляторов, конденсаторов и суперконденсаторов по некоторым показателям [6].

Таблица 1

Напряжение ячейки, удельная плотность энергии, мощность и эффективность заряда-разряда для различных накопителей энергии

Параметр	Напряжение ячейки	Удельная плотность энергии	Удельная мощность	Эффективность заряда/разряда
	В	Вт·ч/кг	Вт/кг	%
Конденсатор	≈3	<0,1	>100 000	>95
Аккумулятор:				
литий	3,5	100-250	200-1000	85-95
свинец	2,1	30-35	80-130	75-85
никель	1,3	60-90	150-700	60-80
Суперконденсатор	2,7	4,1	>10 000	85-98

Таблица 2

Жизненный цикл, стоимость, рабочая температура, время зарядки для конденсаторов, аккумуляторов и суперконденсаторов

Параметр	Жизненный цикл	Стоимость	Рабочая	Время
	количество циклов заряда-разряда	€/кВт·ч	температура	зарядки
Конденсатор	<100 000	50-70	°C	сек
Аккумулятор:			-20 - +70	100-110
литий	2500-1000	110-200		
свинец	700-1100	120-170	-40 - +60	≈3600
никель	1600-2200	300-500	0 - +50	≈3000
Суперконденсатор	100 000-1 млн	6000-12000	0 - +45	≈7200

Как видно из таблиц, суперконденсаторы по многим показателям лучше обычных конденсаторов и аккумуляторов, но все же они дороже, имеют меньшую плотность энергии (по сравнению с аккумуляторами) и напряжение ячейки у них меньше, чем у конденсаторов и литиевых и свинцовых аккумуляторов.

**VI Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
207-6
17-23 ноября 2023 года**

Все страны мира занимаются модернизацией суперконденсаторов для дальнейшего использования их на промышленных объектах и повсеместно [7].

Высоковольтные и мощные электрохимические суперконденсаторы могут широко использоваться для решения различных проблем качества и безопасности электропитания в сетях с напряжением в несколько тысяч вольт. При этом исключаются коммутационные сбои и провалы в сети, достигается значительная экономия средств. Кроме того, снижаются затраты на существующую инфраструктуру электроснабжения (подстанции, приводы).

Список литературы:

1. Писарева Т. А., Борисова Е. М., Решетников С. М. «Создание и изучение эффективных суперконденсаторов на основе двойного электрического слоя» [Электронный ресурс] – режим доступа:
http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/19928/116лб_1000984149_05.03.2021.pdf?sequence=1 (дата обращения 22.10.2023)
2. Шаркович Р. П. «Проблемы эксплуатации суперконденсаторов» [Электронный ресурс] – режим доступа:
https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/27164/Problemy_ehkspluatacii_superkondensatorov.pdf?sequence=1 (дата обращения 23.10.2023)
3. Мутаев М. Х. «Ионисторы (суперконденсаторы): основы и применение» [Электронный ресурс] – режим доступа:
<https://cyberleninka.ru/article/n/ionistory-superkondensatory-osnovy-i-primenenie/viewer> (дата обращения 23.10.2023)
4. Беляков А. И. «Высоковольтные, высокомощные электрохимические суперконденсаторы для качества электроэнергии – технические требования и особенности применения» [Электронный ресурс] – режим доступа:
<https://mp36c.ru/pdf/library/articles/SC/33HVrus.pdf> (дата обращения 24.10.2023)
5. Шурыгина В. А. «Суперконденсаторы. Размеры меньше, мощность выше» Электроника НТБ [Электронный ресурс] – режим доступа:
https://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_277_584.pdf?ysclid=lo06gbf7i3173530595 (дата обращения 26.10.2023)

**VI Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

207-7

17-23 ноября 2023 года

6. Амброзевич А. С., Сибатов Р. Т., Учайкин В. В., Морозова Е. В. «Экспериментальные исследования токов заряда-разряда в суперконденсаторах» [Электронный ресурс] – режим доступа:

<https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-tokov-zaryada-razryada-v-superkondensatorah?ysclid=lo74jx0zzu816791709> (дата обращения 27.10.2023)

7. Писарева Т. А. «Изготовление электродов суперконденсаторов с использованием технологии короткоимпульсной лазерной обработки» [Электронный ресурс] – режим доступа:

<http://dn.tstu.ru/images/science/diss/2017/Писарева/>
[Диссертация_Писаревой_Т.А.pdf](#) (дата обращения 27.10.2023)

Информация об авторах:

Каченков Алексей Константинович, студент гр. ЭПб-221, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, alekseykachenkov@gmail.com

Черникова Татьяна Макаровна, д.т.н., профессор, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, chtm.oe@kuzstu.ru