

СУПЕРКОНДЕНСАТОР В КАЧЕСТВЕ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Василевич В.П., Грицкевич В.С., Космач В.В, Беляев А.В., Збышинская М.Е.,
Ермаков А.И.

Потребность современной техники в надежных и долговечных накопителях энергии привела к появлению нового класса устройств – суперконденсаторов (СК). Электрохимические двухслойные суперконденсаторы занимают промежуточную нишу между аккумуляторами, способными запасать высокую электрическую энергию, и диэлектрическими конденсаторами, способными отдавать высокую мощность в течение нескольких миллисекунд. Суперконденсаторы получили широкое применение в автомобилестроении, промышленности, бытовой электронике и начали рассматриваться как перспективные источники накопления энергии, которые смогут заменить или дополнить аккумуляторные батареи в фотоэлектрических (фотогальванических, PV) системах электропитания [1 – 6].

Целью настоящей работы является исследование возможности использования суперконденсатора в качестве накопителя энергии фототоэлектрического преобразователя взамен традиционных аккумуляторных батарей.

Суперконденсатор (ионистор) представляет собой две обкладки из активированного угля, залитые электролитом, общий вид структуры суперконденсатора вы можете увидеть на рисунке 1. Между ними расположена мембрана, которая пропускает электролит, но препятствует физическому перемещению частиц активированного угля между обкладками. В качестве высокодисперсного материала в суперконденсаторах альтернативно используется активированный уголь, с размерами частиц 1-50мкм, размерами активных пор 0,7 – 16нм и удельной поверхностью до 2500 кв.м/г. Кроме этих уникальных свойств, которые позволяют накапливать большое количество энергии, активированный уголь также имеет низкую стоимость, что практически лишает его конкурентов.

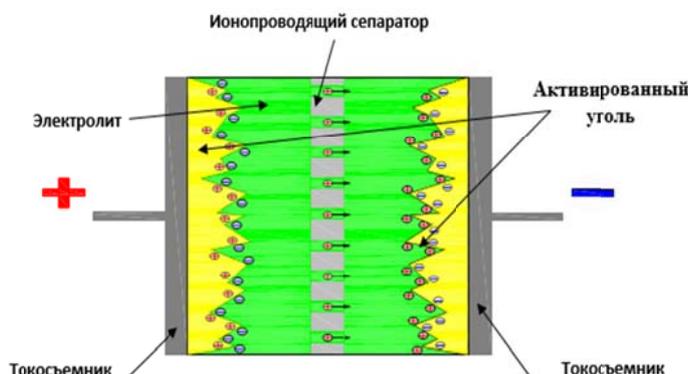


Рисунок 1 - Конструктивная схема суперконденсатора

Современные суперконденсаторы должны обладать: высоким ресурсом - порядка 700000 циклов заряда/разряда, что соответствует 5-20 годам работы в зависимости от степени нагрузки; малой себестоимостью при расчете на один цикл использования как

энергии; возможностью работать в критических условиях (высокая амплитуда токов, перепады напряжения, экстремальные температурные условия); экологичностью.

Максимальная емкость отдельного суперконденсатора, достигнутая на момент написания статьи, составляет 10000Ф. У массово выпускаемых суперконденсаторов она не превышает 3000Ф. Максимально допустимое напряжение между обкладками не превышает 10В. Для серийно выпускаемых суперконденсаторов этот показатель, как правило, лежит в пределах 2,3 – 5,5В. Суперконденсаторы способны выдержать сотни тысяч циклов заряда-разряда, что превосходит возможности аккумуляторов, по этому параметру, примерно в 100 раз.

Суперконденсаторы могут применяться в традиционной энергетике для сглаживания пиковых нагрузок в сети и подавления флуктуаций на дизель-генераторных установках. Особое значение имеет использование накопителей энергии в системе тягового энергоснабжения железных дорог и метрополитена, в инфраструктурных системах железнодорожного оборудования различного назначения, источниках аварийного силового электроснабжения. Еще более массовое применение СК должны найти в автотранспорте. Создание систем на основе аккумулятор – суперконденсатор, которые позволят сгладить пиковые нагрузки, увеличить низкий ресурс аккумуляторов и рекуперировать энергию торможения. Отдельной задачей является гарантированный запуск двигателя при низких температурах, а также реализация системы старт-стоп. Перспективным направлением является их применение в тандеме с возобновляемыми источниками энергии, например, с автономными фотоэлектрическими системами: для нивелирования импульсных нагрузок, суточных и сезонных неравномерностей генерации.

Мощность и доступность солнечной энергии делает привлекательными системы, которые преобразуют эту энергию в электричество с помощью фотоэлектрических модулей, накапливая её в аккумуляторных батареях. Однако данные батареи имеют существенные недостатки: большой вес, сравнительно малое количество циклов зарядки, подверженность “эффекту памяти”, низкая скорость накопления и отдачи энергии. Большинство проблем можно решить используя суперконденсаторы.

Суперконденсаторы накапливают энергию в момент максимальной производительности устройств, генерирующих электрическую энергию. Солнечная батарея обеспечивает максимальный световой выход при температуре её поверхности +25...+30°C. В солнечную погоду неизбежен нагрев всей поверхности модуля, и при температуре выше +60°C КПД батареи значительно снижается. В случае блоков из батарей, суперконденсаторы как нельзя лучше подходят для накопления энергии в момент максимальной эффективности солнечных батарей и сглаживания пиковой нагрузки [1–3].

На рисунке 2 изображена эквивалентная схема накопления энергии в фотоэлектрической установке с помощью суперконденсаторов.

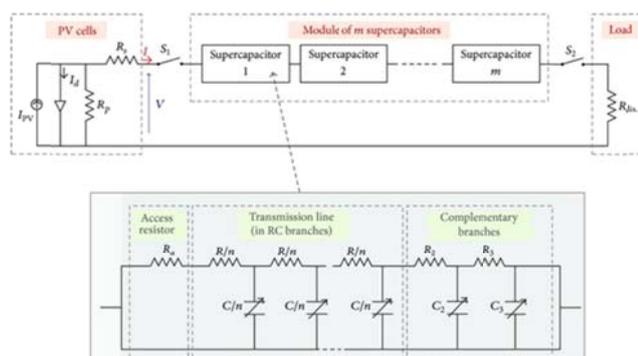


Рисунок 2 - Эквивалентная схема хранения энергии в фотоэлектрической установке с помощью суперконденсаторов

На рисунке 3 приведена схема простого и эффективного зарядного устройства, применимого в тех случаях, когда напряжение холостого хода солнечной батареи не выходит за границы, допустимые для суперконденсатора. Диод предохраняет суперконденсатор от разряда через солнечную батарею в темное время суток. Если напряжение холостого хода источника энергии превышает рабочее напряжение суперконденсатора, то для его защиты потребуется шунтовой регулятор напряжения.

В изображенной на рисунке 3 схеме в начальный момент времени напряжение на суперконденсаторе равно 0В, вследствие чего солнечная батарея закорочена. По мере заряда суперконденсатора ток уменьшается в соответствии с вольтамперной характеристикой фотогальванического элемента. Суперконденсатор всегда заряжается до максимально возможного уровня, так как забирает самый большой ток, который только способен отдать источник.



Рисунок 3 – Схема зарядного устройства суперконденсатора

После зарядки суперконденсатора ток утечки постепенно (по мере того как ионы диффундируют в поры угольного электрода) снижается, стремясь к равновесному значению, зависящему от емкости, напряжения и времени. Ток утечки пропорционален емкости элемента и в установившемся режиме подчиняется эмпирическому правилу, согласно которому при комнатной температуре он составляет 1 мкА/Ф . Таким образом, для того, чтобы началась зарядка полностью разряженных суперконденсаторов требуется определенный минимальный ток в диапазоне от 5 до 50 мкА [4 – 6].

Экспериментальные исследования

Для исследования зарядно-разрядных характеристик суперконденсаторов нами был разработан лабораторный макет, схема которого соответствует рисунку 3.

Лабораторный макет включает в себя блок из 20шт. параллельно соединенных суперконденсаторов, каждый из которых имеет емкость 2Ф и напряжение 5,5В. Общая емкость блока составила 40Ф, а его рабочее напряжение – 5.5В (см. рис.4).



Рисунок 4 – Блок суперконденсаторов емкостью 40Ф

В схеме в качестве фотогальванического элемента использовался экспериментальный солнечный модуль, собранный из 9 последовательно-соединенных солнечных элементов, диаметром 100мм на основе монокристаллического кремния (см. рис.5). Напряжение холостого хода модуля в стандартных условиях (1Sun, AM1,5) составляло 5,21В, т.е. было на 0,3В ниже максимально допустимого напряжения блока суперконденсаторов. Ток короткого замыкания модуля – 2,03А.



Рисунок 5 – Экспериментальный солнечный модуль

В качестве блокирующего диода, предотвращающего разряд суперконденсатора через солнечный модуль, использовался диод Шоттки типа КАШ2968АС0106 производства НПО "Интеграл", применяющийся в импульсных источниках питания и преобразователях напряжения. Диод Шоттки имеет низкое значение напряжения прямого включения (0,3В при токе 3А), рисунок 6.



Рисунок 6 – Блокирующий диод Шоттки

Количество запасённой энергии в суперконденсаторе зависит от ёмкости и от напряжения заряда, и определяется по формуле:

$$E = \frac{CU^2}{2}, \quad (1)$$

где C – ёмкость; U – напряжение заряда; E – запасённая энергия.

Так как ёмкость $C = 40\text{Ф}$ и максимальное напряжение заряда $U = 5,5\text{В}$, предельное количество запасённой энергии в блоке суперконденсаторов может достигать:

$$E = \frac{40 \cdot 5,5^2}{2} = \frac{40 \cdot 30,25}{2} = 605\text{Дж}$$

Эксперименты по снятию зарядной и разрядной характеристик суперконденсаторов проводились в 2 этапа. На первом этапе производился заряд суперконденсаторов. На втором – их разряд через резистивную и индуктивную нагрузки: лампочку накаливания и электродвигатель постоянного тока соответственно.

Эксперименты по накоплению заряда проводились в натуральных условиях на дворовой территории БГУИР в солнечное безоблачное время, рисунок 7.

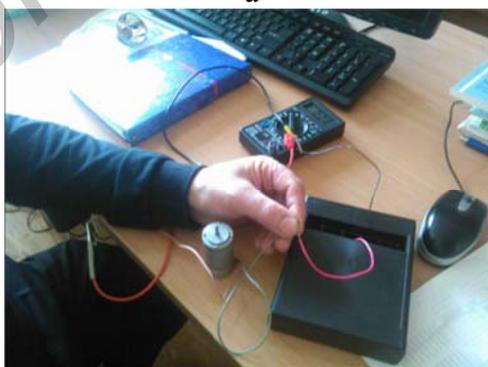


Рисунок 7 – Эксперимент по снятию зарядной характеристики суперконденсаторов в натуральных условиях

Эксперименты по разрядке блока суперконденсаторов изображены на рисунке 8.



а



б

Рисунок 8 – Эксперименты по снятию разрядных характеристик суперконденсаторов
а – разряд через активную нагрузку; б – разряд через индуктивную нагрузку

По результатам экспериментов построены зарядная и разрядные характеристики блока суперконденсаторов, изображенные на рисунке 9.

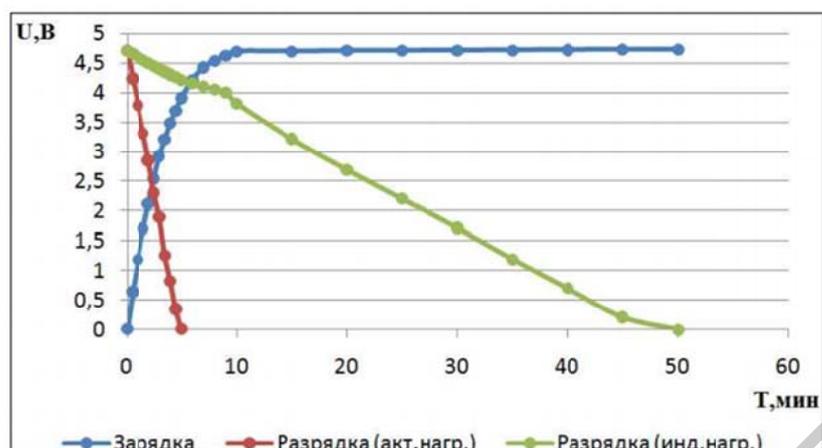


Рисунок 9. Экспериментальные зарядная и разрядные характеристики блока суперконденсаторов

Заключение

В результате анализа полученных результатов установлено: суперконденсаторы, как устройства ускоренного накопления энергии в фотоэлектрических установках, могут успешно использоваться в дополнение к аккумуляторным батареям. Данный накопитель легко переносит импульсные нагрузки (в нашем случае пусковой ток электродвигателя), суточные и сезонные неравномерности генерации электроэнергии из-за быстрой зарядки суперконденсаторов, в отличие от классических аккумуляторных батарей. Однако, на данный момент, параметры суперконденсаторов, такие как значительный ток утечки и низкая по сравнению с аккумулятором величина запасаемой энергии, не позволяют использовать суперконденсаторы самостоятельно, в качестве полноценной замены аккумуляторных батарей.

Список использованных источников:

1. K.Denshchikov, Doświadczenia z eksploatacji superkondensatorów w środkach transportu, International Seminarium: Superkondensatory w transporcie powierzchniowym, Instytut Elektrotechniki, Wrocław, Poland, Apr. 2010
2. P. Thounthong, V. Chunkag, P. Sethakul, S. Sikkabut, S. Pierfederici, and B. Davat, "Energy management of fuel cell/solar cell/supercapacitor hybrid power source," Journal of Power Sources, vol. 196, no. 1, pp. 313–324, 2011.
3. J. Kelleher and J. V. Ringwood, "A computational tool for evaluating the economics of solar and wind microgeneration of electricity," Energy, vol. 34, no. 4, pp. 401–409, 2009.
4. P. Thounthong, V. Chunkag, P. Sethakul, S. Sikkabut, S. Pierfederici, and B. Davat, "Energy management of fuel cell/solar cell/supercapacitor hybrid power source," Journal of Power Sources, vol. 196, no. 1, pp. 313–324, 2011.
5. J. Kelleher and J. V. Ringwood, "A computational tool for evaluating the economics of solar and wind microgeneration of electricity," Energy, vol. 34, no. 4, pp. 401–409, 2009.
6. P.Mars, "Подключение ионисторов к устройствам сбора энергии", Журнал Радиолоцман, No. 8, с 51-57, 2012.