

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК _____

Грицкевич
Вадим Сергеевич

Исследование аккумулирующих свойств суперконденсаторов в составе
фотоэлектрических систем

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 02 «Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Научный руководитель
Василевич Владимир Павлович
профессор кафедры ЭТТ
профессор; кандидат технических наук

Минск 2016

ВВЕДЕНИЕ

Использование систем накопления энергии на базе суперконденсаторов нового поколения кроме энергосбережения, позволяет также решить ряд насущных задач при накоплении энергии:

- возможность накопления большого количества энергии за короткий промежуток времени;
- долговечность и надежность систем накопления энергии;
- отсутствие каких-либо химических реакций, т.е. экологическая безопасность.

На данный момент, суперконденсаторы постепенно улучшают свои характеристики, что позволяет использовать их в различных устройствах. Очень перспективным направлением использования суперконденсаторов является солнечная энергетика. суперконденсаторы могут быстро накапливать и высвобождать энергию и прослужить сотню тысяч циклов, что делает их привлекательными для использования в фотоэлектрических системах.

В данной диссертации будет разработана лабораторная фотоэлектрическая установка с емкостным накопителем и будут рассмотрены перспективы использования суперконденсаторов как систем накопления энергии на основе полученных экспериментальных данных.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Цель работы:

Целью диссертации является разработка лабораторного макета фотоэлектрической установки с емкостным накопителем энергии, состоящим из батареи суперконденсаторов.

Положения, выносимые на защиту:

Сравнительный анализ преимуществ использования суперконденсаторов перед аккумуляторными батареями, возможность замены аккумуляторных батарей в различных системах;

Результаты исследования различных способов подключения суперконденсаторов для работы с фотоэлектрическими системами;

Создание лабораторного макета фотоэлектрической установки с емкостным накопителем энергии и анализ полученных результатов.

Апробация результатов диссертации

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы были представлены в следующей научной конференции: 52 научно-техническая конференция студентов и магистрантов БГУИР: Тезисы докладов – Минск, 2016 и в статье в научном журнале

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения, библиографического списка. Объем магистерской диссертации составляет 79 страниц, включая 41 иллюстрацию, 4 таблицы, библиографический список из 43 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Первая глава диссертационной работы имеет обзорный характер. Рассматриваются автономные фотоэлектрические системы, их основные узлы и перспективные направления использования суперконденсаторов в различных системах.

Автономные фотоэлектрические системы используются там, где нет сетей централизованного электроснабжения. Для обеспечения энергией в темное время суток или в периоды без яркого солнечного света необходима аккумуляторная батарея. АФС часто используются для электроснабжения отдельных домов. Малые системы позволяют питать базовую нагрузку (освещение и иногда телевизор или радио). Более мощные системы могут также питать водяной насос, радиостанцию, холодильник, электроинструмент и т. п. Система состоит из солнечной панели, контроллера, аккумуляторной батареи, кабелей, электрической нагрузки и поддерживающей структуры. Автономные системы предназначены для электроснабжения передвижных объектов или объектов, удаленных от основных линий электропередач (в труднодоступных местах, куда затруднена или экономически невыгодна прокладка линий).

Аккумуляторы в фотоэлектрических системах обязаны удовлетворять ряду требований: большая цикличность (количество выдерживаемых циклов заряда/разряда), малый саморазряд, по возможности большой зарядный ток (для гибридных систем с жидкотопливными генераторами), широкий диапазон рабочих температур, а также минимальное обслуживание. С учетом этих требований для различных систем электроснабжения созданы аккумуляторы глубокого разряда. Для солнечных систем существует их модификация solar. Такие АКБ имеют огромный ресурс при циклической работе. Наиболее популярны в настоящее время свинцово-кислотные аккумуляторы. Контроллеры заряда-разряда (КЗР) аккумуляторных батарей (АКБ) в солнечных фотоэлектрических установках (СФЭУ) контролируют уровни заряда и разряда (State of charge (SOC) и depth of discharge (DoD)) АКБ и при необходимости

отключают или переподключают солнечную батарею (СБ) и нагрузку. КЗР в первую очередь необходимы для оптимизации и регулировки режимов заряда/разряда АКБ с целью продления их срока службы.

Особенно перспективным представляется использование суперконденсаторных систем накопления энергии в возобновляемых системах получения электроэнергии на базе водородных топливных элементов и металловоздушных батарей в качестве практически безальтернативного буферного устройства, обеспечивающего пиковые нагрузки потребителей.

Во второй главе рассмотрены различные типы суперконденсаторов, их структура и обоснован выбор определенной модели, которая будет использоваться в дальнейшем исследовании. Также рассмотрены типы электродов и их влияние на характеристики суперконденсаторов.

Электрохимические конденсаторы, накапливающие заряд на двойном электрическом слое или суперконденсаторы отличаются от обычных конденсаторов уровнем электрической емкости: максимальная емкость обычных конденсаторов составляет сотни микрофарад, а максимальная емкость суперконденсаторов достигает тысяч фарад, то есть на шесть порядков больше. техническая реализация суперконденсатора представляет собой элементарную ячейку (элементарный суперконденсатор), состоящую из двух последовательно соединенных суперконденсаторов, причем соединение происходит по электрическим слоям в электролите, а заряд снимается с электрических слоев в углеродном пористом материале.

В качестве высокодисперсного материала в суперконденсаторах безальтернативно используется активированный уголь с размерами частиц 1-50 мкм, размерами активных пор 0,7-16 нм и удельной поверхностью до 2500 кв.м/г. Кроме этих уникальных свойств активированный уголь еще и очень дешев, что практически лишает его всяких конкурентов.

Сравнение основных характеристик устройств накопления энергии вы можете увидеть на рисунке 1.

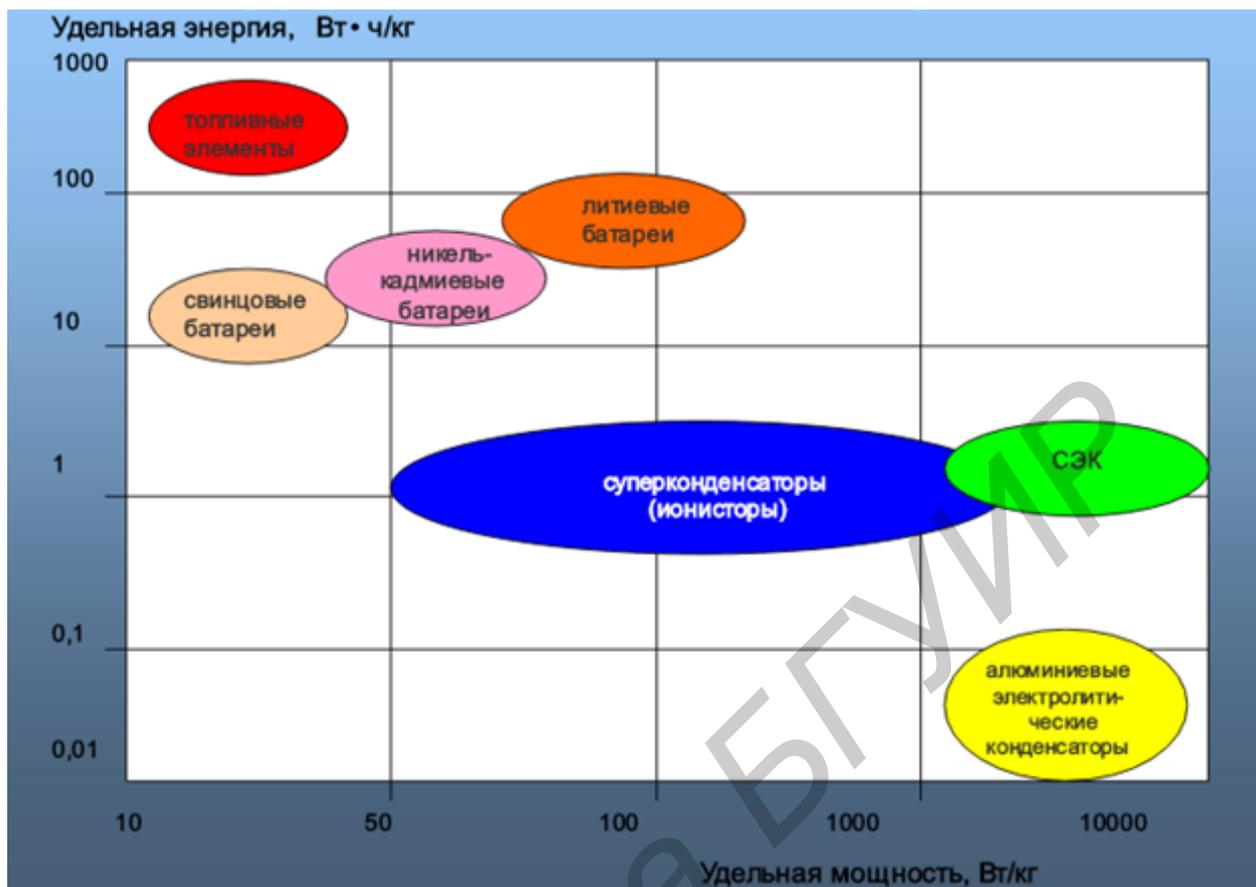


Рисунок 1 – Сравнение плотности мощности и энергии суперконденсаторов, электролитических конденсаторов и батарей разных типов

Солнечная батарея обеспечивает максимальный световой выход при температуре её поверхности $+25...+30^{\circ}\text{C}$. В солнечную погоду, неизбежен нагрев всей поверхности модуля, и при температуре выше $+60^{\circ}\text{C}$ КПД батареи значительно снижается. В данном случае блоки из суперконденсаторов, как нельзя лучше подходят для накопления энергии в момент максимальной эффективности солнечной батареи и сглаживания пиковой нагрузки. Процесс заряда суперконденсатора малым током является оптимальным при времени заряда 24 ч и более. Время заряда не оказывает решающего влияния на саморазряд ионистора, поскольку внутреннее сопротивление суперконденсатора, в данном случае, изменяется лишь за счёт сопротивления перераспределённых ионов электрическому току. Т.к. суперконденсаторы в исследовании будут использоваться для накопления и хранения энергии, то в

нашем случае целесообразно использовать тот тип суперконденсаторов, который позволяет хранить энергию максимально продолжительное время. Для данного эксперимента будет использована батарея суперконденсаторов таблеточного типа, состоящая из 20 единиц, соединенных параллельно и имеющих емкость в 2Ф и напряжение в 5.5В.

В третьей главе рассмотрены различные конструкции ФЭС с системой накопления энергии в виде батареи суперконденсаторов. Разработано 2 типа данных систем – без шунтового регулятора напряжения и с ним. Описано создание лабораторного макета, на основе схемы без шунтового регулятора напряжения, проведен эксперимент и получены данные, на основании которых, сделаны выводы о целесообразности использования емкостного накопителя энергии в ФЭС.

На Рисунке 2 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.

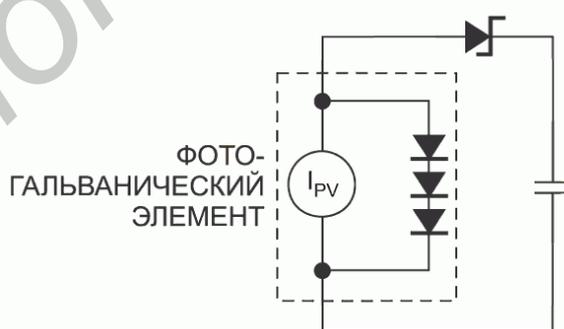


Рисунок 2 - схема заряда при напряжении холостого хода солнечной батареи не превышающего допустимого напряжения суперконденсатора

Если напряжение холостого хода источника энергии превышает рабочее напряжение суперконденсатора, для его защиты потребуется шунтовой

регулятор напряжения. Шунтовой (параллельный) регулятор – самый простой и дешевый способ защиты суперконденсатора от перегрузки по току. После того, как суперконденсатор зарядится, энергия источника становится ненужной, и регулятор просто рассеивает ее в виде тепла.

В результате проведенных исследований в рамках магистерской диссертации, был разработан лабораторный макет емкостного накопителя энергии в фотоэлектрической системе (Рисунок 3). За основу была взята фотоэлектрическая система без шунтового регулятора напряжения, т.к. при правильном подборе параметров фотоэлектрической установки и блока суперконденсаторов – результаты будут аналогичны, а данная система имеет меньшее количество элементов.



Рисунок 3 – Емкостной накопитель энергии в фотоэлектрической системе

Чтобы защитить солнечные элементы от различных атмосферных воздействий и получить существенную мощность, их собирают в модули. Каждый элемент вырабатывает примерно 0.5 В. Для увеличения напряжения

сборки элементы соединяют последовательно при помощи специальных плоских медных проводников, гальванически покрытых слоем серебра.

Чтобы предотвратить разряд суперконденсаторов от разряда через солнечный модуль (например, в ночное время суток, когда модуль не заряжается от солнца) использовался диод Шоттки КАШ2968АС 0106 (производства НПО "Интеграл", используется для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения).

Лабораторная установка включает в себя батарею суперконденсаторов, состоящую из 20 единиц, соединенных параллельно и имеющих емкость в 2Ф и напряжение в 5.5В. Т.к. нами была использована схема зарядки суперконденсаторов без регулятора напряжения, то фотоэлектрический преобразователь, использованный в данном макете, имеет выходное напряжение 4,5В.

Эксперименты проводились в 2 этапа. На первом этапе производился заряд суперконденсаторов. На втором - их разряд: разряд через криптоновую лампочку (активная нагрузка) и разряд через двигатель (индуктивная нагрузка).

Таблица 2 – Зависимость напряжения от времени при зарядке

T,сек	1	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
U,В	0,02	1,19	2,12	2,93	3,49	3,91	4,22	4,43	4,54	4,63	4,7

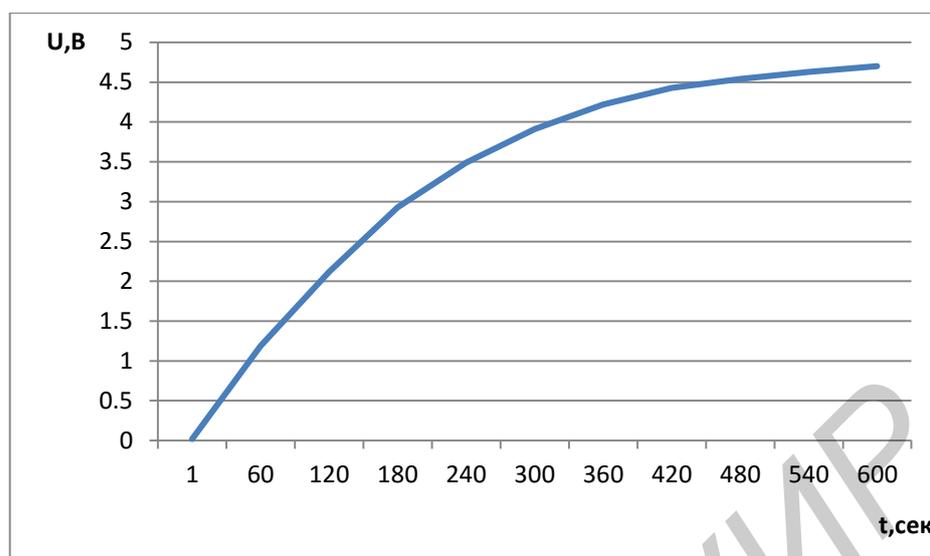


Рисунок 4 – Зарядная характеристика лабораторного макета

Таблица 3 – Зависимость напряжения от времени при активной нагрузке (разрядке)

T,сек	1	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
U,В	4,7	4,23	3,78	3,31	2,85	2,3	1,89	1,26	0,83	0,35	0,03

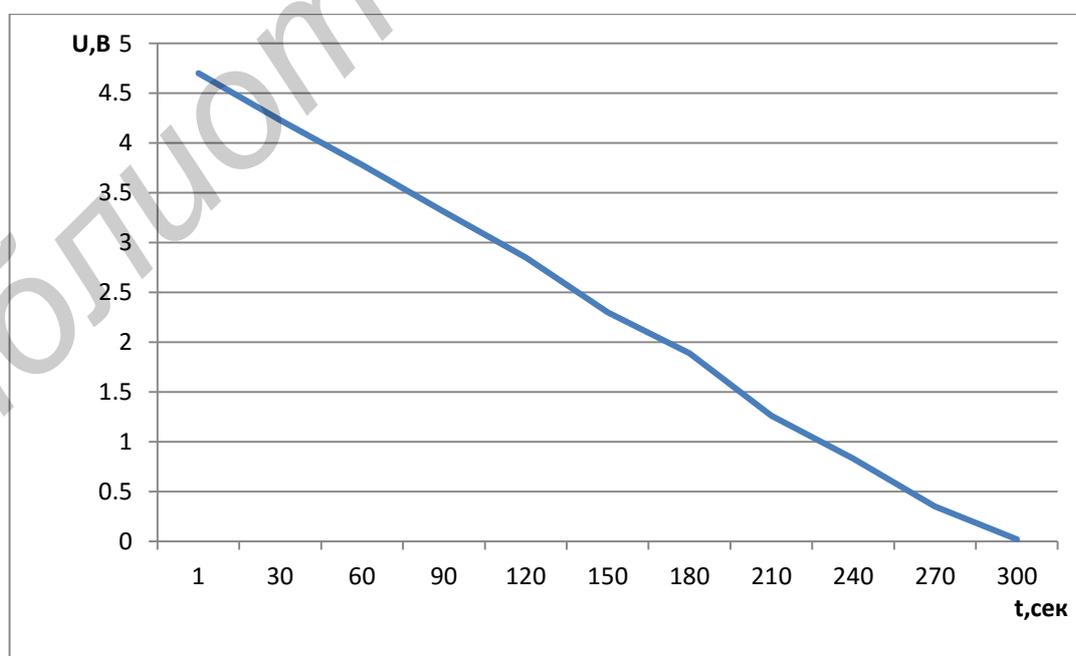


Рисунок 5 – Разрядная характеристика лабораторного макета при активной нагрузке

Таблица 4 – Зависимость напряжения от времени при индуктивной нагрузке (разрядке)

T,сек	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
U,В	4,72	4,20	3,71	3,21	2,69	2,20	1,71	1,19	0,70	0,22	0

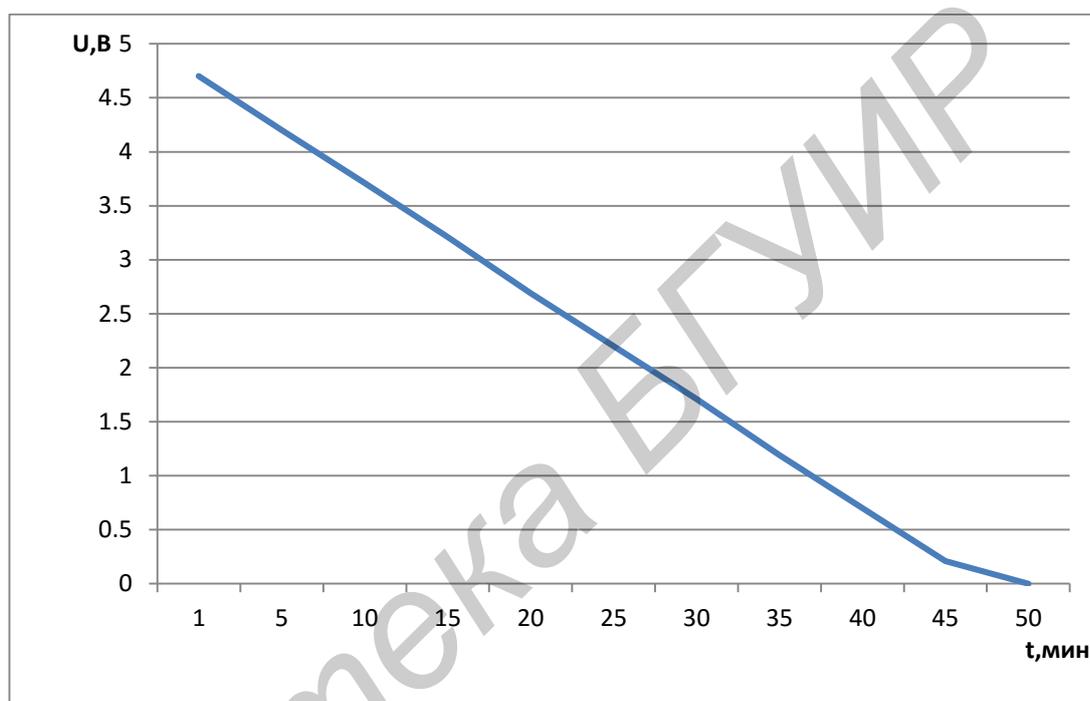


Рисунок 6 – Разрядная характеристика лабораторного макета при индуктивной нагрузке

На основании полученных данных, можно сделать вывод, что суперконденсаторы могут успешно применяться как аналог аккумуляторных батарей при условии отсутствия необходимости длительного хранения энергии и длительных перерывов в работе фотоэлектрической установки. Также система суперконденсатор+фотоэлектрический преобразователь может использоваться с большой эффективностью в различных автономных устройствах, к примеру, в качестве зарядки мобильного телефона, или таких как уличное освещение, электронное расписание автобусов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании была разработана фотоэлектрическая установка с системой накопления энергии в виде батареи, состоящей из суперконденсаторов. Данная модель была испытана в реальных условиях, которые позволяют оценить количество падающего излучения, скорость накопления энергии суперконденсаторами, их время разрядки и время, за которое суперконденсаторы потеряют 50% своего заряда.

Также был затронут вопрос о создании гибридных устройств хранения энергии, в которых сопряжены суперконденсаторы и аккумуляторные батареи. Данные системы позволяют нивелировать недостатки как одних, так и других и создать систему, которая по своим свойствам будет выгодно отличаться от систем с одним типом батарей. Суперконденсаторы позволяют сохранять и накапливать максимальное количество энергии в пиковые часы, когда излучение солнца максимально, а также позволяют сократить количество циклов зарядки/разрядки для аккумуляторных батарей, что увеличит их срок службы, а батареи позволят сохранять энергию на долгое время без больших потерь.

Разработанный макет позволяет сделать выводы о том, что суперконденсаторы, как альтернатива аккумуляторным батареям, уже способны составить конкуренцию. Нами были проведены измерения время зарядки, разрядки при разных типах нагрузки, время, необходимое для саморазряда суперконденсатора на половину емкости. В данном случае была использована схема зарядки без использования шунтового регулятора, однако в качестве продолжения данного исследования, была разработана принципиальная схема устройства накопления энергии в составе фотоэлектрической системы с автоматическим регулятором мощности, который позволит упростить подбор суперконденсаторов для данной системы и позволит после того, как суперконденсатор зарядится, рассеять энергию в виде тепла.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Грицкевич В.С. Емкостной накопитель энергии в фотоэлектрическом преобразователе. / В. С. Грицкевич, В. В. Космач В.В. // 52 научно-техническая конференция студентов и магистрантов БГУИР: Тезисы докладов – Минск, 2016.
2. Грицкевич В.С. Supercapacitors and usage in applications. / В. С. Грицкевич // 52 научно-техническая конференция студентов и магистрантов БГУИР: Тезисы докладов – Минск, 2016.
3. Проблемы, компромиссы и тенденции в проектировании систем светодиодного освещения. Труды II Российско-Белорусской научно-технической конференции «Элементная база отечественной радиоэлектроники: импортозамещение и применение» им. О. В. Лосева / А. П. Достанко [и др.]; под общ. ред. А. Э. Рассадина. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2015. С. 298-303