

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

УДК 621.382

Дятлов
Евгений Кириллович

Автономная фотоэлектрическая система с аккумуляторно-емкостным накоплением энергии

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-38 80 02 «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы»

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

Минск 2020

ВВЕДЕНИЕ

В Европейском энергообъединении мощность возобновляемых источников энергии (в основном солнечных и ветряных энергосистем) должна к концу 2020 году достигнуть 20% суммарной генерации. В 2017 году суммарная установленная мощность Европейском энергообъединения составила 1 136 795 МВт, а суммарное потребление электроэнергии - 3597 ТВт·ч. [1]

Выработка энергии солнечными и ветряными электростанциями носит нестабильный, вероятностный характер и зависит от погодных условий, времени суток, сезона, силы ветра. Непостоянный характер генерации вызывает необходимость поиска технических решений, которые позволили бы превратить нестабильную генерацию в генерацию с постоянной выдачей мощности.

Одним из таких возможных решений служит применение накопителей электроэнергии, создание технических комплексов, например, солнечная электростанция-накопитель, позволяющих исключить резкопеременный характер генерации и оптимизировать управление потоками мощности от возобновляемых источников.

Применение накопителей электрической энергии даже в традиционных электроэнергетических системах открывает новые возможности повышения качества управления режимами и улучшения экономических показателей функционирования энергетических систем. Несмотря на высокую стоимость, накопители энергии начинают применяться для регулирования как установившихся, так и переходных режимов. В феврале 2018 года Федеральная комиссия по регулированию в энергетике США (FERC) приняла решение, в соответствии с которым электроэнергетика, ориентированная на традиционную генерацию, должна быть пересмотрена с учетом внедрения накопителей энергии.[1]

В то время как в традиционной энергетике в качестве накопителей с успехом применимы, например, гидроаккумулирующие электрические станции (ГАЭС), в солнечных электростанциях, известных в электронных технологиях как фотоэлектрические системы, применяются накопители на основе электрохимических аккумуляторов.

Известно большое количество типов аккумуляторов, которое постоянно увеличивается. Наиболее известны свинцово-кислотные, никель-кадмиевые (NiCad), литий-ионные (Li-ion), натрий-серные (Na/S), бромцинковые (Zn/Br), ванадиевые, никель-металлгидридные.

Накопители на базе литий-ионных аккумуляторов, по всей видимости, получат в будущем наиболее широкое применение в электроэнергетических системах, хотя пока еще уступают свинцово-кислотным. Прогнозируется

увеличение рынка литий-ионных батарей с 5,5 млрд. долларов США в 2007 году до 35 млрд. долларов в 2025 году. Примером может служить накопитель, установленная мощность которого 100 МВт и емкость 129 МВт·ч, который вступил в строй 1 декабря 2017 года в Австралии. С такой ёмкостью литий-ионных аккумуляторов Hornsdale Power Reserve в настоящее время является крупнейшим в мире накопителем.

Ёмкостные накопители на основе ионисторов (суперконденсаторов) находятся в стадии исследования и разработки. Они запасают электрическую энергию в виде электростатического заряда. Исследователи в США и Австралии создали на базе графена сверхъёмкий суперконденсатор, способный запастись столько же удельной энергии, сколько хранится в литий-ионных аккумуляторных батареях. Главное преимущество предложенного устройства состоит в том, что заряжаться и разряжаться оно может за считанные минуты. Разработчики утверждают, что графеновые суперконденсаторы — это революционный прорыв в области накопления энергии[1].

Весьма важными и актуальными представляются научные исследования гибридных аккумуляторно-ёмкостных накопителей, в том числе и для применения в фотоэлектрических системах. И хотя в этих приложениях еще много нерешенных проблем, особенно в области схемотехники управления и контроля, можно сформулировать следующие ожидаемые преимущества гибридных накопителей:

1) увеличение ресурса работы накопителя за счет снижения величин пиковых нагрузок на аккумуляторную батарею за счет оптимального перераспределения мощности между аккумуляторной и ёмкостной частями накопителя и возможности отказаться от использования аккумулятора в режиме подавления кратковременных возмущений (используется только ёмкость), что повышает ресурс аккумуляторов;

2) возможность в несколько раз увеличить кратковременную мощность накопителя в аварийных режимах работы сети и при пиковых нагрузках без уменьшения общего ресурса работы накопителя;

3) использование оптимальных систем управления и контроля обеспечивают функциональную гибкость устройства и его использование для решения всего спектра задач, связанных с накоплением энергии, в т.ч. при работе в составе интеллектуальных электрических сетей[1].

Целью диссертационной работы является схемотехнический анализ вариантов гибридного аккумуляторно-ёмкостного накопителя энергии с целью его оптимизации в составе автономной фотоэлектрической системы(ФЭС).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В последнее время в области фотоэлектрических систем используются литий-ионные аккумуляторы. Они имеют множество преимуществ: малый саморазряд, повышенный срок службы при малых размерах, высокую возможность приема высокого тока. Недостатком этих аккумуляторов является высокий перегрев при больших токах, что может вызвать воспламенение и взрыв. Данный недостаток может быть устранен с помощью аккумуляторно-емкостного накопления на основе суперконденсаторов. Это обеспечивает работу потребителя энергии в переходном режиме максимальных нагрузок. В связи с этим, тема диссертации представляется актуальной

Цель и задачи исследования

Целью данного магистерской диссертации является разработка автономной фотоэлектрической системы с аккумуляторно – емкостным накоплением энергии на основе литий-ионного АКБ и суперконденсатора(ионистора).

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проанализировать существующие аккумуляторные, емкостные и гибридные накопители энергии, совместимые с фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП);
2. Выбрать и обосновать схемно-конструктивное решение лабораторного макета ФЭС с аккумуляторно-емкостным накоплением энергии, выполнить необходимые расчеты и моделирование;
3. Изготовить лабораторный макет и провести его натурные испытания в условиях солнечной радиации;
4. Определить конкурентные преимущества на основе исследования автономной фотоэлектрической системы с аккумуляторно-емкостным накоплением энергии.

Объектом исследования является автономная фотоэлектрическая система энергообеспечения.

Предметом исследования является аккумуляторно-емкостной накопитель энергии в составе ФЭС.

Область исследования содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-36 80 02 «Оптические и оптоэлектронные приборы и комплексы».

Научная новизна полученных результатов обусловлена оригинальностью предложенных концептуальных технических решений для эффективного накопления и потребления электроэнергии, полученной через альтернативные источники.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Физические модели аккумуляции и потребления энергии в системах емкостного, аккумуляторного, и гибридного накопления, а также схематические решения для эффективного заряда и защиты данных систем.

2. Разработанный макет автономной фотоэлектрической системы на базе аккумуляторно-ёмкостного накопления энергии. Разработанная модель позволяет экспериментально проверить преимущества и недостатки аккумуляторно-емкостного накопления при различных режимах работы.

Теоретическая значимость работы заключается в детальном анализе характеристик аккумуляторно-емкостного накопления, поведения модулей данной системы, преимуществах и недостатках использования данной системы для конечного потребителя.

Практическая значимость – получены сведения поведения системы при реальных условиях солнечного освещения.

Апробация диссертации и информации об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 55-й и 56-й научных конференциях студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР, международной научно-практической конференции «Техника и технологии: инновации и качество» 2018, БарГУ, Барановичи.

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 4 опубликованных работах, представленных в материалах международных научно-практических и научно-технических конференций. Общий объем публикаций 9 страниц.

Структура и объем работы.

Общий объем диссертационной работы составляет 71 страницу включая 36 иллюстраций, 1 таблицы, библиографический список из 30 наименований, список собственных публикаций соискателя из 4 наименований, 1 приложений.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние мировой солнечной энергетики, определены основные цели разработки приборов для измерения солнечной радиации, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы..

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** диссертационной работе представлены характеристики солнечного излучения, составляющие солнечной радиации на поверхности земли. На рисунке 1 схематически обозначена ФЭС.



Рисунок 1 – Автономная ФЭС, работающая на системе накопления энергии

Солнечные фотоэлектрические системы просты в обращении и не имеют движущихся механизмов, однако сами фотоэлементы содержат сложные полупроводниковые устройства, аналогичные используемым для производства интегральных схем. В основе действия фотоэлементов лежит физический принцип, при котором электрический ток возникает под воздействием света между двумя полупроводниками с различными электрическими свойствами, находящимися в контакте друг с другом. Совокупность таких элементов образует фотоэлектрическую панель, либо модуль. Фотоэлектрические модули, благодаря своим электрическим свойствам, вырабатывают постоянный, а не переменный

ток. Он используется во многих простых устройствах, питающихся от батарей. Переменный же ток, напротив, меняет свое направление через регулярные промежутки времени. В простейших системах постоянный ток фотоэлектрических модулей используется напрямую. Там же, где нужен переменный ток, к системе необходимо добавить инвертор, который преобразует постоянный ток в переменный.

Во второй главе описывается устройство литий-ионного аккумулятора, а также схемы заряда аккумулятора, его режимы заряда. На первом этапе должен обеспечиваться постоянный ток заряда. Величина тока составляет $0.2-0.5C$. Для ускоренного заряда допускается увеличение тока до $0.5-1.0C$ (где C - это емкость аккумулятора). Например, для аккумулятора емкостью 3000 мА/ч , номинальный ток заряда на первом этапе равен $600-1500 \text{ мА}$, а ток ускоренного заряда может лежать в пределах $1.5-3 \text{ А}$.

Второй этап заряда – это заряд аккумулятора постоянным напряжением, но постепенно снижающимся (падающим) током. На этом этапе ЗУ поддерживает на аккумуляторе напряжение $4.15-4.25$ вольта и контролирует значение тока.

На рисунке 2 обозначены этапы заряда литий-ионного аккумулятора.

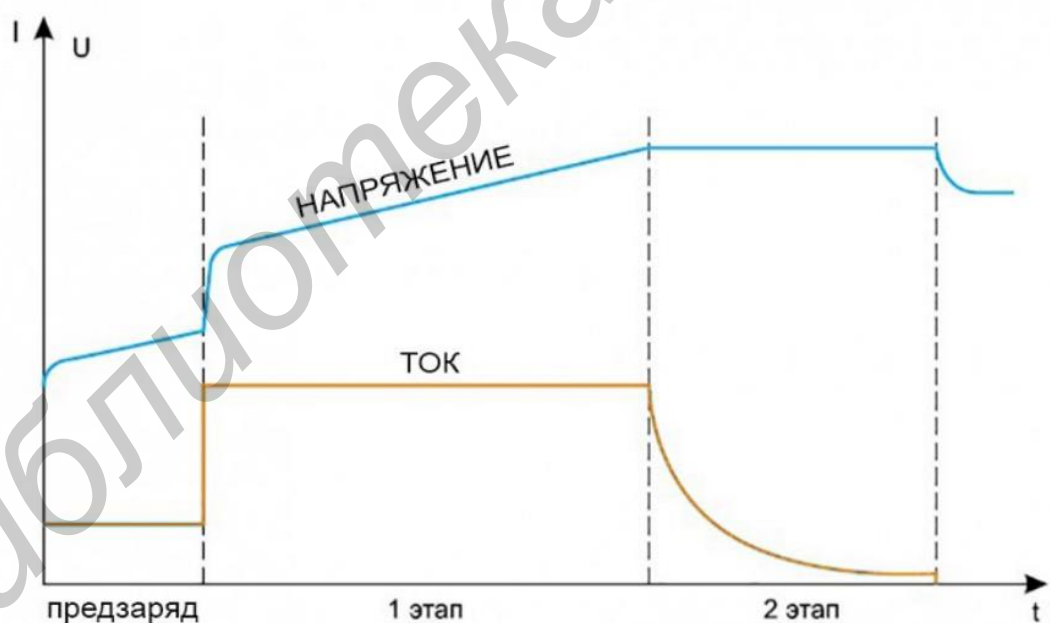


Рисунок 2– Этапы заряда литий-ионного аккумулятора

В третьей главе подробно описываются ионисторы, их физико-техническое обоснование при использовании в ФЭС, предлагается структурная схема гибридного аккумулятора.

На рисунке 3 обозначена схема структурная модуля аккумуляторно-емкостного накопления энергии.

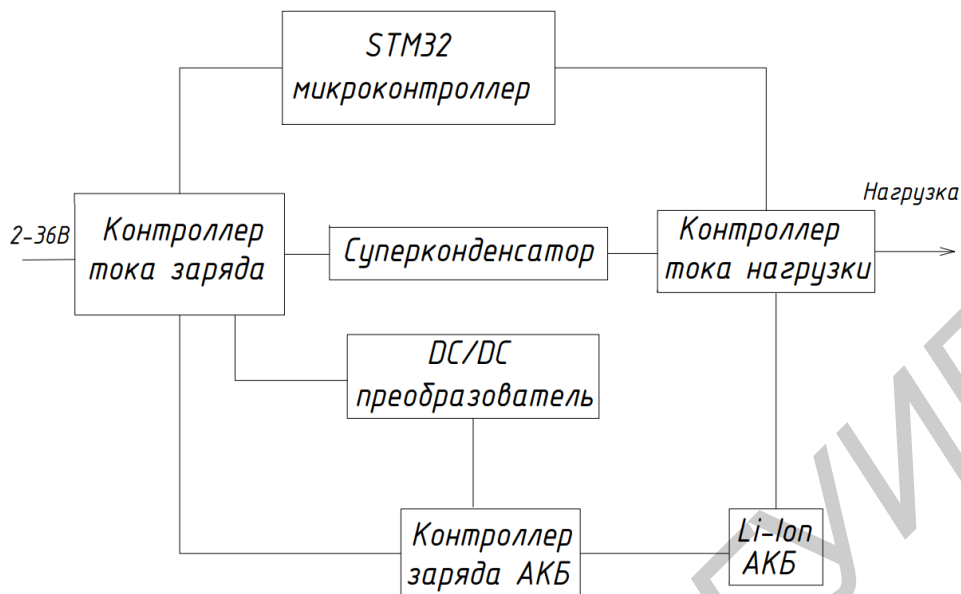


Рисунок 3– Структурная схема модуля аккумуляторно-емкостного накопления энергии

Алгоритм работы следующий:

1. Питание поступает на контроллер тока заряда. Напряжение до 5 вольт и сила тока до 1 ампера поступает на контроллер АКБ, а также на суперконденсатор. Контроллер тока присылает микроконтроллеру характеристики тока в реальном времени. Если характеристики тока превышают 5 вольт или 1 ампер, то микроконтроллер переключает контроллер тока заряда. Затем контроллер тока перестает подавать основной ток на контроллер заряда, а передает его на DC/DC преобразователь, который уже затем передает ток 5 вольт 1 ампер на аккумуляторную батарею. В обоих режимах контроллер тока заряда передает энергию на суперконденсатор.

2. В первом режиме нагрузки, питание потребителю идет через контроллер тока нагрузки с использованием литий-ионной батареи. Опять же, микроконтроллер фиксирует характеристики тока нагрузки в реальном времени. При превышении тока в 3.7 вольта и/или 1 ампер, микроконтроллер приводит контроллер тока нагрузки в режим повышенного тока, в котором питание идет от суперконденсатора. При возвращении тока к состоянию первого режима, микроконтроллер переводит ток контроллера нагрузки на потребление из аккумулятора.

В четвертой главе диссертационной работы описаны экспериментальные исследования лабораторных макетов.

На рисунке 4 обозначен макет ФЭС с гибридной системой накопления.



Рисунок 4– ФЭС с аккумуляторно-емкостной системой накопления

Эксперименты проводились в 3 этапа. На первом этапе производился заряд системы. На втором - их разряд: разряд через криптоновую лампочку (активная нагрузка) и разряд через двигатель (индуктивная нагрузка). На третьем – нами были проверены параметры утечки суперконденсаторов и литий-ионной батареи.

Эксперименты показали что:

1. Суперконденсатор постоянно потребляет ток, даже когда он на 100% заряжен, и от аккумулятора, и от ФЭС.
2. Аккумуляторы имеют очень низкий саморазряд, возможно стоит использовать их энергию для создания первоначальной емкости ионистора.
3. Как и было ранее сказано, при активном использовании высоких токов нагрузки аккумулятор начинает нагреваться, в отличие от суперконденсатора.
4. Суперконденсатор поглощает пиковые значения тока, увеличивая срок эксплуатации системы аккумулятор-суперконденсатор.
5. Плотность энергии суперконденсаторов в 5-10 раз меньше чем у литий-ионного аккумулятора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аккумуляторно-емкостной накопитель энергии является перспективным устройством для использования накопленной энергии. Данная система позволяет эффективно накапливать энергию для средних ФЭС (до 100 Ватт), а также эффективно использовать ее при присутствии пусковых токов, что позволяет увеличить срок использования литий-ионного аккумулятора.

Эксперименты показали, что суперконденсатор, в отличие от АКБ, не требует контроллера зарядки, он как бы проглатывает подаваемую на него энергию, однако при этом непременно должно выполняться условие превышения его допустимым напряжением напряжения холостого хода солнечной батареи в составе ФЭС. Способность суперконденсатора выдавать в нагрузку высокую мощность защищает АКБ от пиковых пусковых нагрузок, т.е. продлевает его срок эксплуатации.

Литий-ионный аккумулятор в составе гибридного накопителя требует при зарядке автоматического ограничения вначале по току, а на заключительной стадии – по напряжению, т.е. применения автоматического регулятора.

Указанные преимущества гибридного накопителя особенно востребованы в ФЭС средней и высокой мощности (более 100Вт).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1-А.] Василевич В. П., Фотоэлектрический преобразователь для мониторинга систем освещения/ Василевич В. П, Нгуен В.З., Дятлов Е. К.,// – Доклады БГУИР № 7 (117), С 144 – 147.

[2-А.] Василевич В. П., Использование аккумуляторно-емкостного накопления в фотоэлектрических системах/ Василевич В. П., Дятлов Е. К., Нгуен В. З.// Сборник МНПК «Техника и технологии: инновации и качество» 2018, БарГУ, Барановичи, Беларусь. С 110-111.

[3-А.] Дятлов Е.К., Аккумуляторно-емкостное накопление и потребление электроэнергии в фотоэлектрических системах // 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 22-26 апреля 2019 г., БГУИР, Минск, Беларусь: тезисы докладов. – Мн. – 2019. – 649 с.; ил. С 341–342.

[4-А.] Дятлов Е.К., Зарядные характеристики аккумуляторно-емкостного накопителя энергии фотоэлектрической системы // 56-я конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». 18-13 мая 2020 г., БГУИР, Минск, Беларусь: тезисы докладов. – Мн. – 2020. – 536 с.; ил. С 298-299.