

РАЗРАБОТКА НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Н.И. Смоленцев, Л.М. Четошникова, Ю.Л. Бондарев

Приводятся результаты разработки эскизной конструкторской документации экспериментального образца сверхпроводящего электрокинетического накопителя энергии (СПЭНЭ-1). Накопитель энергии предназначен для работы в составе локальных электрических сетей, электротранспорта и других областях. Работа выполнена в рамках Соглашения о предоставлении субсидии № 14.577.21.0069 от 05.06.2014 г. (RFMEFI57714X0069), заказчик - Министерство образования и науки Российской Федерации.

Ключевые слова: локальная электрическая сеть, накопитель энергии, альтернативный источник электроэнергии, интеллектуальная система управления.

В настоящее время все более широкое применение находят системы энергоснабжения с использованием солнечной энергии, энергии ветра, биогаза и других возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Использование таких источников энергии отвечает социальным и экологическим требованиям, способствует снижению ее себестоимости. Как правило, возобновляемые источники электрической энергии работают в составе автономных сетей, получивших название локальных электрических сетей (ЛЭС) [1–6].

Современная локальная электрическая сеть содержит, как правило, следующие основные элементы:

- альтернативный источник электроэнергии;
- накопитель электрической энергии;
- блок преобразования и управления режимами работы источника электроэнергии и накопителя энергии;
- систему интеллектуального управления.

Важным элементом ЛЭС является накопитель энергии [7]. Накопитель энергии выполняет следующие функции в локальной сети:

- повышает экономическую эффективность сети;
- выравнивает электрическую нагрузку при ее значительных колебаниях;
- служит резервным источником электропитания;
- служит средством коммерциализации энергетики.

Накопители энергии могут быть использованы не только в локальных электрических

сетях с альтернативными источниками энергии (ветроустановки, солнечные панели и т.д.), но также – в электротранспорте для повышения энергоэффективности силовых устройств (электропоездов, троллейбусов, гибридных силовых установок в автотранспорте и т.д.) [8].

Анализ известных технических решений накопителей энергии позволяет сделать следующие выводы [9]:

- наиболее перспективной конструкцией является накопитель энергии с применением пассивного самоцентрирующегося сверхпроводящего подвеса маховика-ротора. В качестве мотора-генератора целесообразно использовать синхронную электрическую машину с постоянными магнитами, а в качестве бесконтактной опоры ротора-маховика – магнитный подвес на основе постоянных магнитов и массивных сверхпроводников (ВТСП).

– применение подвеса данного типа исключает затраты энергии на поддержание вращающегося маховика в левитирующем положении, а использование синхронной электрической машины с постоянными магнитами и ферромагнитным статором делает конструкцию мотора - генератора компактной. Такая конструкция уменьшает потери на перемагничивание в режиме хранения энергии и исключает энергозатраты на создание магнитного поля возбуждения.

– применение бесконтактных магнитных ВТСП подвесов в кинетических накопителях энергии в вакууме существенно уменьшает механические потери за счет сил трения и увеличивает время хранения запасенной кинетической энергии до нескольких лет.

Таким образом, на основании приведенного анализа, данная конструкция накопителя энергии выбрана в качестве базовой.

Принцип работы накопительного устройства на ВТСП основан на эффекте выталкивания магнитного поля из объема сверхпроводника, что эквивалентно диамагнитному «зеркальному» экрану. Это позволяет создать бесконтактный самоцентрирующийся подвес маховика – кинетического накопителя энергии. В отличие от управляемого магнитного подвеса, данный тип подвеса не содержит

активных систем регулирования бесконтактного подвеса, в частности, следящих систем и регуляторов величины напряженности магнитного поля, характеризуется большой подъемной силой подвеса, саморегулированием в осевом направлении подвеса и направлении, перпендикулярном оси подвеса. Кроме того, сверхпроводящий бесконтактный подвес имеет хорошие демпфирующие свойства [10]. Общий вид разработанного накопителя энергии приведен на рис.1.

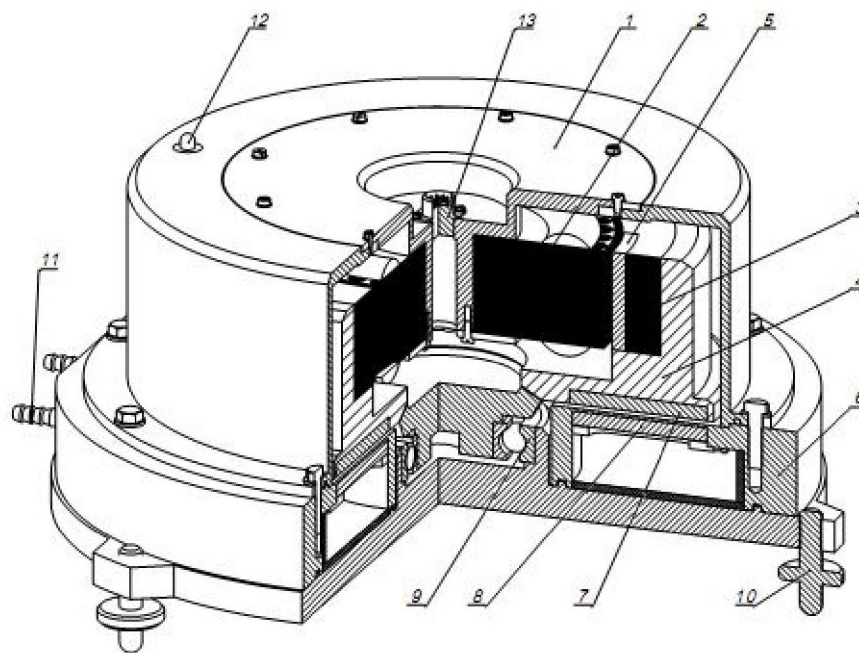


Рисунок 1- Сверхпроводящий электрокинетический накопитель энергии (СПЭНЭ-1)

1– синхронная электрическая машина, 2 – статор, 3 – магнитопровод статора, 4 – ротор-маховик, 5 – магниты возбуждения, 6 – криостат, 7 – опорные магниты подвеса, 8 – сверхпроводящие пластины, 9 – подшипник, 10 – опоры, 11– штуцер системы охлаждения жидким азотом, 12 – ниппель, 13 – разъем.

Накопитель энергии предназначен для работы в составе локальной электрической сети, содержащей альтернативные источники энергии и служит для хранения и рекуперации электрической энергии. Накопитель энергии состоит из обращенной синхронной элек-

трической машины 1 и криостата 6, заполненного жидким азотом. Статор синхронной машины 2 содержит магнитопровод с трехфазной обмоткой 3, ротор-маховик 4 с постоянными магнитами возбуждения 5 и опорными постоянными магнитами 7. На сопряжен-

**РАЗРАБОТКА НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ
СВЕРХПРОВОДИМОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ
В ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

ной поверхности криостата расположены сверхпроводящие пластины 8, охлаждаемые жидким азотом, заливаемым через штуцер 11.

В исходном положении ротор-маховик центрируется с помощью опорного подшипника 9. Внутренняя полость синхронного двигателя вакуумируется с помощью ниппеля 12. Герметичный разъем 13 соединяет трехфазную обмотку статора синхронной машины с блоком управления режимами ее работы. Для нивелирования накопителя энергии по горизонту служат регулируемые опоры 10.

Накопитель энергии работает следующим образом. При охлаждении сверхпроводящих пластин до температуры жидкого азо-

та, возникает эффект Мейснера, в результате которого осуществляется бесконтактный подвес ротора – маховика. При подключении накопителя энергии к источнику трехфазного питания, начинается разгон ротора-маховика до номинальной частоты вращения, после чего накопитель энергии отключается от источника питания, а ротор-маховик вращается по инерции, сохраняя накопленную энергию. Бесконтактный подвес и вакуум обеспечивают длительное сохранение энергии. При переключении обмоток статора на нагрузку, накопитель энергии работает в режиме генерации электрической энергии, обеспечивая ее питание. Накопитель энергии имеет следующие расчетные технические характеристики:

- запасенная энергия 4 МДж;
- время накопления энергии.....5-6 мин;
- время отдачи энергии 5-8 мин;
- К.П.Д. 95-97%.

Управляя режимами накопления энергии и энергетическими потоками от различных источников энергии, можно существенно повысить энергоэффективность и энергосбере-

жение электрической энергии в сетях различного назначения. На рис. 2 приведена функциональная схема локальной электрической сети с накопителем энергии.

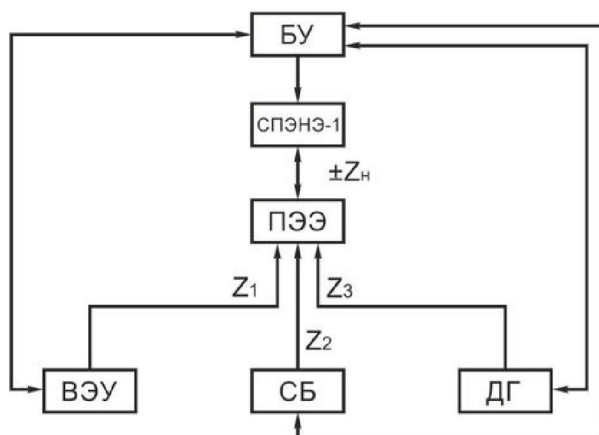


Рисунок 2 - Функциональная схема локальной электрической сети с накопителем энергии
 БУ – блок интеллектуального управления режимами работы источника электроэнергии и накопителя энергии; ПЭЭ – потребители электрической энергии; ВЭУ – ветроэлектростанция; СБ – солнечная батарея; ДГ – дизель-генератор; Z_1, Z_2, Z_3, Z_n – энергетические потоки, СПЭНЭ-1 – сверхпроводящий электромеханический накопитель энергии.

Локальная электрическая сеть с накопителем энергии работает следующим образом. Потребители электрической энергии (ПЭЭ) подключены одновременно к различным источникам питания, в частности, ветроэнергетической установке (ВЭУ), солнечной батарее (СБ), дизель-генератору (ДГ). В блок управления поступают данные о текущих энерге-

точникам питания, в частности, ветроэнергетической установке (ВЭУ), солнечной батарее (СБ), дизель-генератору (ДГ). В блок управления поступают данные о текущих энерге-

тических потоках Z_1, Z_2, Z_3, Z_n , а также о состоянии накопителя энергии СПЭНЭ-1. В зависимости от выбранного закона оптимизации по тому или иному параметру, или группе параметров, микропроцессор, встроенный в блок управления, оптимизирует распределение энергии между источниками энергии, накопителем энергии, потребителями энергии таким образом, чтобы сохранялся постоянный баланс между потребленной и выработанной электрической энергией в любой момент работы локальной электрической сети. Выбор режимов работы локальной сети во многом определяется особенностями конкретных потребителей: суточными, недельными и сезонными графиками электрической нагрузки, структурой и оборудованием существующих систем энергоснабжения, технической возможностью подключения к централизованным сетям. Кроме того, при выборе схемных решений необходимо учитывать характеристики собственно энергетической установки и других элементов схемы, климатические условия региона, возможности резервирования электрической мощности и многое другое.

Поскольку накопитель энергии, как указано выше, выполняет важные функции в локальной электрической сети, то его использование в любой ЛЭС даст возможность выровнять графики нагрузок в разные периоды су-

точного и сезонного спроса на электрическую энергию.

Применение накопителей энергии позволит коммерциализировать производство электроэнергии, что повысит эффективность работы энергетических компаний и качество электроснабжения потребителей за счет компенсации недостаточной пропускной способности элементов системы, управления реактивной мощностью, регулирования напряжения, снижения стоимости электроэнергии и т.п.

Далее встает задача разработки математической модели и моделирования энергетических потоков в локальной сети, так как эти вопросы имеют очень важное значение. Их решение позволит, при наличии соответствующего программного обеспечения, реализовать интеллектуальное управление работой элементов ЛЭС с целью оптимизации по заданным параметрам. В таком режиме можно достичь высоких технико-экономических показателей работы ЛЭС в сравнении с сетью с централизованными источниками и преодолеть углеводородную зависимость энергетики.

Создание высокоэффективных накопителей энергии с высокими удельными параметрами различной мощности и габаритов позволит внедрить сетевые технологии в традиционную и малую энергетику [11,12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кувшинов В.В. Некоторые результаты исследования комбинированной установки для фототермопреобразования солнечной энергии / В.В. Кувшинов, В.А. Сафонов // 36. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭ-иП, 2009. – Вып. 3 (31). – С. 158 - 163.

2. Кирпичникова И.М., Соломин Е.В. Виброгасители мачт сверхмалых вертикально-осевых ветроэнергетических установок // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2010. – № 14 (190). – С. 78-81.

3. Харченко В.В., Гусаров В.А., Майоров В.А., Панченко В.А. Солнечная электростанция для параллельной работы/ В.В. Харченко и др. //Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – №2. – С.37-43.

4. Гашо Е.Г. Пути и проблемы модернизации распределенных энерготехнологиче-

ских систем регионов/ Е.Г. Гашо // Электрика. – 2011. – №2. – С.12-17.

5. Чиндяскин В.И., Кислова Е.Ф. Разработка компьютерной модели для расчёта эффективной локальной системы электроснабжения сельских поселений/ В.И.Чиндяскин, Е.Ф. Киселева //Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – Т2. – № 24-1.– С.88-92.

6. Четошникова Л.М., Смоленцев Н.И., Четошников С.А., Смоленцев А.Н. Снижение колебаний энергии в локальных сетях с распределенной энергией /Л.М. Четошникова и др. //Электрика. – 2013. – №5. – С.37-39.

7. Алексеев Б.А. Применение накопителей энергии в энергетике. – Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2005. – №2.

8. Ковалев Л.К., Конев С.М.А., Полтавец В.Н., Гончаров М.В., Ильясов Р.И. Магнитные подвесы с использованием объемных ВТСП

РАЗРАБОТКА НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ
СВЕРХПРОВОДИМОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ
В ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

элементов для перспективных систем высокоскоростного наземного транспорта. – Труды МАИ. –2010. – №38. – С.39.

9. Смоленцев Н.И., Четошникова Л.М., Накопитель энергии на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) для альтернативной энергетики / Н.И. Смоленцев и др. // Электрика. – 2011. – №5. – С.38-41.

10. Ковалев Л.К., Конеев С.М., Ларионов С.А., Полтавец В.Н. – Сверхпроводниковые магнитные опоры с объемными ВТСП элементами. Электричество. – 2003. – №6.

11. Смоленцев Н.И., Четошникова Л.М. Локальная электроэнергетическая сеть в технологической платформе Smart Grid / Н.И. Смоленцев и др. // Электрика. – 2011. – №8. – С.25-28.

12. Смоленцев Н.И. Накопители энергии в локальных электрических сетях /Н.И. Смо-

ленцев //Ползуновский Вестник. – 2013. – №4-2. – С.176-181.

Смоленцев Н.И.- к.т.н., доцент, e-mail: smolenzev@rambler.ru, Россия, Челябинская область, г. Миасс, Филиал ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), 8(3513)63-28-85

Четошникова Л.М.- д.т.н., профессор, e-mail: chlmt56@mail.ru, Россия, Челябинская область, г. Миасс, ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), 8(3513)63-28-85

Бондарев Ю.Л. –ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ) Россия, г. Челябинск, , 8(351) 741-45-13 yu_bondarev@mail.ru