

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КЕРЧЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

НАУЧНАЯ РАБОТА

**На тему: Энергетические технологии будущего в интересах Крыма: от
морской волны до интеллектуальных сетей**

по направлению подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и
электротехника»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Исполнитель Давыдова Дарья Дмитриевна

Руководитель кандидат технических наук, доцент

Авдеев Борис Александрович

Керчь, 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
РАЗДЕЛ 1 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ КРЫМА.....	5
РАЗДЕЛ 2 ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КАК ОСНОВА «ЗЕЛЁНОЙ» ЭКОНОМИКИ КРЫМА.....	8
2.1 Волновая энергия морей: потенциал Чёрного и Азовского морей.....	8
2.2 Интеграция ВИЭ в энергосистему региона: технические и экономические аспекты	10
РАЗДЕЛ 3 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ И СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ	12
3.1 Роль суперконденсаторов в повышении надёжности энергоснабжения	12
3.2 Двухнаправленные зарядные системы на базе двойного активного моста	15
РАЗДЕЛ 4 ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОХОДСТВА И МОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....	21
4.1 Валогенераторы как средство снижения топливных затрат на флоте....	21
4.2 Совершенствование систем управления выходным напряжением	22
РАЗДЕЛ 5 ПРОМЫШЛЕННЫЕ И БЫТОВЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ.....	30
5.1 Инверторные сварочные аппараты для судоремонта и строительства ..	30
5.2 Модульные решения на базе твердотельных преобразователей	30
РАЗДЕЛ 6 СОЦИАЛЬНО – ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В КРЫМУ	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	38

ВВЕДЕНИЕ

Республика Крым обладает уникальным географическим положением, значительным морским побережьем и высоким потенциалом в области возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Однако энергетическая система региона остаётся уязвимой из-за зависимости от внешних поставок электроэнергии и ограниченной генерирующей мощности. В условиях глобального энергоперехода и усиления требований к устойчивому развитию возникает острая необходимость в реализации локальных, автономных и энергоэффективных решений.

Несмотря на реализацию ряда инфраструктурных проектов, таких как энергомот и строительство новых генерирующих мощностей, энергетическая система Крыма остаётся чувствительной к сезонным пикам нагрузки, особенно в летний период, а также к возможным аварийным отключениям. При этом значительный потенциал региона — в виде морских побережий, солнечной инсоляции и ветровых ресурсов — остаётся недостаточно востребованным для целей децентрализованного энергоснабжения.

Актуальность исследования обусловлена острой практической необходимостью снизить энергетическую зависимость региона, повысить устойчивость сельских и прибрежных территорий, модернизировать устаревший рыбопромысловый флот, локализовать производство энерготехнического оборудования и усилить экологическую и инвестиционную привлекательность Крыма.

В рамках НИР кафедры «Электрооборудования судов и автоматизации производства» разработан комплекс решений, направленных на решение этих задач:

1. преобразование волновой энергии морей для автономного энергоснабжения;
2. применение суперконденсаторов в микросетях и старт-стопных системах;

3. использование двунаправленных зарядных устройств на основе двойного активного моста с режимом V2G;
4. модернизация судовых энергокомплексов с валогенераторами и векторным управлением (подтверждена моделированием в MATLAB/Simulink);
5. локализация производства инверторных сварочных аппаратов для нужд судоремонт.

Целью работы является обобщение и развитие этих технических идей в единую адаптивную концепцию, ориентированную на энергетическую устойчивость и социально-экономическое развитие Крыма. Для её реализации решаются задачи оценки ресурсного потенциала ВИЭ, анализа эффективности систем хранения энергии, моделирования и правильности работы систем управления, разработки рекомендаций по внедрению инверторных сварочных аппаратов и формирования модели децентрализованной «зелёной» энергоинфраструктуры.

Научная новизна состоит в объединении разнородных технических решений — от морских ВИЭ до современной силовой электроники — с учётом полуостровной специфики, высокой доли устаревшей инфраструктуры и ограниченной связанности с магистральными сетями. Полученные результаты имеют практическую значимость для энергетики, судостроения и региональной политики в сфере устойчивого развития.

РАЗДЕЛ 1 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ КРЫМА

Энергетическая безопасность региона определяется способностью его энергетической системы обеспечивать бесперебойное, экономически доступное и экологически устойчивое энергоснабжение ключевых секторов экономики — промышленности, транспорта, жилищно-коммунального хозяйства и социальной инфраструктуры. В условиях геополитической нестабильности и глобального энергоперехода данная категория приобретает стратегическое значение, особенно для территорий с ограниченной инфраструктурной связанностью, к числу которых относится Республика Крым.

Полуостровное положение Крыма объективно ограничивает возможности физического подключения к общенациональной энергосистеме. Несмотря на реализацию масштабных инфраструктурных проектов — включая строительство энергомоста и локальных генерирующих мощностей (Крымская ТЭЦ, солнечные электростанции) — по состоянию на 2025 год доля собственной генерации в энергобалансе региона не превышает 40% [1]. Это делает энергосистему Крыма чувствительной к сезонным пикам нагрузки, особенно в летний период, когда потребление электроэнергии возрастает в 1,5–2 раза за счёт туристической активности и работы кондиционеров.

Традиционная централизованная модель энергоснабжения, ориентированная на крупные генерирующие узлы и протяжённые линии электропередачи, демонстрирует ограниченную гибкость и устойчивость в условиях полуостровной топологии. В ответ на эти вызовы формируется новая идея — децентрализованная, интеллектуальная и возобновляемая энергетика, основанная на следующих принципах:

- локализация генерации — размещение источников энергии в непосредственной близости от потребителей;

- гибридизация — комбинирование различных источников (солнечная, ветровая, волновая энергия, дизельные установки);
- интеллектуальное управление — применение цифровых систем мониторинга, прогнозирования и оптимизации потоков мощности;
- накопление энергии — использование систем хранения для сглаживания нестабильности ВИЭ и обеспечения резервирования.

Исследования, проводимые в Керченском государственном морском технологическом университете, демонстрируют высокий потенциал применения именно таких подходов в условиях Крыма. В частности, разработаны технические решения, напрямую отвечающие вызовам энергетической безопасности:

валогенераторные установки с частотным преобразованием позволяющие снизить топливопотребление рыбопромыслового флота на 15–25 % за счёт утилизации механической мощности главного двигателя;

системы хранения энергии на базе суперконденсаторов, обеспечивающие высокую надёжность, срок службы до 10–15 лет и отсутствие вредных выбросов;

двунаправленные зарядные устройства на основе двойного активного моста (ДАМ), способные интегрировать аккумуляторные системы в умные сети и реализовывать режимы Vehicle-to-Grid (V2G) и Grid-to-Vehicle (G2V) ;

технологии преобразования волновой энергии, использующие уникальное географическое положение Крыма на побережье Черного и Азовского морей, где среднегодовая плотность потока энергии волн составляет 5–8 кВт/м.

Все перечисленные решения обладают ключевыми характеристиками, необходимыми для обеспечения энергетической безопасности полуостровного региона:

1. энергоэффективность — минимизация потерь при генерации, передаче и потреблении;

2. экологическая безопасность — отсутствие выбросов парниковых газов и вредных веществ;

3. устойчивость к внешним воздействиям — способность функционировать в автономном режиме при отключении от централизованной сети;

4. совместимость с ВИЭ — гибкая интеграция в гибридные энергокомплексы.

Таким образом, энергетическая безопасность Крыма не может быть обеспечена исключительно за счёт наращивания централизованной генерации. Необходим переход к многоуровневой, адаптивной и технологически насыщенной энергетической системе, в которой ключевую роль играют локальные решения, разрабатываемые на стыке морской техники, силовой электроники и интеллектуальных сетей. Именно такой подход формирует основу для устойчивого социально-экономического развития региона в долгосрочной перспективе.

РАЗДЕЛ 2 ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ КАК ОСНОВА «ЗЕЛЁНОЙ» ЭКОНОМИКИ КРЫМА

2.1 Волновая энергия морей: потенциал Чёрного и Азовского морей

Крым омывается водами двух морей — Черного и Азовского. Несмотря на то, что их волновой потенциал уступает океаническому, он всё же достаточен для практического использования. По оценкам специалистов, среднегодовая плотность потока энергии волн в прибрежной зоне Черного моря составляет 5 - 8 кВт/м, а в штормовые периоды — до 20 – 30 8 кВт/м.

Наибольший интерес с точки зрения размещения ВЭС представляют южный берег Крыма (включая мысы Ай-Тодор и Фиолент), побережье Керченского полуострова и зона Керченского пролива — участки с выраженной волновой активностью и ограниченным антропогенным воздействием. Технологически перспективными являются конструкции, способные эффективно работать в условиях мелководья и короткопериодных волн, характерных для Чёрного моря. Например, адаптированные версии преобразователей типа Pelamis, использующие относительное движение секций для привода гидравлической системы, могут быть модернизированы для повышения чувствительности к кинетической составляющей волнового потока, что особенно актуально в прибрежных зонах.

Важным преимуществом ВЭС является их низкая экологическая и визуальная нагрузка: они не требуют выделения больших территорий, не создают шумового загрязнения и могут быть интегрированы в существующую прибрежную инфраструктуру — например, в конструкции волнорезов портов или защитных дамб. Такой подход позволяет одновременно решать задачи берегозащиты и энергоснабжения, что особенно ценно для туристических и рыбопромысловых поселений, где надёжность и автономность энергоснабжения напрямую влияют на экономическую устойчивость.

На протяжении десятилетий человек пытается найти способы получить «чистую» электроэнергию с помощью возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Волны морей и океанов имеют огромный ресурс для добычи данного сырья. Плотность морских волн гораздо выше плотности солнечного излучения или ветра, что позволяет приобрести более качественную энергию. Потенциал данного способа огромен и менее всех других изучен, что создает почву для рассмотрения и составление идей для его развития [1].

Мировой океан создает энергию благодаря приливам, течениям, ветровым волнам и штормам. Но всего лишь небольшая доля этого ресурса сейчас используется, в основном сила приливов. Построенные на данный момент волновые станции находятся возле берега, в местах, закрытых от производственной сферы. Но в скором будущем, данный способ будет применяться гораздо чаще и увереннее.

Потенциальная и кинетическая энергия – две главные составляющие морского ресурса. При достаточно небольшой глубине большей длины волны, элементы воды будут перемещаться по круговой траектории. Таким образом, чем больше глубина, тем меньше линия перемещения. Но вектор скорости частиц воды, который расположен на краю волны будет направлен в сторону её движения, а другой вектор, находящийся между волнами будет направлен противоположно её движению. Потенциальная энергия будет зависит от вертикального перемещения элементов воды относительно среднего уровня, а кинетическая в свою очередь, от скорости данных частиц. Для получения хорошего результата и продуктивной работы, волновая станция должна получать эти энергии, которые в свою очередь должны друг друга уравновешивать [2].

Волновые электростанции устанавливают ближе к берегу, так как потенциал волн в этих местах достаточно высок. Движение воды стабильно и профили волн мягкие, что обеспечивает более качественные ресурсы для дальнейшего использования [3].

Рассмотрим волновой преобразователь Pelamis, расчётная мощность которого составляет 750 кВт (рис. 1).



Рисунок - 1 Волновые преобразователи Pelamis

Она состоит из четырех последовательно соединенных цилиндров, которые в зависимости от состояния воды меняют своё угловое положение относительно друг друга. В соединениях данной конструкции находятся гидроцилиндры, которые при изменении положения подают рабочую жидкость на гидродвигатель, вращающий электрогенератор. Но недостаток электростанции заключается в том, что она использует только потенциальную энергию волны, так как при изменении скорости параметры не изменяются. Так же часть конструкции цилиндров постоянно находится в воде, что приводит к уменьшению надежности работы станции.

2.2 Интеграция ВИЭ в энергосистему региона: технические и экономические аспекты

Основным барьером широкого внедрения ВИЭ остаётся их внутренняя нестабильность: выработка солнечной, ветровой и волновой энергии зависит от метеорологических условий, что создаёт риски дисбаланса в энергосистеме. Однако в условиях Крыма эта проблема может быть решена не через отказ от

ВИЭ, а через гибридизацию и интеллектуализацию локальных энергокомплексов.

Современный подход предполагает создание многоисточниковых микросетей, объединяющих солнечные панели, ветрогенераторы, волновые преобразователи и системы хранения энергии. Ключевую роль в таких системах играют накопители на базе суперконденсаторов, сочетающие высокую плотность мощности, длительный срок службы и способность к мгновенной отдаче энергии. В сочетании с интеллектуальными системами управления они позволяют компенсировать кратковременные провалы генерации и обеспечивать стабильное напряжение даже при резких изменениях внешних условий.

Экономическая целесообразность подобных решений возрастает в контексте децентрализованного энергоснабжения: минимизация потерь при передаче, снижение зависимости от централизованных сетей и возможность локального производства оборудования (например, инверторных сварочных аппаратов для обслуживания ВЭС) формируют замкнутый технологический цикл. Это не только повышает энергетическую устойчивость региона, но и стимулирует развитие высокотехнологичных отраслей, создавая основу для «зелёной» экономики Крыма.

Таким образом, ВИЭ в Крыму должны рассматриваться не как дополнительный элемент энергосистемы, а как ядро новой модели территориального развития, сочетающей энергетическую независимость, экологическую ответственность и социально-экономическую устойчивость.

РАЗДЕЛ 3 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ И СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

3.1 Роль суперконденсаторов в повышении надёжности энергоснабжения

Электроэнергия может быть преобразована в различные формы и частично хранится в системе электроснабжения в небольших количествах или в локальных системах ограниченной мощности. Более того, эти источники могут храниться для прерывистых и временных промежутков между выработкой энергии и потреблением конечным потребителем. Накопление энергии воды в плотинах, накопление энергии в виде водорода и электрохимические накопители являются основными системами хранения, используемыми сегодня. Хранение энергии в виде электрической энергии непосредственно возможно с помощью электрохимических накопителей. Однако срок службы этих обычных устройств составляет менее половины срока службы суперконденсатора (СК), большинство из которых содержат некоторые вредные для природы загрязняющие вещества и имеют существенные технические недостатки. Таким образом, ученые уже много лет исследуют устройства хранения с большой емкостью и длительным сроком службы.

СК могут стать альтернативой батареям или конденсаторам в широком спектре приложений резервного питания за счет большего срока службы, а также отсутствия необходимости беспокоиться об их обслуживании, подзарядке или замене. Структура СК отличается от керамического или электролитического конденсатора (рис. 2 а), который состоит из двух твердых электродов, поляризованных приложенным напряжением и разделенных мембранным сепаратором и жидким электролитом. Основная структура СК состоит из алюминиевых токосъемников и электродов вместо диэлектрических материалов (рис. 2 б). Принцип работы СК основан на

накоплении энергии путем распределения ионов вблизи поверхности двух электродов. Два интерфейса создают зону пространственного заряда, называемую электрическим двойным слоем. Таким образом, СК является электростатическим, и нет никакой электрохимической реакции [2].

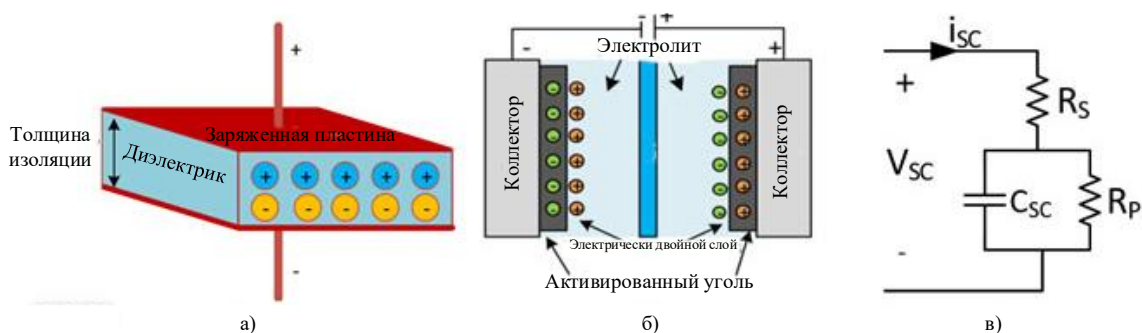


Рисунок 2 - (а) Структура электростатического конденсатора, (б) структура СК, (в) эквивалентная модель схемы СК

Модель электрической эквивалентной схемы СК приведена на рис. 2 (в). Здесь последовательное сопротивление (R_S) конденсатору символизирует эквивалентное последовательное сопротивление (ESR). Напротив, параллельное сопротивление (R_P) через конденсатор представляет собой сопротивление, оцененное в соответствии с токами утечки, а емкость (C_{SC}) представляет собой общую емкость.

В зависимости от способа накопления энергии, СКС делятся на три основные группы:

1. Электрический двухслойный конденсатор (ЭДЛК). Накопление заряда происходит между электролитом и электродами, как показано на рисунке 2(б).

2. Псевдоконденсатор (ПК). ПК включают обратимые и быстрые окислительно-восстановительные реакции для заряда, чтобы увеличить емкость СК.

3. Гибридный суперконденсатор (ГСК). ГСК сохраняет заряды, сопоставляя емкостный углеродный электрод.

СК, как правило представляют из себя тонкие листы, которые электрически соединены с токопроводящим коллектором. Экологически чистые и недорогие электроды должны обладать хорошей проводимостью, низкой коррозионной стойкостью и длительной химической стабильностью. Различные типы углеродных электродных материалов, обычно используемых в СКс, включают активированный уголь, углеродный аэрогель, графен, графит и углеродные нанотрубки. Одним из наиболее часто используемых электродных материалов для СК является активированный уголь твердой формы.

К основным преимуществам СК относят [4]:

1. высокое значение плотности мощности,
2. быстрая зарядка и разрядка,
3. не взрывается при коротком соединении,
4. останавливает поток энергии при полной зарядке,
5. длительный срок службы,
6. отсутствие выбросов газов и экологическая безопасность

Недостатки:

1. нужна балансирующая схема для последовательных соединений,
2. проблемы с ценами и поставками на рынке,
3. источники питания на очень короткое время,
4. самое высокое диэлектрическое поглощение.

Хотя у них есть некоторые недостатки, преимущества СК дают им превосходство над другими устройствами хранения во многих отношениях.

Гибридные СКс реализованы в навигаторах, датчиках и устройствах связи на основе батарей, радиолокационная система и т.д [5].

К примеру — запуск и система автоматической остановки дизеля маневровых и магистральных тепловозов, используемая с 2016 года «РЖД». Она позволяет снизить затраты топлива в режиме прогрева тепловоза на 20%, а на холостом ходу — на 60–80% за счет отключения/включения двигателя в зависимости от изменения ряда показателей: давления в тормозной системе,

температуры контуров охлаждения и т. Д. В качестве накопителя энергии здесь установлены суперконденсаторы ТЭЭМП. Благодаря им старт-стоп система позволяет легко запускать даже мощные дизели от 1200 кВт и более. На сегодня свыше 1,5 тысячи тепловозов для «РЖД» уже оснащены системой автоматического запуска и остановки дизельных двигателей с суперконденсаторами [6].

В условиях Крыма СК могут использоваться:

- в системах автоматического запуска/остановки дизель-генераторов (аналогично решениям РЖД);
- в качестве буферных накопителей в микросетях с ВИЭ;
- для стабилизации напряжения в сетях ограниченной мощности (например, на судах или в удалённых посёлках).

Примером практического применения может стать интеграция СК в энергокомплексы рыбопромысловых судов, что позволит снизить расход топлива на 20–30 % за счёт оптимизации работы дизель-генераторов.

3.2 Двухнаправленные зарядные системы на базе двойного активного моста

Системы хранения электроэнергии становятся неотъемлемой частью портативных устройств и интеллектуальных систем электроснабжения, поскольку они помогают решать проблемы, связанные с нестабильностью работы возобновляемых источников энергии [7]. Увеличение доли этих видов энергии требует эффективных решений для управления спросом и предложением электроэнергии в режиме реального времени, а также для обеспечения надежности и устойчивости электроэнергетических систем. Одним из критически важных компонентов этих систем являются зарядные устройства, которые должны обеспечивать высокую эффективность,

надежность и безопасность процесса зарядки [8]. Для интеллектуальных систем электроснабжения необходимым требованием к системам зарядки является также двунаправленность, т.е. способность передавать электроэнергию как из сети к аккумулятору, так и от аккумулятора в сеть [9]. Для этих целей существуют схемные решения, которые отличаются от традиционной более высокой сложности и стоимостью.

В последние годы системные решения на базе двойного активного моста (ДАМ) начали привлекать все большее внимание благодаря своим превосходным характеристикам, таким как широкий диапазон входных и выходных напряжений, высокая плотность энергии и мощности, а также возможность работы в различных режиме [10]. Ключевыми элементами, где используются ДАМ – это твердотельные трансформаторы, системы зарядки электромобилей и системы хранения электроэнергии в умных сетях электроснабжения. Однако при реализации систем трехфазной зарядки на базе ДАМ очень важно обеспечить правильное управление процессом переключения между режимами работы, что оказывает значительное влияние на эффективность и долговечность оборудования.

Одним из наиболее перспективных подходов к обеспечению надежного и эффективного управления зарядными устройствами является использование технологий мягкого переключения. Мягким переключением называют такой режим коммутации, при котором потери мощности во время переключения практически отсутствуют или очень малы. Это достигается при нулевом токе или при нулевом напряжении на силовом полупроводниковом ключе. Эти технологии позволяют значительно уменьшить переходные потери и напряжения, возникающие в процессе переключения, что в свою очередь способствует более высокому уровню общей эффективности и продолжительности эксплуатации системы за счёт снижения потерь на переключение и уменьшение нагрева полупроводникового элемента. Тем не менее, внедрение методов мягкого переключения в контексте трехфазных зарядных устройств на базе ДАМ требует глубокого понимания механизмов

работы этих систем и разработки новых алгоритмов и методов управления. Мягкое переключение может достигаться за счет снабберных цепочек, алгоритмов управления или резонансных силовых контуров. В данной работе будет использован резонансный контур.

Актуальность данного исследования обусловлена несколькими ключевыми факторами, влияющими на современную энергетическую отрасль, такими как рост доли возобновляемых источников энергии, переход от автомобилей с двигателями внутреннего сгорания к электромобилям, увеличения доли умных устройств распределения электроэнергии, что позволит увеличить надежность, экономичность и эффективность систем электроснабжения. Переход к экологически чистым источникам энергии приводит к необходимости эффективного хранения избыточной электроэнергии, вырабатываемой в периоды максимального солнца и ветра. Системы хранения играют важную роль в сглаживании пиков загрузки и обеспечении надежности электросетей, что делает исследование их зарядных систем особенно актуальным. Системы хранения электроэнергии играют ключевую роль в балансировке нагрузки и поддержании стабильности энергосистем, что подчеркивает важность исследования их управления. Силовые полупроводниковых системы зарядки стали доступны благодаря технологическим достижениям в области силовой электроники, что позволяет интегрировать новые подходы в действующие системы и улучшать их характеристики, что также подчеркивает необходимость дальнейшего изучения данного вопроса.

Существует большое количество разнообразных систем зарядок, которые можно разделить по количеству фаз (однофазные, трехфазные и многофазные), возможностью передачи в оба направления электроэнергию (однонаправленные и двунаправленные), наличию гальванической зарядки (изолированные и неизолированные), элементной базой (IGBT, MOSFET или тиристоры), областям назначения и другие [11-12]. Также необходимо помнить о качестве электроснабжения. В данной статье рассматривается

двухнаправленная изолированная трехфазная системы зарядки, представленная на рисунке 3. В общем она состоит из входного трехфазного пассивного LC-фильтра, активного трехфазного выпрямителя, двойного активного моста и пассивного выходного фильтра.

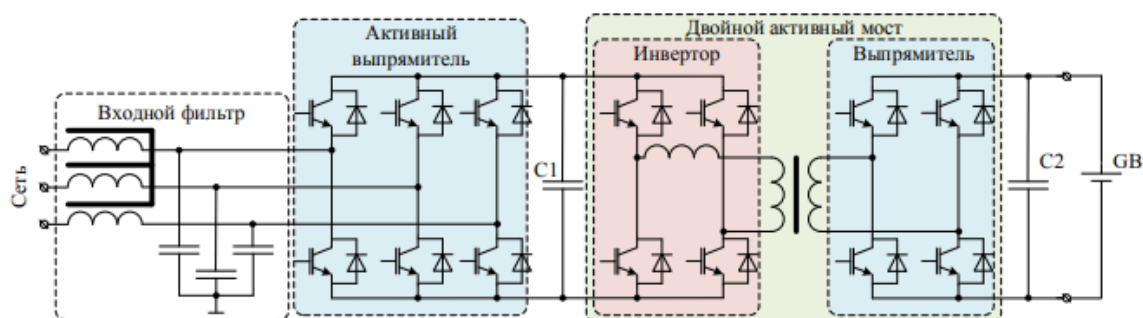


Рисунок 3 - Трёхфазное зарядное устройство на базе двойного активного моста

Питание подаётся от симметричной трехфазной сети. Для того, чтобы защитить зарядное устройство от скачков напряжения, от короткого замыкания и влияния электромагнитных помех из сети используется входной пассивный LC-фильтр. Далее напряжение подаётся на управляемый мостовой преобразователь, где происходит выпрямление трехфазного переменного напряжения в постоянное. Данный мостовой преобразователь позволяет регулировать напряжение на первой вставке постоянного тока, а также выполнять функции статического компенсатора реактивной мощности, регулируя активную P и реактивную Q составляющую мощности [13]. Для сглаживания напряжения после управляемого выпрямителя имеется конденсатор большой емкости $C1$. Постоянное напряжение преобразуется в требуемое с помощью двойного активного моста, который в свою очередь состоит из однофазного мостового инвертора, высокочастотного трансформатора и управляемого однофазного выпрямителя. Выбор высокой частоты позволяет кратно уменьшить размеры трансформатора. Однако, нельзя бесконечно подымать частоты коммутации инвертора, т.к. с ростом

числа коммутации силовых ключей растут потери на коммутации. Для сглаживания выходного напряжения имеется конденсатор C_2 . В случае, если идет обратный процесс передачи электроэнергии от аккумуляторных батарей в сеть, то инвертор и выпрямитель в двойном активном мосте меняются местами и благодаря симметричной структуре процесс обратной передачи электроэнергии ничем не отличается от прямой передачи. Активный выпрямитель будет работать как автономный инвертор напряжения, а входной пассивный фильтр позволит очистить переменное напряжение от высокочастотных искажений. На схеме не показан колебательный контур, состоящий из последовательно соединенных конденсатора и дополнительной катушки индуктивности в первичной и вторичной цепях высокочастотного трансформатора.

В настоящее время в промышленности используется управление по напряжению, которое ранее использовалось в контроллерах гибких систем передачи переменного тока. Система управления может быть настроена на регулирование фазового угла между векторами токов и напряжений, а также изменять амплитуду напряжения для точного регулирования P и Q . Современные зарядные устройства используют управление по току в подчиненном контуре для улучшения стабильности и динамических характеристик систем.

Двунаправленная система на базе ДАМ обеспечивает постоянную и надежную производительность во всех режимах работы. Устройство поддерживает мягкое переключение, высокочастотную гальваническую изоляцию, управление напряжением и повышение эффективности. Мягкое переключение снижает потери при коммутации, повышая эффективность [14].

ДАМ управляется с использованием метода фазного сдвига, который состоит из генерации двух сигналов прямоугольной формы, производимыми путем регулирования первичного и вторичного мостов одновременно с 50% рабочим циклом и фазовым сдвигом между сигналами управления, подаваемых на одинаковые транзисторы двух мостов. Фазный угол меняется

для регулирования напряжения на выходе выпрямительного моста [15]. На рисунке 4 приведены осциллограммы работы ДАМ, полученные путём имитационного моделирования в Matlab/SIMULINK.

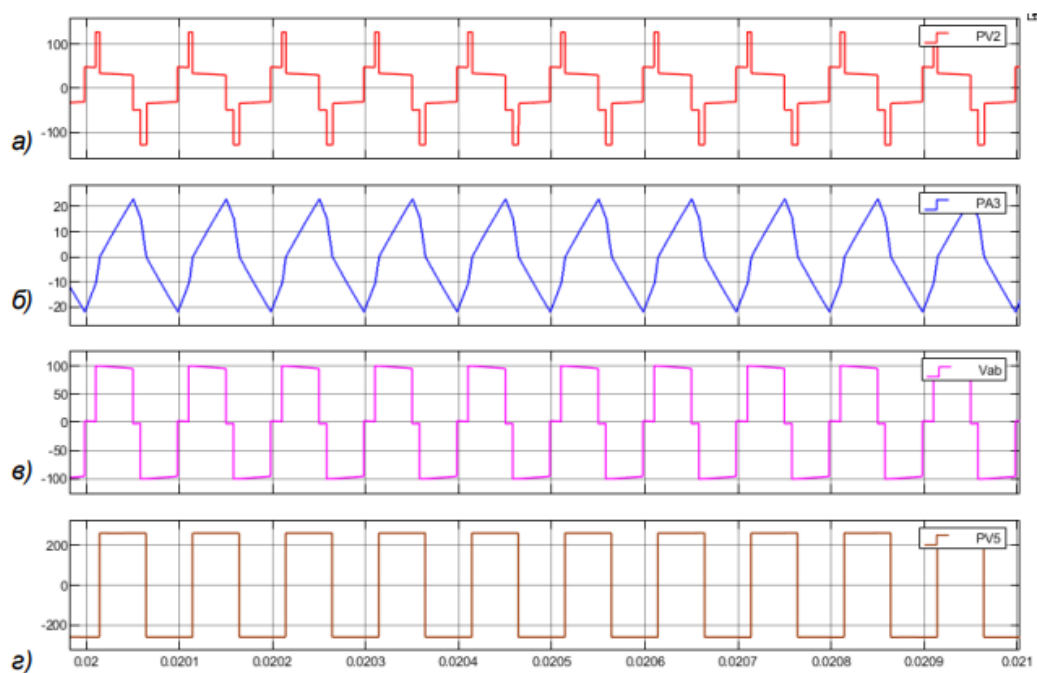


Рисунок 4 - Осциллограммы работы ДАМ: а) напряжение на дополнительной катушке индуктивности, ток на первичной обмотке трансформатора, в) напряжение с выхода инверторного моста; г) напряжение на выходе трансформатора

Для Крыма такие системы могут быть использованы:

- в инфраструктуре электромобильности (зарядные станции в Ялте, Симферополе, Керчи);
- в резервных источниках питания для больниц, школ, диспетчерских служб;
- в умных домах и коттеджных посёлках с солнечными панелями.

Имитационное моделирование в MATLAB/Simulink показало, что система на базе ДАМ обеспечивает стабильное напряжение на шинах постоянного тока (430 В) даже при резком изменении нагрузки, что подтверждает её пригодность для реальных условий эксплуатации.

РАЗДЕЛ 4 ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОХОДСТВА И МОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

4.1 Валогенераторы как средство снижения топливных затрат на флоте

Энергетическая модернизация морского транспорта — один из ключевых векторов устойчивого развития прибрежных регионов, и Республика Крым, обладающая протяжённой береговой линией и развитой портовой инфраструктурой, имеет для этого все предпосылки. Особое внимание заслуживает обновление энергетических систем рыбопромыслового и прибрежного транспортного флота, значительная часть которого эксплуатируется свыше трёх десятилетий. В этих условиях повышение энергоэффективности не только снижает операционные издержки, но и продлевает срок службы судового оборудования, что напрямую влияет на экономическую жизнеспособность отрасли.

Центральное место в этом процессе занимает внедрение валогенераторов — устройств, позволяющих использовать механическую энергию гребного вала, передаваемую от главного двигателя, для генерации электричества. Такой подход позволяет частично или полностью отказаться от работы вспомогательных дизель-генераторов в переходных режимах, что даёт ощутимую экономию топлива (до 25 %) и снижает техническую нагрузку на энергетическую установку судна в целом.

Однако практическое применение валогенераторов сопряжено с серьёзным техническим вызовом: изменение скорости вращения вала под воздействием внешних факторов — волнения, течений, изменения осадки — приводит к нестабильности параметров генерируемого напряжения. Это делает невозможным прямое подключение валогенератора к судовой сети без дополнительных преобразовательных звеньев.

4.2 Совершенствование систем управления выходным напряжением

Энерговооруженность судна возрастает с увеличением количества электрооборудования и уровня автоматизации, что позволяет сократить экипаж и, соответственно, повысить рентабельность морских перевозок. Одновременно с этим цены на топливо обладают высокой волатильностью. Вышеперечисленное вынуждает искать пути увеличения эффективности работы судовой электростанции [16].

Одним из путей повышения эффективности работы судового электроэнергетического комплекса является применение валогенераторов. Валогенератор (ВГ) – это электрическая машина, приводимая во вращение от гребного вала и служащая для питания электроэнергией судовых потребителей. Главный двигатель, который приводит во вращение движитель, работает с существенным запасом мощности, часть которой можно отбирать в установившемся ходовом режиме. Эффективность работы главного двигателя довольно высокая, а топливо, которое он потребляет, относительно дешевое [17]. Указанные факторы делают применение ВГ экономичным. По этой причине все больше ВГ применяются на крупных судах, совершающих длинные трансконтинентальные переходы, для оптимизации расхода топлива и снижения затрат на производство электроэнергии.

Несмотря на выгоду применения ВГ, у него имеются два существенных недостатка. Первый недостаток – это усложнение пропульсивной установки судна, в результате чего уменьшается ее надежность и сокращается полезная площадь использованного машинного отделения. Вторым недостатком связан с нестабильными показателями качества получаемой электроэнергии от ВГ [18]. Если исключить применение ВГ постоянного тока и ВГ, автономно работающих на мощный приемник, то можно выделить три основных типов использования ВГ:

1. PTO/GCR (power take-off / gear constant ratio – отбор мощности через передачу с постоянным передаточным отношением) состоит из упругой (эластичной) муфты, мультипликатора и генератора переменного тока.

2. PTO/RCF (power take-off / RENK constant frequency – отбор мощности с гидромеханическим редуктором постоянной частоты вращения) состоит из упругой (эластичной) муфты, мультипликатора, торсионной жесткой зубчатой муфты, привода постоянной частоты вращения и генератора переменного тока.

3. PTO/CFE (power take-off / constant frequency electrical – отбор мощности с электрической системой поддержания постоянной частоты тока) состоит из низкооборотного генератора переменного тока с электрическими контрольно-измерительными приборами.

Несмотря на использование редукторов и регуляторов для поддержания постоянной скорости вращения ротора ВГ, для обеспечения надлежащих показателей качества электроэнергии используют частотный преобразователь. На рис. 5 приведена структурная схема судовой энергетической установки с применением ВГ. Главный двигатель через редуктор приводит в движение винт регулируемого шага (ВРШ). Управление углом атаки лопастей осуществляется с помощью механизма изменения шага (МИШ). Применение винта регулируемого шага оправдано тем фактом, что частота главного двигателя должна находиться в заданных пределах, что позволит работать ВГ с относительно постоянной частотой и минимальными отклонениями по напряжению [19]. Через редуктор ВГ подключается к валопроводу и отбирает часть мощности от главного двигателя. Для того чтобы синхронизировать ВГ и судовую электростанцию, применяется преобразователь частоты, через который электроэнергия с заданным значением напряжения и частоты подается на главный распределительный щит (ГРЩ). Также через утилизационный котел тепло от сгоревшего топлива идет на нужды судна.

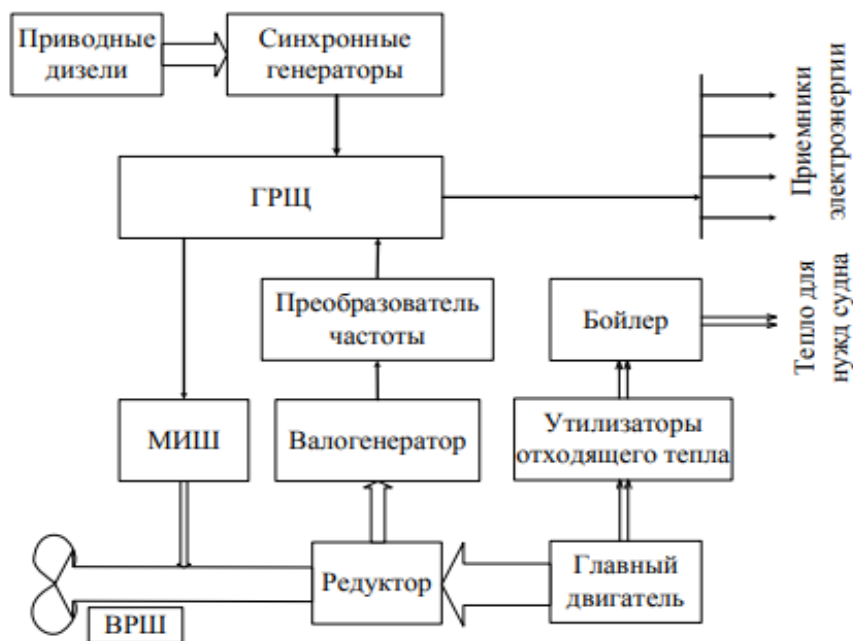


Рисунок 5 - Судовая энергетическая установка с валогенератором

На рис. 6 приведена функциональная схема работы ВГ на общую нагрузку через ГРЩ. Поскольку ВГ приводится в действие главным двигателем, то ВГ реагирует на любые изменения частоты вращения дизеля. Это происходит из-за влияния течения, ширины канала, глубины, осадки судна, волнения или ветра, что приводит к изменению напряжения и частоты ВГ. Генераторы G1–G3 работают на ГРЩ через автоматические выключатели QF1–QF3. Потребители также подключены к ГРЩ и получают по фидерам электропитание, ВГ вращается главным двигателем через редуктор.

Электроэнергия от ВГ через автоматический выключатель QF4 передается на частотный преобразователь, который состоит из трех частей – выпрямителя, фильтра постоянного тока и инвертора на основе IGBT-транзисторов. Трансформатор тока ТА снимает напряжение на каждой фазе ГРЩ и передает сигнал на систему управления. Система управления обрабатывает полученную информацию и генерирует импульсы на IGBT-транзисторы, создавая с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ) напряжение требуемой амплитуды и частоты. Через автоматический выключатель QF5 напряжение с выхода частотного преобразователя идет на ГРЩ, откуда через фидеры распределяется на различные потребители. Для

защиты ВГ от высоких частот со стороны преобразователя частоты стоит пассивный фильтр. Для защиты ГРЩ от высоких частот рекомендуется применять комбинированный фильтр, который показывает хорошие результаты устранения интергармонических и высших гармоник в сети ограниченной мощности [20]. В случае если частота вращения главного двигателя стабильна и напряжение на зажимах ВГ соответствует напряжению на шинах ГРЩ, QF4 и QF5 отключаются, включается QF6.

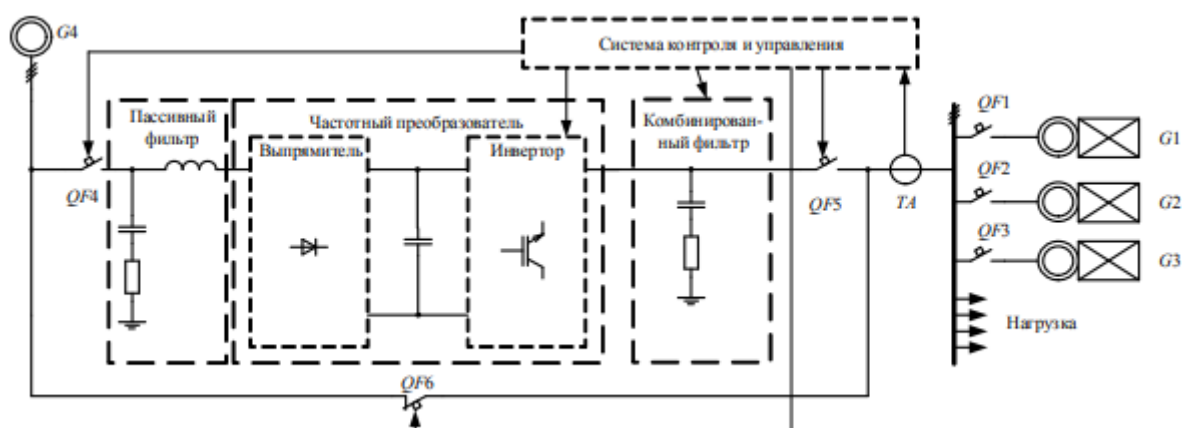


Рисунок 6 - Функциональная схема работы валогенератора на общую нагрузку через главный распределительный щит

Рассмотрим работу ВГ на стационарную нагрузку. На рис. 7 представлена имитационная модель работы ВГ на стационарную нагрузку, выполненная в математическом пакете MATLAB/Simulink. Трёхфазное напряжение подается от синхронного генератора на выпрямитель через блок измерения. Выпрямленное напряжение сглаживается конденсатором C_0 . Переменное трёхфазное напряжение производится с помощью автономного инвертора и подается на статическую нагрузку (3ф-нагрузка). Система управления выдает эталонные напряжения на выходе регулятора, которые преобразуются в импульсы управления для инвертора с помощью ШИМ. Для сглаживания напряжения используется 3фпассивный фильтр, состоящий из RC-треугольника. Для контроля выходных параметров применяется блок измерения (блок измерения 2).

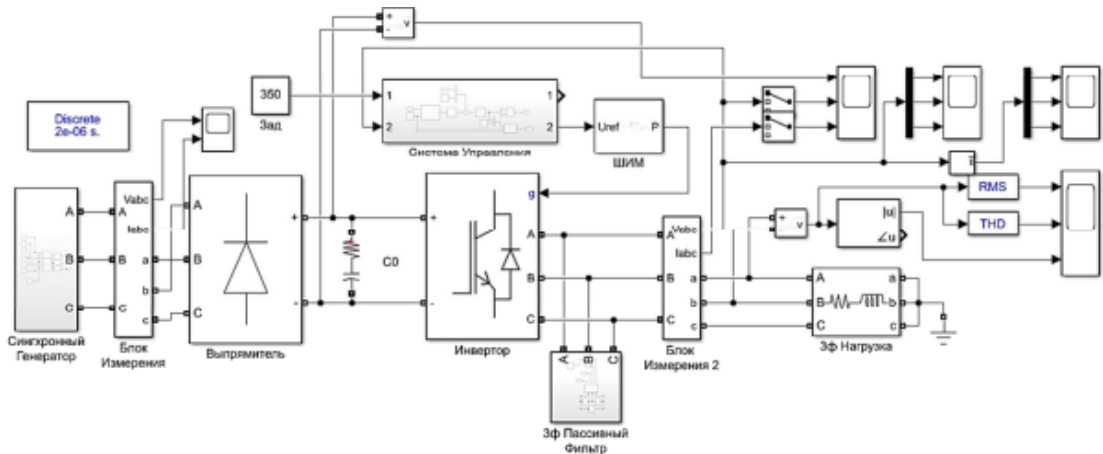


Рисунок 7 - Simulink-модель работы валогенератора на стационарную нагрузку

Наличие автономного инвертора позволяет осуществлять управление за счет применения принципов векторного регулирования. Основные уравнения ВГ при работе с постоянным потоком записываются для вращающейся системы координат $d - q$, ориентированной по потоку ротора, поток статора при этом задается равным нулю [21]. Поскольку принципы векторного регулирования позволяют реализовать свободную ориентацию вектора тока статора во вращающейся системе координат $d - q$, значение электромагнитного момента ВГ, создающего сопротивление вращению, можно записать как

$$M_{ВГ} = (i_d \Psi_q - i_q \Psi_d),$$

где i_d, i_q – проекции тока статора на оси d и q ; Ψ_q, Ψ_d – проекции потокосцепления на оси d и q соответственно.

На рис. 8 приведена система управления напряжением инвертора, реализованная в MATLAB/ Simulink. Регулятор поддерживает постоянное потокосцепление с помощью векторного управления. Задачей регулятора напряжения является сравнение выходного напряжения с опорным напряжением и формирование модулирующего сигнала для ШИМ-генератора. Если происходит какое-либо изменение выходного или опорного сигнала, в соответствии с ним изменяется значение модулирующего сигнала с помощью дискретного ПИ-регулятора.

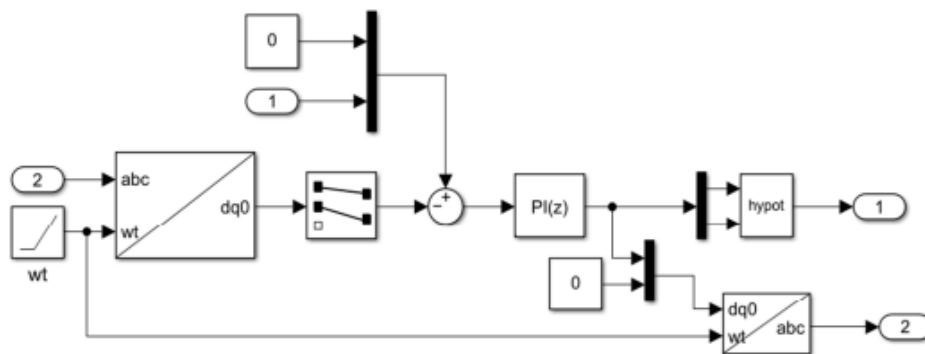


Рисунок 8 -Система управления напряжением инвертора

Переход от координат abc к координатам d – q и обратно осуществляется по следующим формулам:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\omega t) \\ \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\omega t) & \cos(\omega t) & 1 \\ \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d \\ q \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} d \\ q \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\omega t) & \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\omega t) & \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}.$$

Коэффициенты ПИ-регулятора подбирались экспериментально на основании экспертного опыта. Регулятор имеет следующую передаточную функцию:

$$W_{\text{рег}}(s) = 1 + \frac{1}{0,02s}.$$

Параметры схемы при моделировании:

- напряжение питания со стороны ВГ: $U_{\text{Л}} = 400 \text{ В}$; $f = 60 \text{ Гц}$;
- емкость конденсаторов пассивного фильтра: $C = 100 \text{ мкФ}$;
- емкость конденсатора на вставке постоянного тока: $C_0 = 100 \text{ мкФ}$;

– прямое падение напряжения на диодах и IGBT-транзисторах: $U_{Pr} = 0,7 \text{ В}$;

– нагрузка: $L = 0,1 \text{ мГн}$; $R = 3 \text{ Ом}$. Для того чтобы оценить работу при резкоизменяющемся напряжении, в момент времени $t = 0,5 \text{ с}$ напряжение принимает вид: $U_{Л} = 325 \text{ В}$; $f = 50 \text{ Гц}$. Результаты моделирования представлены на рис. 10; входные токи и напряжения при работе преобразователя частоты приведены на рис. 6.

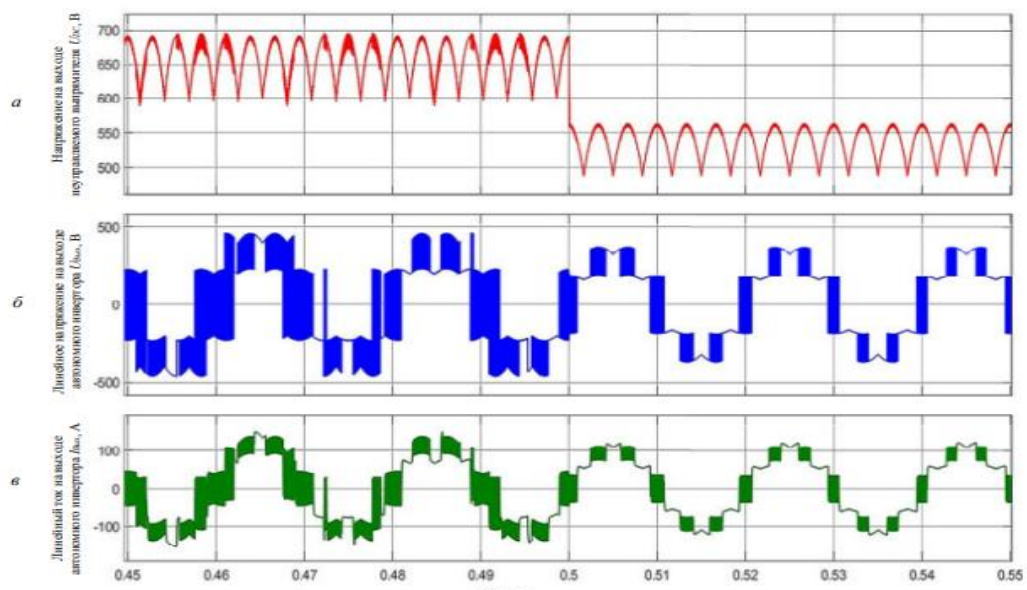


Рисунок 9 - Результаты моделирования: а – напряжение на вставке постоянного тока на входе инвертора; б – напряжение на выходе инвертора; в – ток на выходе инвертора

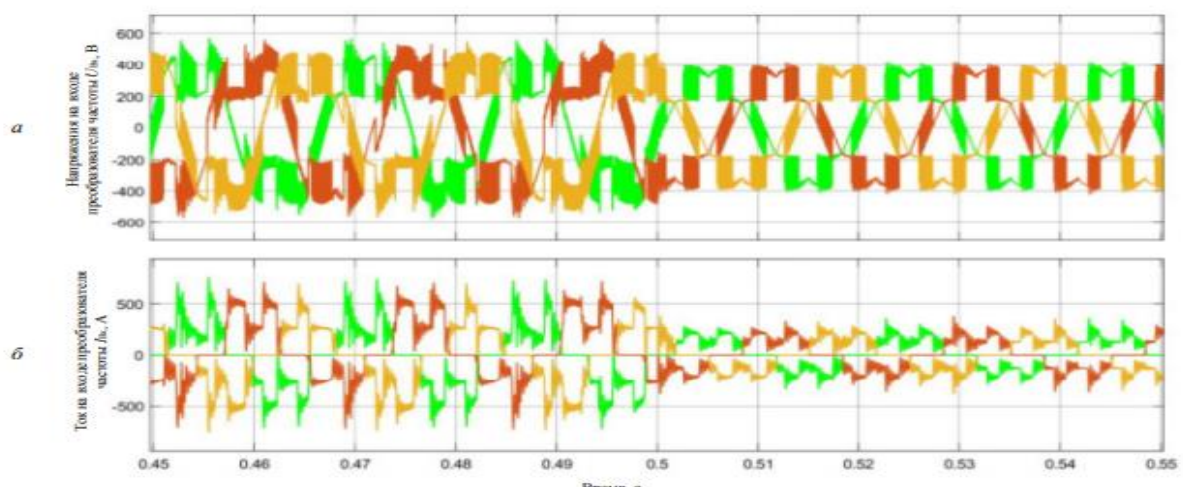


Рисунок 10 - Входные значения напряжения (а) и тока (б) преобразователя частот

При изменении входного напряжения коэффициент гармонического искажения снижается с 0,75 до 0,37, что обусловлено уменьшением уровня напряжения и увеличением скважности ШИМ. Увеличения коэффициента синусоидальности можно добиться путем установки более мощного трехфазного пассивного фильтра, который включал бы в себя и магнитосвязанные дроссели. Также происходит снижение пульсаций действующего значения напряжения и пульсаций коэффициента гармонического искажения из-за совпадения частот на входе и на выходе. Таким образом, можно сделать вывод, что уменьшение колебаний действующего значения напряжения можно обеспечить с помощью дополнительного сглаживания в цепи постоянного тока, т. е. использовать конденсатор большей емкости, а также последовательно добавить дроссель. Также вставка постоянного тока может запитывать потребители постоянного тока через изолированный преобразователь постоянного тока [22].

Наличие интегральной части в регуляторе обеспечивает устранение ошибки в установившемся режиме. Повышение загрузки главного двигателя с помощью ВГ позволит увеличить его коэффициент загрузки, что с выведением из работы одного дизель-генератора сможет обеспечить более рациональное использование топлива при сохранении заданного уровня напряжения и частоты судовой сети за счет применения преобразователя частоты.

Таким образом, внедрение современных систем управления на базе силовой электроники превращает валогенератор из узкоспециализированного вспомогательного устройства в полноценный элемент интеллектуальной судовой энергосистемы. Для Крыма это открывает возможности не только для модернизации действующего флота, но и для создания новых, энергоэффективных судов, способных конкурировать на международном уровне. В долгосрочной перспективе такие решения способствуют снижению углеродного следа морского транспорта, повышению энергетической независимости предприятий и укреплению позиций региона в сфере «зелёной» морской экономики.

РАЗДЕЛ 5 ПРОМЫШЛЕННЫЕ И БЫТОВЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

5.1 Инверторные сварочные аппараты для судоремонта и строительства

Современная силовая электроника вышла далеко за рамки узкоспециализированных решений, став ключевым инструментом технологической модернизации в промышленности и быту. В контексте Республики Крым, где значительная часть производственной инфраструктуры требует обновления, а импортозамещение приобретает стратегическое значение, локализация и адаптация таких решений становятся не просто технической, но и социально-экономической задачей.

Особую актуальность это приобретает в судоремонтной отрасли. Более 60 % рыбопромысловых судов, базирующихся в крымских портах, эксплуатируются свыше трёх десятилетий, что делает регулярный ремонт неотъемлемой частью их жизненного цикла. В этих условиях традиционные сварочные трансформаторы, отличающиеся большим весом, низким КПД и нестабильной дугой, всё чаще уступают место инверторным сварочным аппаратам. Последние обеспечивают не только высокую энергоэффективность (до 90 %) и компактность, но и точную настройку режимов сварки, что критически важно при восстановлении ответственных конструкций корпуса и палубного оборудования.

5.2 Модульные решения на базе твердотельных преобразователей

В связи с тем фактом, что большинство судов рыбопромыслового флота Российской Федерации имеют возраст более 30 лет, то из-за технического устаревания на судах часто происходят поломки в машинном отделении и на палубе. Поэтому является необходимым осуществлять ремонт, в том числе и с использованием сварочного аппарата. Современные сварочные

работы проводятся при применении специальных инверторов [23]. Ранее применялись обычные трансформаторы, однако они обладают значительно меньшим коэффициентом полезного действия, чем современные устройства. Устройство современных сварочных аппаратов может отличаться друг от друга, но все они работают по схожему принципу, обеспечивая малые массогабаритные показатели и высокую эффективность. Развитие электроники привело к появлению и широкому распространению инверторных источников сварочного тока. Их мощность обычно составляет несколько десятков киловатт. К основным элементам сварочного аппарата можно отнести [24]:

1. Блок выпрямления и стабилизации напряжения. Данный блок предназначен для изменения параметров тока до требуемых значений.
2. Силовой высокочастотный трансформатор.
3. Блок питания слаботочной части аппарата.
4. ШИМ контроллер.
5. Блок защиты от воздействия тепла.
6. Блок управления.
7. Блок индикации состояния и работы.

Принципиальная схема выпрямителя и блока питания приведена на рисунке 8.

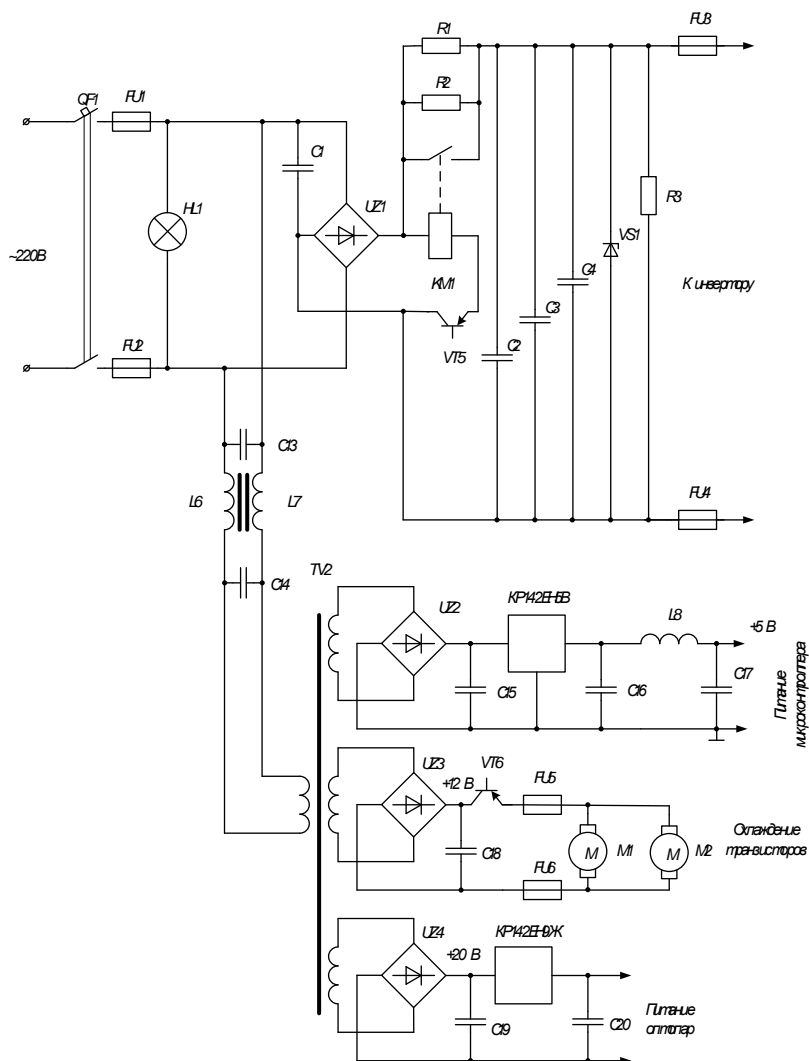


Рисунок 8 - Принципиальная схема выпрямителя и блока питания

Работает схема следующим образом. Питание осуществляется переменным однофазным напряжением 220 В через автоматический выключатель QF1. Сигнальная лампа указывает на тот фак, что на аппарат подаётся питание. Диодный мост UZ1 выпрямляет переменное напряжение. Конденсаторы C2-C4 сглаживают пульсации напряжения. Стабилитрон ограничивает напряжение на выходе. Для ограничения пускового тока при включении используются пусковые резисторы R1 и R2, которые после зарядки конденсаторов C2-C4 шунтируются. Также имеются блоки питания на три напряжения постоянного тока: 5, 12 и 20 В. 5 В используются для питания микроконтроллера, 12 В применяются для питания куллеров, предназначенные для отвода тепла от силовых полупроводниковых

элементов, 20 В необходимы для питания оптопар, которые в свою очередь предназначены для коммутации транзисторов. С13, С4, L6 и L7 предназначены для устранения помех, исходящих от полупроводников элементов. Так как микроконтроллер наиболее чувствителен к помехам питающего напряжения, то для стабилизации применяется стабилизатор напряжения КР142ЕН5В +5В, 2А [КТ-28 / ТО-220], а также П-образный пассивный CLC-фильтр. Особых требований к работе куллеров нет, поэтому используется только сглаживающий конденсатор и предохранители. Для питания оптопар также используется стабилизатор напряжения КР142ЕН9Ж.

В качестве DC-DC преобразователя лучше всего использовать мостовые преобразователи. Они обладают двумя полезными свойствами. Первое из них — параметрическая ограниченность амплитудного и среднего значения токов, потребляемого от источника питания и трансформируемого в нагрузку. Это свойство упрощает управление несколькими преобразователями, работающими на общую нагрузку постоянного тока. Второе свойство — плавный характер нарастания тока силовых управляемых ключей, соединенных по схеме моста, а также нарастания и спада тока вторичной обмотки силового трансформатора, что способствует упрощению выпрямления тока и снижению уровня коммутационных помех.

Такой подход открывает перспективу для серийного выпуска инверторных сварочных аппаратов на предприятиях Крыма, что позволит снизить зависимость от импортной продукции, создать новые рабочие места в сфере электротехнического машиностроения и повысить доступность современного оборудования для малых и средних судоремонтных предприятий.

Ещё более масштабный потенциал заключён в применении твердотельных трансформаторов (ТТ) и модульных преобразователей. В отличие от классических электромагнитных аналогов, ТТ обеспечивают гибкое управление потоками мощности, позволяют интегрировать переменный и постоянный ток в единую сеть и значительно повышают

отказоустойчивость энергосистем. Эти качества особенно востребованы в условиях формирования «умных» портов и морских технопарков, где требуется высокая степень автоматизации, надёжность электроснабжения и возможность оперативного перераспределения нагрузок.

Для Крыма внедрение таких решений может стать основой для создания гибридных энергетических узлов, сочетающих возобновляемые источники, системы хранения и интеллектуальное управление. Это не только повысит энергоэффективность портовой инфраструктуры, но и усилит её устойчивость к внешним вызовам — от колебаний цен на топливо до техногенных или природных рисков. Таким образом, развитие силовой электроники в регионе выходит за пределы технического обновления и становится фактором устойчивого социально-экономического роста.

РАЗДЕЛ 6 СОЦИАЛЬНО – ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В КРЫМУ

Реализация комплекса инновационных энергетических решений — от интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и систем хранения (СХЭ) до модернизации судового флота и локализации производства электротехнического оборудования — способна стать катализатором устойчивого развития Республики Крым. При этом эффект от внедрения этих технологий выходит далеко за рамки чисто технических или энергетических показателей и охватывает социальную, экономическую и экологическую сферы.

Наиболее ощутимый экономический выигрыш связан с сокращением зависимости от импортных энергоресурсов. Внедрение гибридных энергокомплексов на базе солнечной, ветровой и волновой энергии в сочетании с современными системами хранения позволяет снизить расходы на топливо на 20–40 % в секторах, где энергозатраты составляют значительную долю операционных издержек — в рыбной промышленности, портовом хозяйстве, коммунальной инфраструктуре. Особенно это актуально для удалённых прибрежных и сельских населённых пунктов, где подключение к централизованным сетям затруднено или экономически нецелесообразно. Здесь автономные микросети становятся не просто альтернативой, а условием жизнеспособности местных сообществ.

Модернизация рыбопромыслового флота — ещё один ключевой вектор. Более 60 % судов Крыма эксплуатируются свыше 30 лет, и их дальнейшее использование без технического обновления становится всё менее рентабельным. Внедрение энергоэффективных решений — таких как валогенераторы с интеллектуальными системами управления, инверторные сварочные аппараты для ремонта, а также системы мониторинга и оптимизации энергопотребления — позволяет не только продлить срок

службы судов, но и сохранить тысячи рабочих мест в отрасли, которая остаётся важнейшим элементом экономики прибрежных регионов.

Одновременно открывается возможность для локального производства высокотехнологичного оборудования. Разработка и серийный выпуск инверторных сварочных аппаратов, блоков управления для ВИЭ, модулей на базе суперконденсаторов и двойных активных мостов могут стать основой для формирования в Крыму собственного кластера силовой электроники. По предварительным оценкам, к 2030 году такой сектор способен создать более 500 новых рабочих мест, преимущественно для молодых инженеров и техников, получивших образование в крымских вузах, в первую очередь — в Керченском государственном морском технологическом университете.

Социальный эффект проявляется и в сфере человеческого капитала. Практико-ориентированные исследования, проводимые студентами и преподавателями университета, уже сегодня формируют новое поколение специалистов, готовых к работе в условиях «зелёной» экономики. Это не только повышает привлекательность инженерного образования, но и снижает отток квалифицированной молодёжи из региона.

Наконец, экологический и имиджевый компонент не менее важен. Развитие «зелёной» инфраструктуры — от умных портов до автономных туристических комплексов на побережье — улучшает экологическую обстановку и делает Крым более привлекательным для инвестиций и высококачественного туризма. В условиях глобального имиджа на устойчивое развитие именно такие проекты становятся ключевыми для привлечения как частного, так и государственного финансирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в работе научно-технические идеи не являются разрозненными инициативами — они формируют целостную, системную стратегию технологического развития Республики Крым. Эта стратегия опирается на четыре взаимосвязанных идеи: рациональное использование местных энергетических ресурсов (включая морскую волновую энергию), внедрение интеллектуальных и автономных энергосистем, модернизацию промышленной и морской инфраструктуры, а также подготовку кадров нового поколения в области силовой электроники и возобновляемой энергетики.

Реализация этой стратегии позволит Крыму не только решить насущные проблемы энергетической уязвимости и технологического отставания, но и занять лидирующие позиции в формировании «зелёной» экономики на юге России. Более того, она создаёт условия для устойчивого социально-экономического роста, соответствующего целям национального проекта «Энергетика» и федеральной стратегии низкоуглеродного развития. В конечном счёте, именно такие региональные инициативы, основанные на научных разработках и практической адаптации технологий, станут фундаментом для технологического суверенитета и экологической устойчивости всей страны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев Б. А. Интеллектуальные энергоэффективные системы морских судов // Вестн. Керчен. гос. мор. технолог. ун-та, 2021. № 4. С. 99–113. 2.
2. Авдеев Б. А. Комплексные решения интеграции постоянного и переменного токов в адаптивных интеллектуальных распределительных сетях с помощью твердотельного трансформатора / Б.А. Авдеев // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2022. – № 3. – С. 15–20.
3. Авдеев Б.А. Исследование работы трехпроводного СТАТКОМа в режиме источника регулируемого напряжения // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. Серия: Морские технологии. 2024. № 4. С. 6–15.
4. Авдеев Б.А. Перспективы использования твердотельных трансформаторов для интеллектуальных сетей электроснабжения двойного назначения / Б.А. Авдеев // Сборник статей II Всероссийской научно-технической конференции «Технологии энергообеспечения. Аппараты и машины жизнеобеспечения», Анапа, 17 сентября 2020, С. 340-348.
5. Авдеев Б.А. Управление двойного активного моста в микросети постоянного тока с солнечными панелями // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. Вып. 11. С. 372–375.
6. Бурмакин О. А., Гуляев В. В., Малышев Ю. С., Попов С. В. Моделирование судовой электростанции со встроенной сетью постоянного тока в среде MATLAB // Интеллектуал. электротехника. 2021. № 3 (15). С. 75–84.
7. Волшаник В.В., Матушевский Г.В. Энергия морских ветровых волн и принципы ее преобразования // Гидротехническое строительство, 1985, №4. – С. 41-45
8. Воробьев К.А., Поляков Н.А., Стжелецки Р. Система двунаправленных преобразователей электрической энергии в сетях

ограниченной мощности // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2020. Т. 12. № 4. С. 812–823.

9. Вынгра А. В. Повышение эффективности работы валогенераторной установки отбора мощности // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Технологии энергообеспечения. Аппараты и машины жизнеобеспечения»: материалы Всерос. науч.- техн. конф. (Анапа, 25–26 ноября 2019 г.). Анапа: Военный инновационный технополис «ЭРА», 2019. С. 68–73.

10. Вынгра А. В. Разработка алгоритмов и программного обеспечения для силовых активных фильтров судовых электроэнергетических систем // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2022. № 2. С. 73–79

11. Глебов Б. Мостовые резонансные DC/DC-преобразователи сварочного тока / Глебов Б., Попков О. // Силовая электроника, 2021. - № 3 (90) – С.60-63.

12. да Роза А. Возобновляемые источники энергии /пер. с англ., М.: Издательский дом МЭИ; 2010. – 704 с

13. Железняк А. А. Модернизация системы управления электроэнергетической установки промышленного судна с винтом регулируемого шага // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 2. С. 414–421.

14. Мартынов А.А., Самсыгин В.К., Соколов Д.В. Способы и устройства энергообеспечения подводных аппаратов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2021. № 4 (398). С. 93–103.

15. Медведев В. В., Жуков В. А., Туркин И. И., Голубев Р. О. Анализ целесообразности применения валогенераторов в составе СЭУ СПГ-танкеров с главными двухтопливными МОД посредством систем глубокой утилизации теплоты // Мор. интеллектуал. технологии. 2019. № 1-1 (43). С. 96–102.

16. Мятеж Т.В., Любченко В.Я., Могиленко Е.А. Исследование инверторного режима зарядных станций электромобилей на примере

подстанции театральная новосибирской энергосистемы // Известия Транссиба. 2023. № 3 (55). С. 106–120. 2.

17. Резников С., Климова С., Харченко И., Смирнов В., Савостьянов В. Резервноаккумуляторные источники бесперебойного питания для автономных и сетевых систем электроснабжения со звеном постоянного повышенного напряжения // Силовая электроника. 2016. Т. 2. № 59. С. 34–38.

18. Резников С.Б., Харченко И.А., Марченко М.В., Жегов Н.А. Трансформаторные многофункциональные импульсные преобразователи для бортовых авиакосмических источников питания // Вестник Московского авиационного института. 2017. Т. 24. № 1. С. 138–145.

19. Сеньков, А. П. Преобразование энергии ветровых волн в электрическую энергию / А. П. Сеньков, А. А. Сеньков // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 1-3(47). – С. 87-92.

20. Солодский С. А., Брунов., О. Г., Ильященко Д. П. Источники питания для дуговой сварки. Учебн. пособие. Томск, Изд-во Томского политехнического университета, 2012.

21. Тихоненко И. Топологии зарядных устройств для промышленных приложений // Электронные компоненты. 2022. № 7. С. 32–34

22. Царева П. Е., Авдеев Б. А., Марковкина Н. Н., Епифанцев И. Р., Жиленков А. А. Моделирование работы трехфазного твердотельного трансформатора при изменении нагрузки // Электротехника. 2022. № 6. С. 61–64.

23. Шахин, М. Е. Система электролизного преобразователя с фотоэлектрическим питанием и контролем отслеживания максимальной мощности, 2020 года.

24. Шахин, М.Е.; Гибридная фотоэлектрическая батарея/суперконденсаторная система и базовое предложение по управлению активной мощностью в MATLAB/Simulink 2020 года.