

620.9(05)

Грузинский технический университет

Союз "Наука и энергетика"

# Э Н Е Р Г И Я

Научно-технический журнал

**2(110)/2024**

---

Тбилиси

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

<i>Г.КОХРЕИДЗЕ, З.ГАЧЕЧИЛАДЗЕ, ГОЧА КОХРЕИДЗЕ, Г.КАДАГИШВИЛИ.</i> Передача энергии с постоянным током высокого напряжения и разработка технологий преобразования нетрадиционных возобновляемых энергий в электроэнергию и присоединения ее к сети. ....	5
<i>Т.МУСЕЛИАНИ, И.ВАХТАНГАДЗЕ, Б.ДЖИНЧВЕЛЕИШВИЛИ.</i> Анализ выбора и расположения аккумуляторных систем накопления энергии в распределительной сети. ....	11
<i>Г.КОХРЕИДЗЕ, Г.ХОРБАЛАДЗЕ, ГОЧА КОХРЕИДЗЕ, Г.КАДАГИШВИЛИ</i> Разработка универсальных методов математического и компьютерного моделирования процессов в управляемых. ....	24
<i>Н.ТИНИКАШВИЛИ, Г.ХОРБАЛАДЗЕ, З.ГАЧЕЧИЛАДЗЕ, И.ЧОМАХИДЗЕ, Г.КОХРЕИДЗЕ.</i> Организация электрической сети и текущие вызовы. ....	30
<i>И.ВАХТАНГАДЗЕ.</i> Оценка адекватности генерации с помощью по antares. ..\.....	35
<i>Т.КОХРЕИДЗЕ.</i> Идеологические основы построения на постоянном токе сверхпроводящей электроэнергетической системы нового поколения. ....	40
<i>Т. КОХРЕИДЗЕ.</i> Математическая модель скин-эффекта. ....	45
<i>Р. МИКУТАДЗЕ, Г.АРАБИДЗЕ, М.АРАБИДЗЕ.</i> Значение подводного Черноморского кабеля для Грузии. ....	50
<i>Т.ШУБЛАДЗЕ, К. МЧЕДЛИДЗЕ, М.ДЖИХВАДЗЕ.</i> Роль водорода в стратегиях производства синтетического топлива. ....	56
<i>Т. КОХРЕИДЗЕ.</i> Сверхпроводящий индуктивный накопитель энергии нового поколения. ....	61
<i>К.КИГУРАДЗЕ, ИВ.ГРДЗЕЛИДЗЕ</i> Корреляционно-регрессионный анализ энергопотребления промышленного предприятия. ....	64
<i>Л.ПАПАВА, Т.ИСАКАДЗЕ, М.РАЗМАДЗЕ, Г.ГУГУЛАШВИЛИ, Г.ХАРШИЛАДЗЕ.</i> Использование энергоэффективной технологии для получения неона и гелия с высокой чистотой. ....	72
<i>Л.ХУНЦАРИЯ, М. ГОГБЕРАШВИЛИ, ДЖ.ХУНЦАРИЯ.</i> Экономичное кодирование данных без потерь на основе преобразования Уолша. ....	77
<i>С. ДЖАНЕЛИДЗЕ.</i> Блокчейн и его использование в энергетике. ....	83

## РЕФЕРАТЫ

---

*Г. КОХРЕИДЗЕ, З. ГАЧЕЧИЛАДЗЕ, ГОЧА КОХРЕИДЗЕ, Г. КАДАГИШВИЛИ.*

Передача энергии с постоянным током высокого напряжения и разработка технологий преобразования нетрадиционных возобновляемых энергий в электроэнергию и присоединения ее к сети.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 5-10. груз. реф. груз.англ. рус.

В работе представлена электрическая схема преобразовательной системы двухмостовой биполярной передающей линии постоянного тока (ПЛТ) с IGBT- транзисторными модулями [1]. Рассмотрены следующие режимы: работа схемы без всех регуляторов; работа с присутствием регулятора угла угасания инвертора; работа регулятора управляемого тока и регулятора угла угасания инвертора. В схеме предусмотрены последовательное соединение двух одномостовых преобразователей и соответственно равенства линейных напряжений на вторичной стороне двух трехфазных трансформаторов. Получено более полноценное 12-фазное преобразование и система трехфазных напряжений, сдвинутые относительно друг от друга на  $30^{\circ}$ - эл.градусом. По этому выпрямленному напряжению имеют 12-кратной гармоники. В выпрямленных напряжениях каждого моста гармоники порядка  $(2k+1) \cdot 6$ ,  $k=0,1,2,3,\dots$  находятся в противоположных фазах, взаимно компенсируются и поэтому не существуют в суммарном напряжении обоих мостов. Земля в схеме использована как токопровод. В земле картина распространения постоянного и переменного тока сильно отличаются друг от друга. Также представлено развитие теории расчета, управления и оптимизации режимов при параллельной работе гибридной автономной электроэнергетической системы к приемной сети. Все полученные результаты дают возможность эффективного внедрения технологии преобразования и применения нетрадиционных и возобновленных источников энергии в электроэнергетике и в электротехнике.

*Илл. 2, лит. 4 назв.*

*Т. МУСЕЛИАНИ, И. ВАХТАНГАДЗЕ, Б. ДЖИНЧВЕЛЕИШВИЛИ.*

Анализ выбора и расположения аккумуляторных систем накопления энергии в распределительной сети.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 11-23. груз. реф. груз.англ. рус.

Использование систем сбора электроэнергии вместо модернизации существующих сетей электропередачи делает крайне важным правильный расчет параметров и определение точки включения данного устройства в распределительную сеть. Неправильный выбор аккумуляторных систем накопления энергии может привести к экономической неэффективности ее использования. Неправильное размещение аккумуляторных систем накопления энергии приведет к снижению пропускной способности распределительной сети.

Выбор системы накопления энергии в основном базируется на определении номинальной выходной мощности, длительности регулирующего воздействия на номинальную энергетическую емкость. Большое значение имеют нормативно-технические и организационно-методические документы, определяющие требования к выбору аккумуляторных систем накопления энергии, их местоположению, выполняемым функциям или конструкциями.

Анализ научно-технических журналов, посвященных рассмотрению и практическому применению функциональных возможностей систем накопления энергии, показал отсутствие обоснованных методов выбора подсистем накопления электрохимического типа систем накопления энергии и мест их расположения. В статье предлагается выбор параметров накопителей энергии для оптимизации систем электроснабжения предприятий по экономическим параметрам.

*Илл. 1, лит. 10 назв.*

*Г. КОХРЕИДЗЕ, Г. ХОРБАЛАДЗЕ, ГОЧА КОХРЕИДЗЕ, Г. КАДАГИШВИЛИ.*

Разработка универсальных методов математического и компьютерного моделирования процессов в управляемых выпрямительных и инверторных агрегатах электроснабжения железной дороги.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 24-29. груз. реф. груз.англ. рус.

В статье представлены на основе тяговой подстанции постоянного тока часть завершенных научно-инженерных работ по разработке универсальных методов математического и компьютерного моделирования процессов, в разных режимах работы автоматически регулируемых трехфазных асинхронных тяговых двигателей с короткозамкнутым ротором, расположенные в локомотиве. Разработаны модернизированные электрические схемы единой преобразовательной системы и проведено полноценное математическое и компьютерное моделирование электромагнитных и электромеханических переходных и установившихся процессов. При математическом и компьютерном моделировании были учтены: сеть высокого напряжения со своими первичными параметрами; активные сопротивления; индуктивности рассеяния и взаимные индуктивности; катодный и анодный реакторы; трехфазные основные управляемые и для компенсации реактивной мощности управляемые обратные выпрямительные агрегаты; инверторный агрегат частотного регулирования трехфазного напряжения; звездное соединение конденсаторной трехфазной установки, для возбуждения асинхронной машины, находящейся в генераторном режиме при рекуперативном торможении поездов; IGBT-транзисторные биполярные модули с изолированными затворами, угол коммутации который в расчете не принимается во внимание, в связи пренебрежительно малых их значениям; волновые диаграммы всех фазных напряжений в условиях сдвига, тяги и рекуперативного торможения; алгоритмы импульсного управления IGBT- транзисторных модулей; обобщенные выражения в функции времени гармоников  $n$ -го порядка коммутационных функций по току и по напряжению.

*Илл. 1, лит. 4 назв.*

*Н. ТИНИКАШВИЛИ, Г. ХОРБАЛАДЗЕ, З. ГАЧЕЧИЛАДЗЕ, И. ЧОМАХИДЗЕ, Г. КОХРЕИДЗЕ*

Организация электрической сети и текущие вызовы.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 30-34. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассматривается законодательная основа для организации электрической сети, включающая в себя идентификацию субъектов, владеющих сетью и установление критериев для принадлежности сети. Кроме того, акцент делается на трех основных проблемах в системе, которые необходимо успешно решить для эффективной организации электрической сети.

*Лит. 5 назв.*

*И. ВАХТАНГАДЗЕ.*

Оценка адекватности генерации с помощью по Antares.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 35-39. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассмотрен один из методов оценки достаточности генерации электроэнергии, который используется операторами передающих систем разных стран. Представлены различные показатели оценки и факторы, влияющие на ее процесс. Кроме того, приводится как техническая, так и экономическая информация, включенная в модель отчетности, и обсуждаются полученные результаты. Аналогичный тип моделирования обычно выполняется оператором системы передачи, который показывает краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные оценки ожидаемого дефицита или избытка энергии в энергосистеме. Такие исследования важны, поскольку они позволяют заинтересованным сторонам принимать эффективные решения по планированию энергосистемы. Существует несколько основных индексов адекватности (LOLE, LOLP, EENS) обычно используемых для оценки вышеупомянутого требования. Для соответствующего анализа разработаны детерминированные и вероятностные методы и использовалось компьютерное программное обеспечение Antares. Упомянутая программа дает возможность покрывать

общую нагрузку, учитывая оптимизацию с наименьшими затратами и основные показатели адекватности энергосистемы.

*Илл. 4, лит. 1.*

*Т. КОХРЕИДЗЕ.*

Идеологические основы построения на постоянном токе сверхпроводящей электроэнергетической системы нового поколения.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 40-44. груз. реф. груз.англ. рус.

Созданы идеологические основы построения на постоянном токе сверхпроводящей электроэнергетической системы нового поколения. Рассматривается система: бесконтактный генератор постоянного тока - сверхпроводящий трансформатор постоянного напряжения с вращающимся магнитным полем возбуждения повышающемся в режиме - сверхпроводящий кабель постоянного тока - сверхпроводящий трансформатор постоянного напряжения с вращающимся магнитным полем возбуждения понижающемся в режиме - нагрузка. В системе для отбора мощности подключен сверхпроводящий трансформатор постоянного напряжения с вращающимся магнитным полем возбуждения. Разработана электрическая схема бесконтактного генератора постоянного тока с управляемым полупроводниковым коммутатором. Разработана электрическая схема сверхпроводящего трансформатора постоянного напряжения с вращающимся магнитным полем возбуждения. Управляемые полупроводниковые коммутаторы выполнены на базе запираемых тиристоров - ГТО. Показано, что на постоянном токе сверхпроводящая электроэнергетическая система нового поколения характеризуется значительным снижением массогабаритных параметров, высокой надежностью и технико-экономическими показателями.

*Илл. 3, лит. 1 назв.*

*Т. КОХРЕИДЗЕ.*

Математическая модель скин-эффекта.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 45-49. груз. реф. груз.англ. рус.

Для получения математической модели скин-эффекта используются основные уравнения электромагнитного поля. Обсуждается вопрос о том, как распределяется электроток в поперечном сечении цилиндрического проводника при прохождении переменного тока высокой частоты. Исследуется электрическое поле поверхностного слоя проводника при высокой частоте. Показано, что фаза электрического вектора и плотность силы тока при переходе в глубину проводника изменяются линейно, а их амплитуды убывают экспоненциально. В качестве примера рассмотрен скин-эффект в асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором.

*Илл. 1, лит. 1*

*Р. МИКУТАДЗЕ, Г. АРАБИДЗЕ, М. АРАБИДЗЕ.*

Значение подводного Черноморского кабеля для Грузии.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 50-55. груз. реф. груз.англ. рус.

Обсуждается проект подводного черноморского кабеля и его значение для Грузии. Грузия имеет важное геополитическое положение в регионе Южного Кавказа, что дает стране возможность стать центром возобновляемых источников энергии и обеспечить транзит энергии, производимой возобновляемыми источниками, с востока на запад. В связи с тем, что восточные партнеры Грузии ориентированы на использование возобновляемых источников энергии, этот проект даст им возможность продавать возобновляемую электроэнергию на рынке, где спрос на экологически чистые источники энергии постоянно растет. В статье представлены технические параметры черноморского подводного кабеля, его роль в диверсификации экспорта и импорта электрической энергии. Проект принесет пользу как грузинской экономике, так и энергетическому сектору, а также укрепит региональное сотрудничество с европейской распределительной сетью электроэнергии.

*Илл. 1. лит. 4.*

*Т.ШУБЛАДЗЕ, К. МЧЕДЛИДЗЕ, М.ДЖИХВАДЗЕ.*

Роль водорода в стратегиях производства синтетического топлива.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 56-60. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассматривается роль водорода  $H_2$ , выбросов углерода и их глобального потепления в экономике. Кроме того, подчеркивается важность производства водорода  $H_2$  как основы для разработки синтетического топлива и будущего развития энергетики. Водород  $H_2$  из возобновляемых источников потенциально может быть использован вместе с углеродом для производства синтетического жидкого топлива. Хотя технологию производства  $H_2$  можно рассматривать с учетом выброса, а устойчивые методы производства могут способствовать снижению выбросов углерода.

*Илл. 1, лит. 3 назв.*

*Т. КОХРЕИДЗЕ.*

Сверхпроводящий индуктивный накопитель энергии нового поколения.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 61-63. груз. реф. груз.англ. рус.

На основе сверхпроводящего трансформатора с вращающимся магнитным полем рассматривается сверхпроводящий индуктивный накопитель энергии (СПИНЭ) тороидального типа и преобразователь частоты. Показано, что СПИНЭ могут быть применены для улучшения статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем, покрытия пиковых нагрузок, поддержания напряжения в определенных точках в сетях, а также для хранения электрической энергии.

Получены выражения для расчета индуктивности тороидальной обмотки. Составлена электрическая схема замещения и уравнений СПИНЭ в переходных процессах. Проведен анализ как в стационарных, так и в переходных процессах.

*Илл.2, лит. 2 наз.*

*К.КИГУРАДЗЕ, ИВ. ГРДЗЕЛИДЗЕ*

Корреляционно-регрессионный анализ энергопотребления промышленного предприятия.

“Энергия”. №2(110). 2024. Тбилиси. с. 64-71. англ. реф. груз.англ. рус.

С целью оценки фонового технического состояния предприятия проанализированы исходные (необработанные) данные о выпускаемой продукции и соответствующей потребленной энергии. Базовая модель потребления электроэнергии была разработана с использованием однофакторного корреляционно-регрессионного метода данных. На основе полного статистического анализа были разработаны рекомендации, которые были внедрены на предприятии, и проведен мониторинг данных за последующие 6 месяцев года.

*Илл. 3, табл.4, лит. 5 назв.*

*Л.ПАПАВА, Т.ИСАКАДЗЕ, М.РАЗМАДЗЕ, Г.ГУГУЛАШВИЛИ, Г.ХАРШИЛАДЗЕ.*

Использование энергоэффективной технологии для получения неона и гелия с высокой чистотой.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 72-76. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассмотрена классическая технология переработки концентрата неона и гелия и для получения легких инертных газов показана возможность уменьшения удельных энергетических затрат. При переработке потока смешанных газов неона и гелия выявлены резервы уменьшения эксплуатационных затрат. В схему переработки предложено включение мембранного модуля, в котором осуществляется одновременно выделение потока гелия и обогащение смеси гелием. Эффективность технологии получения гелия и неона повышается за счет увеличения продолжительности рабочего цикла криогенных адсорбентов и одновременного уменьшения количества компрессоров.

*Илл. 2, табл. 1, лит. 10.*

*Л.ХУНЦАРИЯ, М. ГОГБЕРАШВИЛИ, ДЖ.ХУНЦАРИЯ.*

Экономичное кодирование данных без потерь на основе преобразования Уолша.  
“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 77-82. груз. реф. груз.англ. рус.

С целью использования линейных ортогональных преобразований для экономичного кодирования данных без потерь был проведен сравнительный анализ различных типов преобразований. В частности, на основе взаимного сравнения дискретных косинусных преобразований и преобразований Уолша, обоснована возможность использования только преобразования Уолша, поскольку оно обеспечивает 100% точность восстанавливаемых данных. Показано, что это обстоятельство обусловлено представлением элементов базовых матриц преобразования Уолша целыми числами (+1 и -1). При использовании дискретного косинусного преобразования данные восстанавливаются с точностью 0,1%, что неприемлемо для систем кодирования без потерь.

*Лит. 6 назв.*

*С. ДЖАНЕЛИДЗЕ.*

Блокчейн и его использование в энергетике.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 83-89. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассматриваются роль и потенциал технологии блокчейн в энергетике. На основе анализа ключевых особенностей технологии, таких как, децентрализация, прозрачность и неприкосновенность данных, показано, как блокчейн может улучшить энергетические процессы и рыночные отношения. Также рассматриваются потенциальные сферы использования блокчейна: одноранговая торговля, микросети и сертификация возобновляемой энергии. Обсуждаются проблемы, связанные с практической реализацией блокчейна и возможные выгоды для энергетического сектора.

*Илл. 1, лит. 8 назв.*