

Н.Т. РУСТАМОВ¹, Ш.А. БАБАХАН², Б.С. МУХАММАДИЕВ³

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан

E-mail: nassim.rustamov@ayu.edu.kz

²Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан

E-mail: babakhan.shokhrukh@ayu.edu.kz*

³Джизакский политехнический институт, Джизак, Узбекистан

E-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНЕРЦИЯ (LC-КОНТУР) В МИКРОСЕТЯХ

Аннотация. В работе рассматривается вопрос хранения электрической энергии в микросетях на основе использования незатухающего колебательного контура в качестве электромагнитной инерции. Использование этой инерции в микросетях даёт возможность повышения эффективности накопления и перераспределения энергии в автономных и распределённых энергетических системах. Предлагаемый подход ориентирован на снижение энергетических потерь, возникающих при капризах погоды, а также на обеспечение устойчивости работы микросетей в условиях переменной нагрузки. Рассматривается возможность применения колебательных процессов в качестве основы для формирования реактивного энергетического буфера. Анализируются принципы циркуляции энергии в колебательном контуре, особенности поддержания резонансного режима и условия сохранения энергетического потенциала системы. Показано, что использование незатухающего колебательного контура может способствовать повышению коэффициента полезного действия работы микросети в целом и улучшению её динамических характеристик. Полученные результаты могут быть использованы при разработке интеллектуальных энергетических систем, автономных источников электроснабжения и перспективных технологий распределённой энергетики.

Ключевые слова: гибридная микросеть, возобновляемая энергия, колебательный контур, электромагнитная инерция, реактивный буфер, управление процессами.

Н.Т. РУСТАМОВ¹, Ш.А. БАБАХАН², Б.С. МУХАММЕДИЕВ³

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан

E-mail: nassim.rustamov@ayu.edu.kz

²Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан

E-mail: babakhan.shokhrukh@ayu.edu.kz*

³Жизақ политехникалық институты, Жизақ қ., Өзбекстан

E-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com

МИКРОЖЕЛІЛЕРДЕГІ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНЕРЦИЯ (LC ТІЗБЕГІ)

Аңдатпа. Жұмыста сөнбейтін тербелмелі тізбекті электромагниттік инерция ретінде пайдалану негізінде микрожелілерде электр энергиясын сақтау мәселесі қарастырылады. Бұл инерцияны микрожелілерде пайдалану автономды және таратылған

энергетикалық жүйелерде энергияны сақтау және қайта бөлу тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған тәсіл ауа-райының қыңырлығы кезінде пайда болатын энергия шығынын азайтуға, сондай-ақ ауыспалы жүктеме жағдайында микрожелілер жұмысының тұрақтылығын қамтамасыз етуге бағытталған. Тербелмелі процестерді реактивті энергетикалық буферді қалыптастыру үшін негіз ретінде қолдану мүмкіндігі қарастырылады. Тербелмелі тізбектегі энергия айналымының принциптері, резонанстық режимді сақтау ерекшеліктері және жүйенің энергетикалық әлеуетін сақтау шарттары талданады. Сөнбейтін тербелмелі тізбекті пайдалану тұтастай алғанда микрожелінің пайдалы әсер ету коэффициентін арттыруға және оның динамикалық сипаттамаларын жақсартуға ықпал етуі мүмкін екендігі көрсетілген. Алынған нәтижелер зияткерлік энергетикалық жүйелерді, электрмен жабдықтаудың дербес көздерін және таратылған энергетиканың перспективалық технологияларын әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: гибридік микрожелі, жаңартылатын энергия, тербелмелі контур, электромагниттік инерция, реактивті буфер, процесті басқару.

N.T. RUSTAMOV¹, Sh.A. BABAKHAN², B.S. MUKHAMMADIEV³

¹ Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan
E-mail: nassim.rustamov@ayu.edu.kz

² Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan
E-mail: babakhan.shokhrukh@ayu.edu.kz*

³ Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan
E-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com

ELECTROMAGNETIC INERTIA (LC CIRCUIT) IN MICROGRIDS

Abstract. The paper considers the issue of storing electrical energy in microgrids based on the use of an undamped oscillatory circuit as electromagnetic inertia. Using this inertia in microgrids makes it possible to increase the efficiency of energy storage and redistribution in autonomous and distributed energy systems. The proposed approach is aimed at reducing energy losses caused by the vagaries of the weather, as well as ensuring the stability of microgrids under variable load conditions. The possibility of using oscillatory processes as a basis for the formation of reactive energy buffers is being considered. The principles of energy circulation in an oscillatory circuit, the features of maintaining a resonant regime, and the conditions for preserving the energy potential of the system are analyzed. It is shown that the use of an undamped oscillatory circuit can help to increase the efficiency of the microgrid as a whole and improve its dynamic characteristics. The results obtained can be used in the development of intelligent energy systems, autonomous power supply sources and promising distributed energy technologies.

Keywords: hybrid microgrid, renewable energy, oscillatory circuit, electromagnetic inertia, reactive buffer, process control.

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие электроэнергетики характеризуется активным переходом к распределённым системам генерации и интеллектуальным энергетическим сетям. Одним из ключевых направлений данного процесса является развитие микросетей, представляющих собой локальные энергетические системы, способные функционировать как совместно с централизованной сетью, так и автономно (Lasseter, 2002). Особую роль играют системы обеспечения частотной и мощностной синхронизации в функционировании микросети, ещё обеспечивающие компенсацию неустойчивости генерации, возникающей при использовании возобновляемых источников энергии.

Традиционные технологии накопления энергии основаны преимущественно на химических аккумуляторах, суперконденсаторах и электромеханических накопителях.

Однако данные системы обладают рядом недостатков, связанных с ограниченным сроком службы, деградацией материалов, тепловыми потерями и сравнительно низкой эффективностью при длительном хранении энергии (Chen et al., 2009). В связи с этим в последние годы возрастает интерес к альтернативным физическим принципам хранения и передачи энергии.

Существенное внимание уделяется резонансным и колебательным системам, в которых энергия циркулирует между электрическим и магнитным полями. Теоретические основы колебательных процессов были заложены в работах Томсона, Максвелла и Теслы, показавших возможность эффективной передачи и преобразования энергии в резонансных электрических системах (Tesla, 1892). В идеализированном LC-контуре энергия может сохраняться длительное время при минимальном уровне потерь, что представляет значительный интерес для задач энергетического накопления. К сожалению, на практике идеальных LC-контуров не бывает.

Исследования в области беспроводной передачи энергии и резонансных энергетических систем демонстрируют возможность повышения эффективности энергетического обмена за счёт поддержания резонансного режима (Kurs et al., 2007). Вместе с тем вопросы использования незатухающего колебательного контура непосредственно в качестве системы хранения энергии микросетей остаются недостаточно исследованными и требуют дальнейшего теоретического анализа (Rustamov et al., 2025).

Современные исследования микросетей показывают, что эффективность функционирования распределённых энергетических систем существенно зависит от быстродействия и энергетической устойчивости накопителей (Hatziaargyriou, 2014). В этой связи использование незатухающего колебательного контура может рассматриваться как перспективное направление, обеспечивающее снижение потерь, повышение динамической устойчивости системы и возможность быстрого перераспределения энергии между элементами микросети.

Значительный вклад в развитие теории и практики интеллектуальных энергетических систем внесли российские исследователи. В работе (Воропай, 2011) рассматриваются вопросы построения активных энергетических систем, повышения устойчивости распределённых сетей и интеграции накопителей энергии в структуру микросетей. Особое внимание уделяется адаптивности локальных энергетических комплексов и проблемам энергетической эффективности. Исследования в области электромагнитных и резонансных процессов нашли отражение в работах отечественных специалистов по электротехнике и радиофизике. В частности, в работе (Стенников и Пеньковский, 2015) подробно рассматриваются физические основы электрических цепей, колебательных процессов и резонансных режимов в электрических системах. Данные исследования представляют теоретическую основу для анализа незатухающих колебательных контуров.

Вопросы передачи и накопления энергии в высокочастотных и резонансных системах также исследовались в работах (Бессонов, 2007). Эта работа посвящена электродинамическим процессам и взаимодействию электрических и магнитных полей. Современные отечественные исследования в области суперконденсаторных и гибридных накопителей энергии демонстрируют актуальность поиска новых физических принципов энергонакопления для интеллектуальных микросетей (Тамм, 2003).

Таким образом, анализ отечественных и зарубежных исследований показывает, что использование незатухающего идеального колебательного контура в системах хранения энергии микросетей представляет собой перспективное направление, объединяющее методы распределённой энергетики, теорию колебаний и интеллектуальные системы управления.

Целью данной работы является исследование возможности создания реактивного энергетического буфера в микросетях на базе незатухающего колебательного контура, обеспечивающего повышение устойчивости функционирования микросетей и эффективность перераспределения энергии в условиях переменной нагрузки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Современные микросети используют различные технологии накопления электрической энергии, каждая из которых обладает собственными физическими принципами работы, преимуществами и назначениями. Выбор конкретного типа накопителя определяется требованиями к мощности, скорости заряд-разрядных процессов, сроку службы и экономической эффективности.

Наиболее распространённым типом накопителей в микросетях являются электрохимические аккумуляторы, включая литий-ионные, свинцово-кислотные и натрий-ионные системы. Принцип их работы основан на обратимых электрохимических реакциях, обеспечивающих накопление энергии в химической форме.

К преимуществам аккумуляторов относятся высокая удельная энергоёмкость, технологическая зрелость и относительно низкая стоимость в массовом производстве. Однако их использование сопровождается деградацией электродов, ограниченным числом циклов заряд-разряд и потерями при длительном хранении энергии (Chen et al., 2009; Dunn et al., 2011; Дзензерский и др., 2011).

Основное ограничение связано с низкой удельной энергоёмкостью (Conway, 1999; Simon & Gogotsi, 2008; Tarascon & Armand, 2001). К механическим системам относятся гидроаккумулирующие станции, маховиковые накопители и системы сжатого воздуха. Энергия преобразуется в потенциальную или кинетическую форму. Преимуществами являются долговечность и высокая мощность, однако ограничением выступают габариты и инфраструктурная сложность (Ibrahim et al., 2008; Miller & Simon, 2008).

Анализ существующих технологий показывает, что все они основаны на преобразовании электрической энергии в промежуточные формы — химическую, механическую или магнитную. Это приводит к неизбежным потерям и снижению эффективности при длительном хранении.

Это обосновывает необходимость исследования альтернативных решений, включая концепцию незатухающего колебательного контура как потенциальной основы нового класса реактивных энергонакопительных систем для микросетей.

В предлагаемой концепции есть электрическая шина, когда энергия на шине падает — система отдаёт, когда растёт — система забирает, причём это происходит мгновенно и управляемо (рис. 1).

Типичная кольцевая микросеть выглядит примерно так:

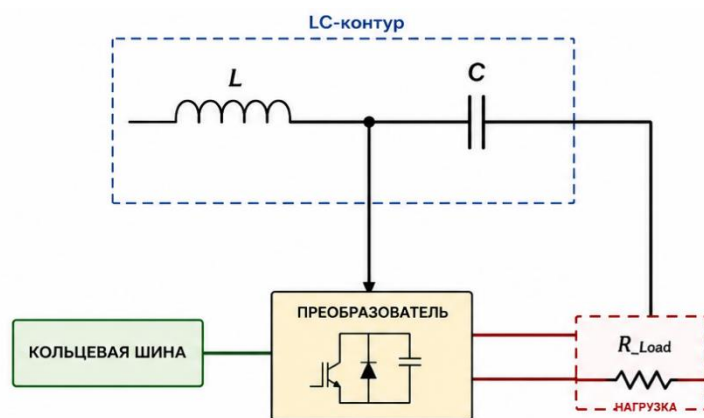


Рисунок 1. Общий вид реактивного инерционного энергетического буфера.

Шина распределяет энергию между источниками и потребителями. Когда мощность колеблется (например, при изменении солнечного потока или пуске двигателя), напряжение на шине «плавает» → теряется КПД и устойчивость.

Схема состоит из трёх частей:

1. Шина. Обозначим: напряжение: $V(t)$; мощность нагрузки $P(t)$

2. Накопитель энергии (буфер). Можно обобщить как запас энергии: $E(t)$

Эти устройства реализуются в виде LC-контура: индуктивность (магнитное поле); конденсатор (электростатика).

3. Управляемый преобразователь. Он регулирует поток мощности: $P_l(t)$

А баланс энергосистемы

$$\frac{dE(t)}{dt} = P_{in}(t) - P_{out}(t) \quad (1)$$

В этой системе: если шина «избыточна» $\rightarrow P_{BT} > 0$; если шина «проседает» $\rightarrow P_{BH} > 0$.

Энергию шины можно описать через эквивалентную ёмкость $C_{шн}$:

$$C_{шн} \frac{dV(t)}{dt} = I_{gen}(t) - I_{load}(t) - I_{buffer}(t) \quad (2)$$

где $I_{буф}(t)$ — ток в/из буфера.

Эта система управляется следующим образом. Описываем обратную связь по отклонению энергии.

Вводим:

$$\Delta V(t) = V(t) - V_{ref} \quad (3)$$

Тогда управление:

$$P_{ctrl}(t) = -k \cdot \Delta V(t) - \tau \frac{d(\Delta V)}{dt} \quad (4)$$

В предлагаемой концепции «инерция» равна динамической задержке реакции системы, которая математически выражается как:

Вторая производная (аналог массы в механике):

$$\tau \frac{d^2 E(t)}{dt^2} + \frac{dE(t)}{dt} = P_{in}(t) - P_{out}(t) \quad (5)$$

Это есть механический аналог массы m ; электрической индуктивности L .

Электрический аналог инерции — индуктивность:

$$V = L \frac{dI}{dt} \quad (6)$$

То есть ток не может измениться мгновенно $\rightarrow$ появляется «электромагнитная инерция».

Объединяем:

$$C_{bus} \frac{dV}{dt} = I_{gen} - I_{load} - I_{buf} \quad (7)$$

Реактивный буфер (инерционный накопитель):

$$L \frac{dI_{buf}}{dt} + RI_{buf} = V_{ctrl} \quad (8)$$

Управляется с помощью V_{ctrl}

$$V_{ctrl} = -k_1(V - V_{ref}) - k_2 \frac{dV}{dt} \quad (9)$$

Это — замкнутая динамическая система второго порядка с отрицательной обратной связью по напряжению шины, где индуктивность играет роль «инерции», а управление создаёт эффект активного демпфирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Добавим колебательный контур, подключённый через управляемый преобразователь (инвертор или DC-DC-модуль) (рис. 2):



Рисунок 2. LC-контур, кольцевая шина и преобразователь.

L — индуктивность (обычно сверхпроводящая катушка или дроссель низких потерь); C — конденсатор большой ёмкости (или банка конденсаторов); преобразователь управляет обменом энергией между LC-контуром и шиной.

Эта система работает следующим образом. При избытке энергии (напряжение в сети растёт): преобразователь направляет ток в LC-контур; энергия накапливается в виде колебаний между L и C .

При дефиците энергии (напряжение падает): преобразователь «разряжает» контур в шину; LC-система мгновенно компенсирует провал мощности.

Контур не хранит энергию долго, но работает как реактивный резонансный буфер, сглаживая пульсации мощности с частотой 50–400 Гц и выше.

Пример. Допустим, у нас микросеть напряжением 400 В DC, и мы хотим создать буфер, способный мгновенно компенсировать 10 кДж (примерно 2,8 Вт·ч).

Пусть LC-контур настроен на резонанс 400 Гц.

$$E = \frac{1}{2} C U^2 = 10\,000 \text{ Дж} \quad (10)$$

$$C = \frac{2E}{U^2} = \frac{20\,000}{(400)^2} = 0,125 \text{ Ф} \quad (11)$$

(То есть 125 мФ — довольно крупная ёмкость.)

Теперь подберём L :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} \approx 1,27 \text{ мкГн} \quad (12)$$

Таким образом:

$L \approx 1,27 \text{ мкГн}$

$C = 125 \text{ мФ}$

дают резонанс 400 Гц, где энергия 10 кДж колеблется между полями.

При этом быстрые колебания нагрузки (миллисекунды) компенсируются LC-буфером. Уменьшаются пиковые токи и потери на реактивной мощности. Повышается стабильность

частоты и напряжения. Основной накопитель (например, батарея) работает в более «спокойном» режиме — срок службы увеличивается.

Таким образом, «управляемый буфер электромагнитная инерция» в строгом виде — это динамически управляемый LC-буфер с обратной связью, который имитирует массу (инерцию) в энергетическом пространстве и сглаживает колебания мощности шины (рис. 3).

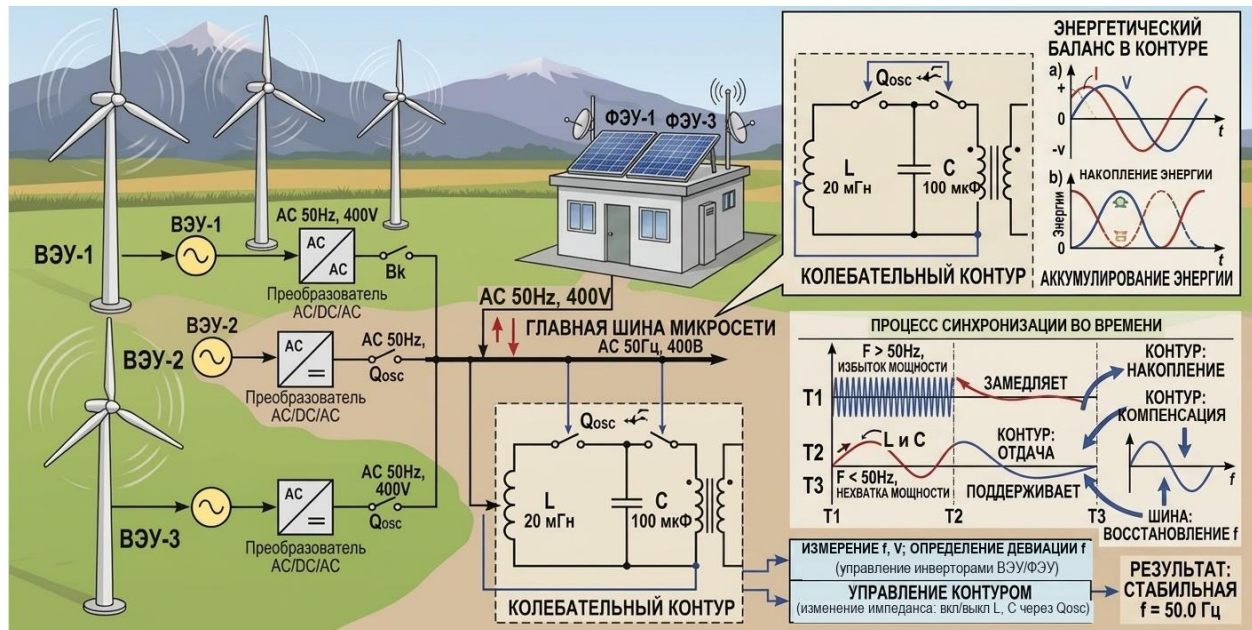


Рисунок 3. Управляемая электромагнитная инерция для синхронизации и стабилизации микросети.

Разберём работу этой системы по «фазам» суток. По сути, перед нами хроника того, как умная система управления балансирует энергию каждую секунду, чтобы потребитель даже не заметил скачков ветра или захода солнца. Такая работа предложенной системы показана на рис. 4.

Ночь и раннее утро. Режим «Дефицит»: Что происходит на графике: Жёлтый слой (генерация) находится на минимуме — работают только ветряки. При этом красный слой (нагрузка) имеет базовое потребление; поведение буфера (бирюзовый слой): он уходит ниже нуля (в отрицательную зону); связь со схемой: включается режим «разрядка буфера ($V_{\text{шн}}$ низкий)». Двухнаправленный DC-DC преобразователь забирает энергию из накопителя (LC-буфер) и «впрыскивает» её в общую шину, чтобы удерживать напряжение $V_{\text{шн}}$ от падения.

Это не просто «накопитель», а активный энергетический демпфер шины, который имитирует инерцию системы через управление потоком мощности.

Дневной пик. Режим «Избыток»: Что происходит на графике: Жёлтый слой резко взлетает вверх — это проснулись солнечные панели. Генерация становится значительно выше красной линии нагрузки; поведение буфера (бирюзовый слой): он пересекает ноль и уходит высоко вверх (в положительную зону); Связь со схемой: Работает режим «зарядка буфера ($V_{\text{шн}}$ высокий)». Система управления видит, что энергии слишком много и напряжение на шине начинает расти. Преобразователь тут же переключается в режим зарядки, «впитывая» излишки тока в буфер.

Вечерний пик. Критический момент. Что происходит на графике. Солнце заходит (жёлтый слой падает), а люди возвращаются домой или на заводах включается вечерняя смена (красный слой — нагрузка — достигает своего максимума). Разрыв между ними огромен; LC-буфер (бирюзовый слой) падает в глубокий минус. Микроколебания (шероховатость линий). Обратите внимание, что линии не идеально гладкие, они «дрожат». Это мгновенные порывы ветра или включение/выключение мелких приборов в нагрузке.

На схеме за их сглаживание отвечает блок «Электромагнитная инерция» (LC-контур). Он работает как гидравлический амортизатор: пока электроника (DC-DC преобразователь) «думает» и переключает режимы, LC-контур за счёт энергии магнитного поля индуктивности и заряда конденсатора мгновенно гасит эти микросекундные всплески тока.

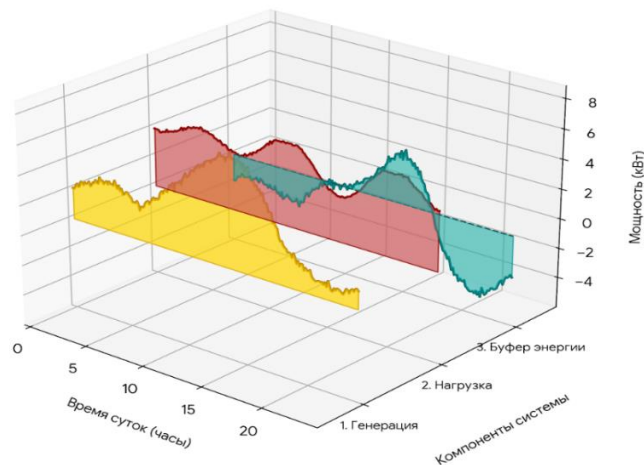


Рисунок 4. Объёмная модель динамики потоков энергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрена концепция реактивной управляемой электромагнитной системы инерции и буферизации энергии, реализуемой как динамическая система с обратной связью по состоянию электрической шины. Показано, что предложенная структура может быть интерпретирована как активный энергетический буфер, основанный на двунаправленном преобразовании мощности между шиной и накопителем энергии.

В отличие от классических пассивных накопителей, рассматриваемая система обладает свойством управляемой «энергетической инерции», которая формируется за счёт взаимодействия элементов накопления (индуктивных и/или ёмкостных) и алгоритма управления. Это позволяет системе не только хранить и мгновенно отдавать энергию, но и динамически сглаживать колебания мощности, возникающие в нагрузке и источниках питания.

Установлено, что поведение системы может быть описано как замкнутый динамический процесс второго порядка с отрицательной обратной связью, где параметры управления определяют степень демпфирования и быстродействия энергетического обмена. Такой подход позволяет интерпретировать процесс буферизации энергии как аналог инерционного движения в механических системах, но в энергетическом пространстве электрической шины.

Таким образом, предложенная концепция может быть использована для разработки систем стабилизации энергопотоков в микросетях, гибридных накопителях энергии и интеллектуальных энергетических контурах с адаптивным управлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Chen, H., Cong, T. N., Yang, W., Tan, C., Li, Y., & Ding, Y. (2009). Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*, 19(3), 291–312. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.07.014>

Conway, B. E. (1999). *Electrochemical supercapacitors: Scientific fundamentals and technological applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3058-6>

Dunn, B., Kamath, H., & Tarascon, J.-M. (2011). Electrical energy storage for the grid: A battery of choices. *Science*, 334(6058), 928–935. <https://doi.org/10.1126/science.1212741>

- Hatzigargyriou, N. (Ed.). (2014). *Microgrids: Architectures and control*. Wiley; IEEE Press. <https://doi.org/10.1002/9781118720677>
- Ibrahim, H., Ilinca, A., & Perron, J. (2008). Energy storage systems—Characteristics and comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5), 1221–1250. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.01.023>
- Kurs, A., Karalis, A., Moffatt, R., Joannopoulos, J. D., Fisher, P., & Soljačić, M. (2007). Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances. *Science*, 317(5834), 83–86. <https://doi.org/10.1126/science.1143254>
- Lasseter, R. H. (2002). MicroGrids. In *2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting: Conference proceedings* (Vol. 1, pp. 305–308). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PESW.2002.985003>
- Miller, J. R., & Simon, P. (2008). Electrochemical capacitors for energy management. *Science*, 321(5889), 651–652. <https://doi.org/10.1126/science.1158736>
- Rustamov, N. T., Meirbekova, O. D., & Babakhan, Sh. A. (2025). Distributed storage of electrical energy in an oscillating circuit. In *National Energy Independence in the Age of Renewable Energy and Digital Technologies: Innovations, Prospects and Social Impact in the Fergana Region: Proceedings of the International Scientific-Technical Conference* (pp. 400–407).
- Simon, P., & Gogotsi, Y. (2008). Materials for electrochemical capacitors. *Nature Materials*, 7(11), 845–854. <https://doi.org/10.1038/nmat2297>
- Tarascon, J.-M., & Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, 414(6861), 359–367. <https://doi.org/10.1038/35104644>
- Tesla, N. (1892). Experiments with alternate currents of high potential and high frequency. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, 21(97), 51–162. <https://doi.org/10.1049/jiee-1.1892.0002>
- Бессонов, Л. А. (2007). *Теоретические основы электротехники. Электрические цепи*. Гардарики.
- Воропай, Н. И. (2011). Интеллектуальные электроэнергетические системы: концепция, состояние, перспективы. *Автоматизация и ИТ в энергетике*, (3), 11–16.
- Дзензерский, В. А., Тарасов, С. В., и Костюков, И. Ю. (2011). *Ветроустановки малой мощности*. Наукова думка.
- Стенников, В. А., и Пеньковский, А. В. (2015). Активные энергетические системы и проблемы их управления. *Известия Российской академии наук. Энергетика*, (1), 3–14.
- Тамм, И. Е. (2003). *Основы теории электричества*. Физматлит.

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors

№	Информация об авторах (Ф.И.О. полностью, ученая степень, место работы или учебы, город, страна, E-mail, сотовый номер автора корреспондента:) на казахском, русском, английском языках
1	Рустамов Насим Тулегенович – техника ғылымдарының докторы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Рустамов Насим Тулегенович – доктор технических наук, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Rustamov Nassim Tulegenovich – Doctor of Technical Sciences, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: nassim.rustamov@ayu.edu.kz ORCID: 0000-0002-6437-6600
2	Бабахан Шохрух Абдилкасымұлы – аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Бабахан Шохрух Абдилкасымұлы – старший преподаватель, Международный

№	Информация об авторах (Ф.И.О. полностью, ученая степень, место работы или учебы, город, страна, E-mail, сотовый номер автора корреспондента:) на казахском, русском, английском языках
	казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Babakhan Shokhrukh Abdilkasimuli – Senior Lecturer, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: babakhan.shokhrukh@ayu.edu.kz ORCID: 0000-0002-7723-0045
3	Мұхаммедиев Бақтияр Сапарұлы – «Метрология және стандарттау» кафедрасы доцентінің м.а., Жизақ политехникалық институты, Жизақ қ., Өзбекстан Мухаммадиев Бахтияр Сапарович – и.о. доцента кафедры «Метрология и стандартизация», Джизакский политехнический институт, г. Джизак, Узбекистан Mukhammadiev Bakhtiyar Saparovich – Acting Associate Professor, Department of Metrology and Standardization, Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan E-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com ORCID: 0000-0001-9143-7854