

2. Babitsky L. F., Moskalevich V. Yu., Belov A. V., et al. Substantiation of the parameters of the cultivator's working body with elastic attachment of the share. *Proceedings of Agricultural Science of Tavrida*. 2023. № 34 (197). Pp. 71-80.
3. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Substantiation of Optimal Modes of Operation of Cultivator Shares on a Vibroshock Suspension. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2017. № 3 (58). Pp. 69-73.
4. Kravchenko L., Chayka Y., Zhurba V. Optimization of the parameters of the spring rack of the cultivator. *BIO Web of Conferences*. 2023. V. 65. 01001.
5. Buryanov A. I., Ignatenko V. I., Ignatenko I. V., Vyalikov I. L. Experimental study of reclining the cultivator's paws on spring racks. *MATEC Web Conf*. 2018. V. 226. 01029.
6. Tyuremnov I. S., Morev A. S., Filatov I. S., Novichikhin A. A., Fedotova I. N. On the Issue of Determining the Numerical Values of the Coefficients of Elastic and Viscous Resistance of the Soil in Rheological Modeling. *Ecology and scientific and technological progress. Urbanism*. Perm: PNRPU. 2014. № 1. Pp. 381-437.
7. Ustinov N. N., Poddubny V. I., Martynenko A. S. Mechanical and Mathematical Model of the Cultivator Working Body for Determining the Traction Resistance under the Action of Vibration. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2017. T. 31. № 3. Pp. 28-31.
8. Anutov R. M., Kotelnikov V. Ya., Kozyavin A. A., et al. Self-oscillations of rigid cultivator working bodies. *Modern high-tech technologies*. 2013. № 2. Pp. 11-13.
9. Anutov R. M., Kotelnikov V. Ya., Kozyavin A. A., et al. Self-oscillations and reduction of resonance loads of self-aligning cultivator working bodies. *Modern high-tech technologies*. 2013. № 1. Pp. 10-12.
10. Singh H., Mehta M. Modeling, simulation and optimization of agricultural tillage process vibrations using an interactive active control system. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 430. P. 01284.
11. Cardei P., Constantin N., Muraru V., et al. The random vibrations of the active body of the cultivators. *Agriculture*. 2023. Vol. 13. No 8. P. 1565.
12. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Turin E. N. Substantiation of Design Parameters of the Pendulum Impact Mechanism of the Working Bodies of a Stubble Cultivator. *Taurida Bulletin of Agrarian Science*. 2022. № 1 (29). Pp. 8-16.
13. Gapich D. S., Schwabauer Y. A., Subbotin S. I., Gubaidulin D. S. Reducing the traction resistance of chisel guns. *Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2023. № 4 (56). Pp. 398-409.

#### Информация об авторах

**Гапич Дмитрий Сергеевич**, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электроснабжение и энергетические системы», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: gds-08@mail.ru

**Капля Егор Викторович**, доцент, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Электроснабжение и энергетические системы», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: ev-kaple@yandex.ru

**Черноусов Павел Сергеевич**, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение и энергетические системы», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26).

**Губайдулин Данияр Саматович**, аспирант кафедры "Электроснабжение и энергетические системы", ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

#### Author's Information

**Gapich Dmitry Sergeevich**, Professor, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: gds-08@mail.ru

**Kaplya Egor Viktorovich**, Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: ev-kaple@yandex.ru

**Chernousov Pavel Sergeevich**, postgraduate student of the Volgograd State Agrarian University, senior lecturer of the Department of Power Supply and Energy Systems of the Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26).

**Gubaidulin Daniyar Samatovich**, postgraduate student of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-39

## MODULAR AGGREGATION OF POWER CONVERTERS OF MOBILE POWER SYSTEMS

**Grigorash O. V., Daus Yu. V., Kvitko A. V., Baryshev P. M.**

*Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin  
Krasnodar, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: zirochka3011@gmail.com

Received 01.03.2024

Submitted 19.04.2024

*The study was carried out with financial support from the Kuban Science Foundation within the framework of scientific project No. MFI-20.1/27*

#### Summary

To improve the operational and technical characteristics of mobile energy systems based on renewable sources, it is proposed to use modular blocks of electricity converters in their design, the connection of which with each other in various ways will allow changing the power of the system, as well as the structure

of the system, depending on the consumer's requirements for reliability electricity supply The main stages of the synthesis of mobile power systems based on renewable sources are revealed and a structural solution for a power system made on modular blocks of electrical energy converters is proposed.

#### Abstract

**Introduction.** It is possible to increase the profitability of small farms remote from the external energy system through the use of mobile energy systems using renewable energy sources in areas with high potential for wind and solar energy. In addition, such systems will increase the efficiency of emergency rescue and emergency restoration work in areas of natural disasters and destruction. The main advantages of mobile power systems, as well as the advantages of modular aggregation of the functional elements of these systems, are considered. The main stages of the synthesis of mobile energy systems based on renewable sources are revealed. Basic power electrical circuits of modular blocks of electricity converters and methods for connecting them to each other are proposed, which make it possible to increase the reliability of operation and installed capacity of a mobile power system, as well as optimize its structure depending on consumer requirements for reliability of electricity, including uninterrupted power supply, and power quality. To improve the operational and technical characteristics of a mobile power system, it is proposed to use the positive property of static converters - to pass energy flows in both directions. A block diagram of a mobile energy system based on modular blocks of static converters has been developed and the features of its operation are revealed. **The purpose of the study** is to develop structural and circuit solutions for modular units of electricity converters to improve the operational and technical characteristics of mobile power systems. **Object of study:** structural and circuit solutions of static electricity converters and mobile power systems. **Object of study:** structural and circuit solutions of static electricity converters and mobile power systems. **Materials and methods.** When conducting research, methods of statistical information processing, theoretical foundations of electrical engineering and power electronic converter technology were used. **Results and conclusions.** Schematic electrical diagrams of modular blocks of electricity converters and methods for connecting them to each other are proposed. A block diagram of a mobile power system based on renewable energy sources and modular blocks of electricity converters has been developed. The features of the operation of modular units of electricity converters and the operation of a mobile power system are considered, which will increase the efficiency of pre-design work on the development of autonomous power plants with improved operational and technical characteristics.

**Keywords:** mobile power systems, renewable energy sources, autonomous power sources, modular aggregation.

**Citation.** Grigorash O. V., Daus Yu. V., Kvitko A. A., Baryshev P. M. Modular aggregation of power converters of mobile power systems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 339-348 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-39.

**Author's contribution.** All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

УДК 620.92

## МОДУЛЬНОЕ АГРЕГАТИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Григораш О. В., доктор технических наук

Даус Ю. В., кандидат технических наук

Квитко А. В., старший преподаватель

Барышев П. М., студент

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина»  
г. Краснодар, Российская Федерация

**Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках  
научного проекта № МФИ-20.1/27**

**Актуальность.** Повысить рентабельность малых фермерских хозяйств, удаленных от внешней энергетической системы, можно за счёт применения мобильных энергосистем, выполненных с использованием возобновляемых источников энергии, в районах с высоким потенциалом ветровой и солнечной энергии. Кроме того, такие системы повысят эффективность проведения аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ в районах стихийных бедствий и разрушений. Рассмотрены основные преимущества мобильных энергосистем, а также преимущества модульного агрегатирования функциональных элементов этих систем. Раскрыты основные этапы синтеза мобильных энергосистем на возобновляемых источниках. Предложены принципиальные силовые электрические схемы модульных блоков преобразователей электроэнергии и способы подключения их между собой, которые позволяют повысить надежность работы и установленную мощность мобиль-

ной энергосистемы, а также оптимизировать ее структуру в зависимости от требований потребителей к надежности электроэнергии, в том числе бесперебойности электроснабжения, и качеству электроэнергии. Для улучшения эксплуатационно-технических характеристик мобильной энергосистемы предложено применить положительное свойство статических преобразователей – пропускать потоки энергии в обоих направлениях. Разработана структурная схема мобильной энергосистемы на базе модульных блоков статических преобразователей и раскрыты особенности ее работы. **Целью исследования** является разработка структурно-схемных решений модульных блоков преобразователей электроэнергии для улучшения эксплуатационно-технических характеристик мобильных энергосистем. **Объект исследования:** структурно-схемные решения статических преобразователей электроэнергии и мобильных энергосистем. **Материалы и методы.** При проведении исследований применялись методы статистической обработки информации, теоретических основ электротехники и силовой электронной преобразовательной техники. **Результаты и выводы.** Предложены принципиальные электрические схемы модульных блоков преобразователей электроэнергии и способы их включения между собой. Разработана структурная схема мобильной энергосистемы на возобновляемых источниках энергии и модульных блоках преобразователей электроэнергии. Рассмотрены особенности работы модульных блоков преобразователей электроэнергии и работы мобильной энергосистемы повысит эффективность предпроектных работ по разработке автономных электростанций с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками.

**Ключевые слова:** мобильные энергосистемы, возобновляемые источники энергии, автономные источники электроэнергии, модульное агрегатирование.

**Цитирование.** Григораш О. В., Даус Ю. В., Квитко А. А., Барышев П. М. Модульное агрегатирование преобразователей электроэнергии мобильных энергосистем. *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 339-348. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-39.

**Авторский вклад.** Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Введение.** Актуальным является направление применение мобильных энергосистем (МЭС) для электроснабжения автономных потребителей электроэнергии малых фермерских хозяйств (МФХ), применяемых при проведении аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ и в других производственных сферах [1, 2]. Традиционные автономные источники электроэнергии (АИЭ) – дизельные и бензоэлектростанции, применяемые в составе современных МЭС, имеют низкие эксплуатационно-технические характеристики, в том числе небольшой ресурс работы, и оказывают отрицательное воздействие на экологию [3]. Сегодня находят широкое применение мобильные комбинированные (гибридные) электростанции, выполненные с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в основном солнечных и ветроэнергетических установок [4, 5].

Основные преимущества МЭС, выполненных на базе ВИЭ [6, 7]:

- возможность быстрого развёртывания;
- автоматическое управление режимами работы, включая изменение структуры системы в зависимости от приоритете нагрузок;
- применение ВИЭ в составе станции увеличивает время ее работы и исключает зависимость от поставки топлива;
- повышенный срок необслуживаемой работы;
- возможность наращивания установленной мощности путем включения на параллельную работу аналогичных станций;
- возможность работать параллельно с основной сетью.

Когда производители комплектуют МЭС, как правило за базовые берутся экономические показатели. И если вопрос с капитальными затратами на момент проектирования МЭС относительно оптимизируется, то проблемы с эксплуатационными затратами не до конца просчитывается, что приводит к постоянному ухудшению эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ) этих станций, и прежде всего понижению показателей надёжности и ремонтпригодности мобильных станций [3, 8].

**Целью исследования** является разработка структурно-схемных решений модульных блоков преобразователей электроэнергии для улучшения ЭТХ мобильных энергосистем.

**Объект исследования:** структурно-схемные решения статических преобразователей электроэнергии и мобильных энергосистем.

**Методика исследования.** При проведении исследований применялись методы статистической обработки информации, теоретических основ электротехники и силовой электронной преобразовательной техники.

**Результаты и их обсуждение.** Как известно, агрегатирование, применительно к энергетике, – это метод синтеза систем, состоящих из оборудования многократно используемого на основе функциональной взаимозаменяемости. Агрегатирование позволяет не создавать новую систему, а в большинстве случаев перекомпоновывать её, используя новое, освоенное производством оборудование, с целью улучшения технико-экономических и ЭТХ системы. При этом принцип модульного агрегатирования подразумевает создание системы на основе модулей. Под модулем понимается составная часть оборудования, преимущественно состоящая из унифицированных или стандартизированных блоков или элементов различного функционального назначения, как правило, выполняющих функции источника или преобразователя параметров электроэнергии, электрических фильтров, коммутационных аппаратов и т.п. За счет того что необходимо постоянно улучшать ЭТХ функциональных элементов, прежде всего из-за того, что повышаются требования к ним со стороны потребителей электроэнергии, происходит их унификация, и развивается агрегатирование. Важной особенностью взаимозаменяемых модульных блоков функциональных элементов системы является то, что они должны иметь идентичные входные и выходные параметры электроэнергии (напряжение, род тока, частота). Кроме того, они должны иметь одинаковый механический крепёж, электрические соединения и массогабаритные размеры, не превышающие установленные показатели.

Преимущества модульного агрегатирования функциональных элементов МЭС [9, 10]:

- высокий уровень мобильности, незначительное время подключения в работу, монтажа и демонтажа, при необходимости, модульных блоков;
- высокая надежность работы, в том числе бесперебойное электроснабжение автономных потребителей за счет наличия нескольких источников электроэнергии, включая возобновляемые и традиционные (аккумуляторные батареи, бензоэлектростанции);
- достаточно просто увеличивается, при необходимости, установленная мощность источников, преобразователей и накопителей электроэнергии путем включения их на параллельную работу;
- сокращается время на проектирования модульных систем для конкретных потребителей электроэнергии, поскольку изменяется только их комплектация;
- упрощается задача по изменению структуры электростанции в зависимости от требований потребителей;
- значительный технико-экономический эффект достигается при эксплуатации за счет сокращения времени на устранение неисправностей, поскольку неисправные модули заменяются на рабочие.

На структуру МЭС и её технико-экономические и ЭТХ в основном оказывают влияние следующие факторы: мощность, напряжение, род тока и режимы работы автономных потребителей электроэнергии, а также требования к качеству электроэнергии.

Как правило, в основном потребителями электроэнергии являются однофазными, реже трёхфазными, переменного тока. А также в составе автономных потребителей отсутствуют потребители первой категории по надёжности электроснабжения, перерыв в электроснабжении которых может повлечь значительный материальный ущерб и нарушения сложных технологических процессов. Что же касается качества электроэнергии, то практически в большинстве своём они требуют для питания электроэнергию с синусоидальным напряжением. К таким потребителям относится в основном двигательная нагрузка [11, 12].

Важный факт, который необходимо учитывать при проектировании МЭС: чем выше требования к качеству электроэнергии, в том числе к бесперебойности электроснабжения, тем сложнее структура и дороже станция. Кроме того, при модульном агрегатировании функциональных элементов МЭС необходимо учитывать достоинства и недостатки двух принципов резервирования работы элементов: полное или частичное.

Полное резервирование предполагает наличие избыточных функциональных элементов в системе, как правило, резервных источников, а также преобразователей электроэнергии, необходимость которых вызвана обеспечением бесперебойного электроснабже-

ния потребителей электроэнергии. При полном резервировании один основной АИЭ обеспечивает электроэнергией потребителей в пиковом режиме, т.е. когда одновременно работает максимальное количество потребителей, предусмотренных технологическим процессом или условиями эксплуатации. При этом второй источник электроэнергии находится в резерве. Основное достоинство данного принципа – высокая надежность электроснабжения, а недостаток – повышенная стоимость, большая масса и габариты МЭС.

При частичном резервировании мощность одного АИЭ меньше максимальной мощности одновременно работающих потребителей. При необходимости повышения мощности источника в работу включается резервный источник, которым может быть также АБ. Основное преимущество данного принципа – пониженная стоимость и улучшенные массогабаритные показатели МЭС. Необходимо отметить следующую особенность частичного резервирования: основной и резервные источники электроэнергии должны быть одной мощности в противоположном случае это может привести к перегрузке одного из источников.

В общем случае задача синтеза структуры МЭС, выполненная на базе модульных блоков преобразователей электроэнергии, должна в себя включать [3, 8]:

- определение мощности и видов источников электроэнергии, в том числе возобновляемых и традиционных (дизельные, бензоэлектростанции и аккумуляторные батареи), мощности преобразователей и стабилизаторов параметров электроэнергии, с учётом требований потребителей к качеству электроэнергии и допустимому времени перерыва в электроснабжении;

- комплектацию функциональными элементами и разработку структуры электростанции с учетом требований потребителей к качеству электроэнергии;

- определение принципа резервирования АИЭ и преобразователей электроэнергии, здесь важным является вопрос учета потенциала ВИЭ;

- автоматическая система управления должна изменять структуру энергосистемы в нормальных и аварийных режимах работы с учётом потенциала ВИЭ и приоритетов нагрузки, обеспечивая наиболее эффективные взаимосвязи;

- электрическая совместимость функциональных элементов, предполагающая их совместное применение по следующим параметрам: мощности, входному и выходному напряжению, роду тока;

- электромагнитная совместимость – это способность электрооборудования совместно функционировать, обеспечивая требуемое качество параметров электроэнергии для нагрузки в условиях взаимно создаваемых ими электромагнитных помех;

- конструктивная совместимость, предполагающая взаимосопрягаемый набор несущих конструкций и разъемных соединений модулей функциональных элементов, позволяющая осуществлять рациональную компоновку в транспортном средстве.

Для эффективного решения рассмотренных задач, направленных на улучшение ЭТХ мобильной энергосистемы, важным является вопрос разработки рационального и компактного структурно-схемного решения функциональных элементов в модульном исполнении.

Разработка единого по структуре функционального модуля автономного источника электроэнергии (АИЭ) для МЭС является практически неразрешимой задачей, поскольку в качестве источника электроэнергии могут быть солнечные (СБ) и аккумуляторные батареи (АБ), ветроэнергетические установки (ВЭУ), традиционные источники – дизельные (ДЭС) или бензоэлектростанции (БЭС). При этом они имеют разные массогабаритные показатели при одной и той же мощности. Кроме того, эти источники генерируют электроэнергию как постоянного, так и переменного тока. В связи с этим необходимо разработать только единые требования к параметрам электроэнергии АИЭ для того, чтобы можно было выбрать необходимый преобразователь и стабилизатор напряжения, а также зарядное устройство для АБ. К примеру, АИЭ постоянного тока должны генерировать напряжение 48 В, а переменного тока – 220 В, такое же должно быть фазное напряжение для трёхфазного источника электроэнергии.

Разработка модульного блока преобразователя электроэнергии, работающего в разных режимах преобразования (выпрямительный или инверторный) и пропускать через себя потоки энергии в обоих направлениях, является разрешимой задачей. Кроме того, на базе таких преобразователей в модульном исполнении, можно создавать устройства, работающие в режимах конвертора и преобразователя частоты [13, 14].

На рисунке 1 (а и б), приведены варианты силовых принципиальных электрических схем модульных блоков преобразователей электроэнергии, выполненные на биполярных транзисторах (на рисунке 1 цепи управления транзисторами не показаны). Автоматическая система управления (АСУ) мобильной энергосистемой синхронно работает с локальными системами управления (ЛСУ) преобразователей. Так, в режиме инвертора АСУ к выводам 1 и 2 модульного блока преобразователя (рисунок 1, а, б) подключает источник напряжения постоянного тока, а к выводам 3 и 4 нагрузку, как правило, согласующий трансформатор (рисунок 1, в). При этом, ЛСУ преобразователем формирует управляющие импульсы для транзисторов VT1, VT4 и VT2, VT3 для мостовой схемы (рисунок 1, а), VT1 и VT2 для полумостовой схемы (рисунок 1, б). В режиме выпрямителя АСУ к выводам 3 и 4, рассматриваемых схем, подключает источник напряжения переменного тока через согласующий трансформатор Т, а к выводам 1 и 2 нагрузку.

Согласующий трансформатор Т также должен быть представлен в виде модульного блока, имеющего выводы 1 и 2 повышенного напряжения, а 3 и 4 пониженного напряжения (рисунок 1, в).

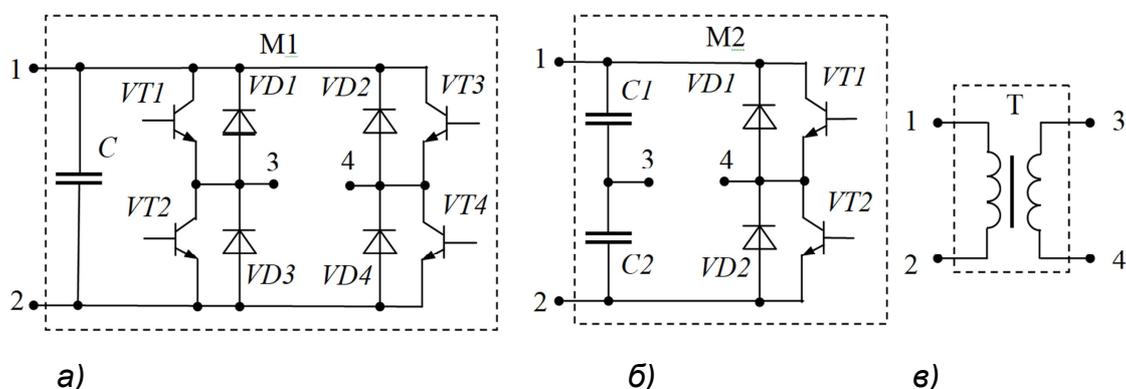


Рисунок 1 – Принципиальные силовые электрические схемы модульных блоков преобразователей электроэнергии: M1 – мостовая схема (а) ; M2 – полумостовая схема (б); модульный блок согласующего трансформатора Т (в)

Figure 1 – Schematic power electrical circuits of modular blocks power converters: M1 – bridge circuit (a); M2 – half-bridge circuit (b); modular block of matching transformer T (v)

На рисунке 2, а приведена структурная схема конвертера, а на рисунке 2, б преобразователя частоты, выполненные на базе, рассмотренных модульных блоков (рисунок 1). На рисунке 2 обозначено:  $U_1$  и  $U_2$  – входное и выходное напряжение постоянного тока; M1.1 и M1.2 – модульные блоки мостовой схемы, M1.1, работает в режиме инвертора, а M1.2 – выпрямителя (рисунок 1, а);  $X_1 - X_8$  – разъемы;  $U_{BX}$  и  $U_{ВЫХ}$  – входное и выходное напряжение переменного тока;  $f_{BX}$  и  $f_{ВЫХ}$  – входная и выходная частота; M2.1 и M2.2 – модульные блоки мостовой схемы, M2.1, работает в режиме выпрямителя, а M2.2 – инвертора (рисунок 1, а).

При проектировании МЭС могут быть применены несколько способов подключения модульных блоков преобразователей электроэнергии к источникам и нагрузке (рисунок 3):

- входы модульных блоков к источнику электроэнергии  $U_{И}$  подключены параллельно и их выходы подключены параллельно на общую нагрузку  $U_{Н}$  (рисунок 3, а);
- входы модульных блоков к источнику электроэнергии  $U_{И}$  подключены последовательно, а их выходы параллельно на общую нагрузку  $U_{Н}$  (рисунок 3, б);
- входы модульных блоков к источнику электроэнергии  $U_{И}$  подключены параллельно, а их выходные напряжения суммируются для питания общей нагрузки  $U_{Н}$  (рисунок 3, в);
- входы модульных блоков к источнику электроэнергии  $U_{И}$  подключены последовательно, а их выходные напряжения суммируются для питания общей нагрузки  $U_{Н}$  (рисунок 3, г).

Первый из способов подключения модульных блоков (рисунок 3, а) применяется при относительно низких значениях напряжения источника напряжения  $U_{И}$  и при широком диапазоне изменения нагрузки. Сегодня широко применяется этот способ повышения мощности преобразовательных устройств (выпрямителей, инверторов), содержащих не-

большой мощности преобразователи. Основными недостатками способа заключается в необходимости синхронизации работы модульных блоков и, соответственно, выравнивании токов нагрузок между параллельно работающими преобразователями.

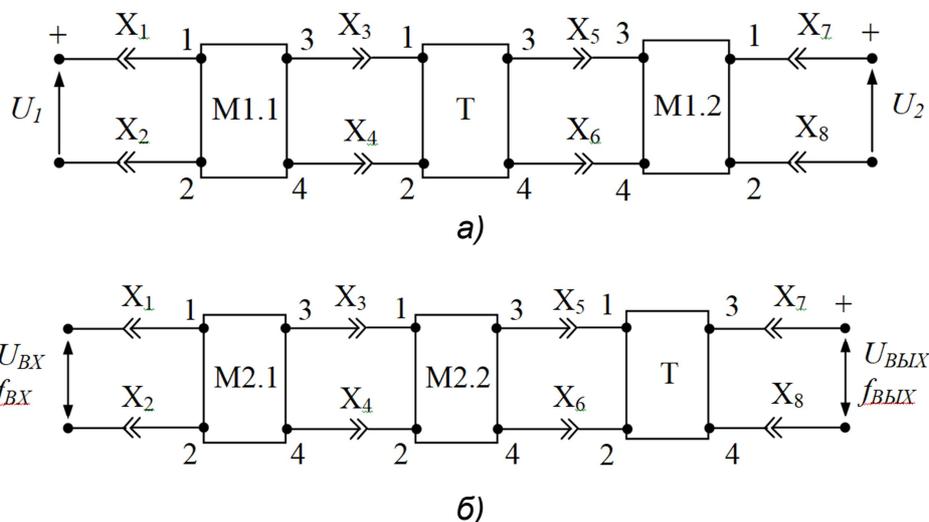


Рисунок 2 – Структурные схемы конвертера (а) и преобразователя частоты (б), выполненные на модульных блоках (рисунок 1)

Figure 2 – Block diagrams of the converter (a) and frequency converter (b), made on modular blocks (Figure 1)

Второй способ подключения модульных блоков (рисунок 3, б) применяется, когда напряжение источника питания  $U_{и}$  превышает значение обратного напряжения на закрытых силовых электронных приборах преобразователей электроэнергии. В этом случае напряжение  $U_{и}$  распределяется между последовательно включенными модульными блоками преобразователей электроэнергии, а на выходе каждого из них будет напряжение равно  $U_{и}/n$ , где  $n$  – число модульных блоков.

Способы подключения модульных блоков, приведенные на рисунках 3, а и б, позволяет реализовать трехфазный источник электроэнергии. Для этого необходимо начало выводов трансформаторов (вторичных обмоток) Т1, Т2 и Т3, соединить между собой (нулевая точка), а концы выводов будут являться фазами А, В и С трехфазной системы напряжений. При этом напряжения задающих генераторов ЛСУ преобразователей должны быть синхронизированы и сдвинуты друг относительно друга на угол  $120^\circ$ .

Третий способ, когда модульные блоки подключаются параллельно к источнику электроэнергии, а их выходное напряжение суммируется и прикладывается к общей нагрузке  $U_{н}$  (рисунок 3, в), является известным способом построения высоковольтных преобразовательных устройств.

Четвёртый способ включения модульных блоков по схеме, приведённой на рисунке 3, г, может применяться при относительно высоком напряжении источника питания  $U_{и}$ .

При построении МЭС на модульных блоках возможны, кроме рассмотренных способов их подключения, и другие различные их комбинации между собой, в том числе применение только одного трансформатора, согласующего напряжение модульных блоков с разными схемами подключения с нагрузкой.

Рассмотренные способы подключения модульных блоков к источнику и нагрузке позволяют решать следующие задачи:

- 1) повысить надежность работы МЭС, поскольку несколько модульных блоков преобразователей электроэнергии могут быть в резерве и при отказе одного из блоков включаться в работу;
- 2) повысить мощность МЭС или выходного напряжения;
- 3) оптимизировать структуру МЭС в зависимости от требований потребителей к надежности электроэнергии, в том числе бесперебойности электроснабжения, и качеству электроэнергии.

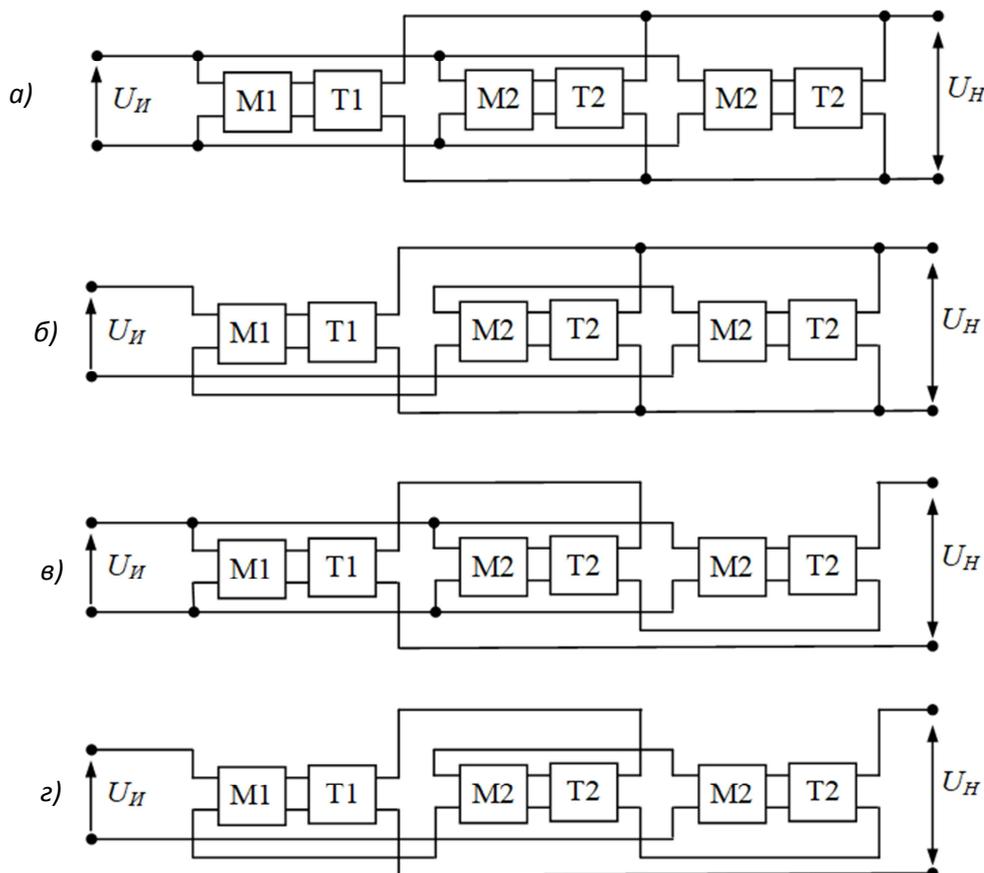


Рисунок 3 – Способы подключения модульных блоков к источнику электроэнергии  $U_{И}$  и нагрузке  $U_{Н}$   
Figure 3 – Methods for connecting modular units to the power source  $U_{I}$  and load  $U_{N}$

Для улучшения ЭТХ мобильных энергосистем целесообразно применить одно из положительных свойств статических преобразователей – пропускать потоки энергии в обоих направлениях [13, 15]. На рисунке 4 приведена структурная схема МЭС, реализующая это свойство, где обозначено: ВЭУ – ветроэнергетическая установка; СБ – солнечные батареи; M1 и M2 модульные блоки преобразователей электроэнергии; АБ – аккумуляторные батареи; Т – модульный блок трансформатора; БЭС – бензоэлектростанция; Н1 и Н2 – нагрузка постоянного и переменного тока, соответственно; Ш1 и Ш2 – шина постоянного и переменного тока соответственно.

Принцип работы МЭС. При подаче сигнала на АСУ (на рисунке 4 не показана) осуществляется запуск станции. В основном режиме функционирования при достаточном уровне потенциала возобновляемых источников ВЭУ и СБ генерируют электроэнергию постоянного тока мощностью  $P_{ВИЭ}$ , которая рассчитана для номинального режима работы нагрузки постоянного и переменного тока Н1 и Н2, а также заряда АБ. В этом режиме модульный блок M1 работает в режиме зарядного устройства АБ, а модульный блок M2, работает в режиме инвертора. АСУ контролирует параметры электроэнергии источников и на шинах Ш1 и Ш2.

Когда  $P_{ВИЭ} < P_{Н}$ , где  $P_{Н}$  – суммарная номинальная мощность потребителей электроэнергии постоянного и переменного тока, работающих одновременно, то АСУ к шине постоянного тока Ш1 подключает АБ. Когда значение энергии АБ уменьшается до критического допустимого разряда, то АСУ в работу включает бензо-электростанцию БЭС. Если суммарной мощности источников электроэнергии будет недостаточно для обеспечения энергией потребителей, тогда АСУ в соответствии с установленным приоритетом нагрузки отключает часть потребителей электроэнергии, т.е. уменьшает мощность потребителей постоянного и переменного тока, обеспечивая электроэнергией ответственных потребителей.

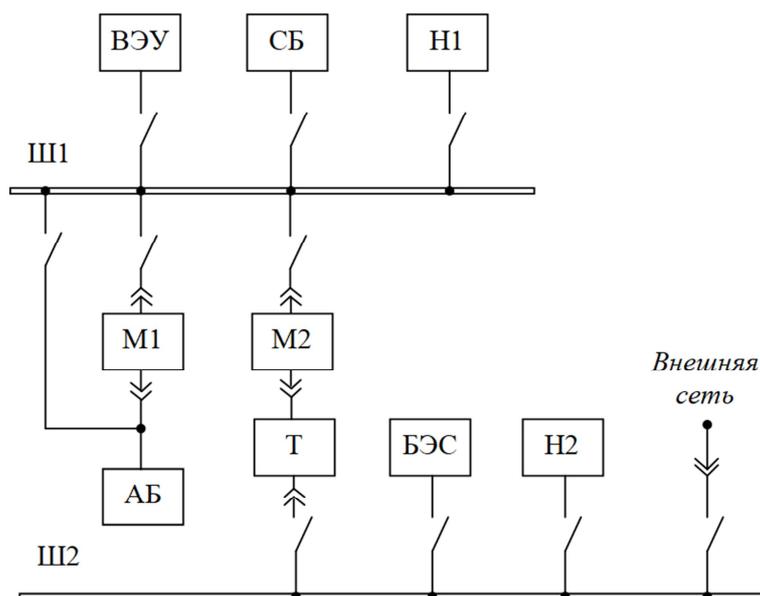


Рисунок 4 – Структурная схема мобильной энергосистемы  
Figure 4 – Block diagram of a mobile power system

**Выводы.** Предложенные структурно-схемные решения преобразователей электроэнергии в модульном исполнении, способы включения их между собой, а также рассмотрены особенности их работы и работы мобильной энергосистемы повысит эффективность предпроектных работ по разработке автономных электростанций с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками.

**Conclusions.** The proposed structural and schematic solutions of electric power converters in modular design, ways to include them among themselves, as well as the peculiarities of their operation and the operation of the mobile power system are considered, will increase the efficiency of pre-design work on the development of autonomous power plants with improved operational and technical characteristics.

#### Библиографический список

1. Tokmoldin S. Z., Klimentov V. V., Girin D. V., et al. Development of a mobile autonomous solar power plant for the needs of agriculture. *News of Higher Educational Institutions. Materials of Electronics Engineering*. 2022. V. 25 (2). Pp. 125-136.
2. Trofimov L. N., Trofimov I. L. Optimization of Capacities of Wind and Solar Power Plants in the Interstate Power Grid in North-East Asia Taking Into Account the Intermittence of Their Power Output. *E3S Web of Conferences*. 2020. V. 209. 04005.
3. Григораш О. В., Денисенко Е. А., Грищенко Д. Н., Барышев П. М. Мобильные ветро-солнечные электростанции: состояние, перспективы и особенности проектирования. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика»*. 2023. Т. 23. № 1. С. 48-55.
4. Gordievsky E., Ibrahim A., Miroshnichenko A. Review of Idea on Development of Mobile Scalable Power-Complex Based on Renewables. *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*. Sochi, 2019. Pp. 1-5.
5. Obaidah M. A., Soroni F., Khan M. M. Development of a Hybrid Power Generation System. *IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*. New York, 2021. Pp. 0717-0722.
6. Parizad A., Hatziadoniu K. J. Multi-Objective Optimization of PV/Wind/ESS Hybrid Microgrid System Considering Reliability and Cost Indices. *North American Power Symposium (NAPS)*. Wichita, KS, 2019. Pp. 1-6.
7. Никитенко Г. В., Коноплев Е. В., Лысаков А. А. Ветро-солнечная система автономного электроснабжения. *Сельский механизатор*. 2018. № 4. С. 28–29.
8. Saymbetov A., Nurgaliyev M., Kuttybay N., Abdullozoda M., Dosymbetova G., Tukymbekov D. Design of autonomous mobile PV system for remote regions. *16th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)*. Romania, 2021. Pp. 1-4.
9. Усков А. Е. Выбор оптимального резервного источника электроснабжения. *Сельский механизатор*. 2022. № 1. С. 36-38.
10. Grab R., et al. Modeling of Photovoltaic Inverter Losses for Reactive Power Provision. *IEEE Access Year*. 2022. V. 10.
11. Кашин Я. М., Копелевич Л. Е., Самородов И. Б. Ветро-солнечный генератор и его характеристики. *Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ»*. 2019. № 6. С. 201-214. <https://ntk.kubstu.ru/tocs/66>.

12. Лаврик А. Ю., Жуковский Ю. Л., Булдыско А. Д. Особенности выбора оптимального состава ветро-солнечной электростанции с дизельными генераторами. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 1. С. 10-17.

13. Григораш О. В., Даус Ю. В., Денисенко Е. А., Коломейцев А. Э. Структурно-схемные решения солнечных автономных инверторов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 439-450.

14. Капустин И. В., Лукашенко А. А. Анализ и исследование систем управления автономным инвертором напряжения. Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. Вып. 1. С. 118-125.

15. Дайчман Р. А. Расчет ветро-солнечной установки малой мощности. Молодой ученый. 2016. № 10 (114). С. 169-173.

#### References

1. Tokmoldin S. Z., Klimenov V. V., Girin D. V., et al. Development of a mobile autonomous solar power plant for the needs of agriculture. News of Higher Educational Institutions. Materials of Electronics Engineering. 2022. V. 25 (2). Pp. 125-136.

2. Trofimov L. N., Trofimov I. L. Optimization of Capacities of Wind and Solar Power Plants in the Interstate Power Grid in North-East Asia Taking Into Account the Intermittence of Their Power Output. E3S Web of Conferences. 2020. V. 209. 04005.

3. Grigorash O. V., Denisenko E. A., Grishchenko D. N., Baryshev P. M. Mobile Wind and Solar Power Plants: Status, Prospects and Design Features. Bulletin of South Ural State University. "Energy" series. 2023. V. 23. No 1. Pp. 48-55.

4. Gordievsky E., Ibrahim A., Miroshnichenko A. Review of Idea on Development of Mobile Scalable Power-Complex Based on Renewables. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Sochi, 2019. Pp. 1-5.

5. Obaidah M. A., Soroni F., Khan M. M. Development of a Hybrid Power Generation System. IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON). New York, 2021. Pp. 0717-0722.

6. Parizad A., Hatziaodoniu K. J. Multi-Objective Optimization of PV/Wind/ESS Hybrid Microgrid System Considering Reliability and Cost Indices. North American Power Symposium (NAPS). Wichita, KS, 2019. Pp. 1-6.

7. Nikitenko G. V., Konoplev E. V., Lysakov A. A. Wind-solar system of autonomous electric supply. Rural machine operator. 2018. № 4. Pp. 28-29.

8. Saymbetov A., Nurgaliyev M., Kutybay N., Abdullozoda M., Dosymbetova G., Tukymbekov D. Design of autonomous mobile PV system for remote regions. 16th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES). Romania, 2021. Pp. 1-4.

9. Uskov A. E. Selection of the optimal reserve source of power supply. Rural Mechanizer. 2022. № 1. Pp. 36-38.

10. Grab R., et al. Modeling of Photovoltaic Inverter Losses for Reactive Power Provision. IEEE Access Year. 2022. V. 10.

11. Kashin Y. M., Kopelevich L. E., Samorodov I. B. Wind-Solar Generator and Its Characteristics. Electronic network polythematic journal "Scientific Works of KubSTU". 2019. № 6. Pp. 201-214. <https://ntk.kubstu.ru/tocs/66>.

12. Lavrik A. Yu., Zhukovsky Y. L., Buldysko A. D. Features of Choosing the Optimal Composition of a Wind-Solar Power Plant with Diesel Generators. News of Higher Educational Institutions. Energy problems. 2020. V. 22. № 1. Pp. 10-17.

13. Grigorash O. V., Daus Y. V., Denisenko E. A., Kolomeitsev A. E. Structural and Schematic Solutions of Solar Autonomous Inverters. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. № 2 (70). Pp. 439-450.

14. Kapustin I. V., Lukashenko A. A. Analysis and Research of Control Systems for Autonomous Voltage Inverter. Proceedings of Tula State University. Technical Sciences. 2019. I. 1. Pp. 118-125.

15. Daichman R. A. Calculation of a low-power wind-solar installation. A young scientist. 2016. № 10 (114). Pp. 169-173.

#### Информация об авторах

**Григораш Олег Владимирович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), e-mail: grigorasch61@mail.ru

**Даус Юлия Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), e-mail: zirochka3011@gmail.com

**Квитко Андрей Викторович**, старший преподаватель кафедры «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), e-mail: 906187001@mail.ru

**Барышев Петр Михайлович**, магистр факультета энергетики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), e-mail: petiabaryshev@mail.ru

#### Author's Information

**Grigorash Oleg Vladimirovich**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Engineering, Heat Engineering and Renewable Energy Sources, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, st. Kalinina, 13), e-mail: grigorasch61@mail.ru

**Daus Yulia Vladimirovna**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering, Thermal Engineering and Renewable Energy Sources, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, st. Kalinina, 13), e-mail: zirochka3011@gmail.com

**Kvitko Andrey Viktorovich**, senior lecturer of the Department of Electrical Engineering, Heat Engineering and Renewable Energy Sources, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, st. Kalinina, 13), e-mail: 906187001@mail.ru

**Baryshev Petr Mikhailovich**, master of the Faculty of Energy, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin" (Russian Federation, 350044, Krasnodar, st. Kalinina, 13), e-mail: petiabaryshev@mail.ru