

14. Malyuba A. D., Zeitoun A., Edrees, Wafa M. Competitive Adsorption of Quaternary Metal Ions, Ni²⁺, Mn²⁺, Cr⁶⁺, and Cd²⁺, on Acid-Treated Activated Carbon. Water. 2023. No 15. 1070.
15. Mahendra Sh., Tibor H. Electrochemical Detection of Heavy Metal Ions Based on Nanocomposite Materials. Journal of Composites Science. 2023. No 7. P. 473.
16. Roshni K., Sivaiah B., Mohanta, Jhilirani, Qaiyum Md. Dey, Banashree, Samal, Priyanka, Dutta, Soumen D. Dye sequestration from aqueous phase using natural and synthetic adsorbents in batch mode: Present Status and Future Perspectives. International Journal of Environmental Science and Technology. 2023.
17. Khan Shahnoor, Imteaz Monzur. Column Experiments on Arsenic Removal Through Adsorption From Water Using Different Natural and Synthetic Adsorbents. 2021.
18. Huiping Z., Zhai, Longxue, Zhang Jn, Li D. As(V) adsorption by a novel core-shell magnetic nanoparticles prepared with Iron-containing water treatment residuals. Science of The Total Environment. 2020. V. 753. 142002.

Информация об авторах

Бочарников Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Денисова Мария Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: masha2008-1988@mail.ru

Тронеv Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: stronev@mail.ru

Овчинников Алексей Семенович, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: oas_volgau@mail.ru

Бочарникова Олеся Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru

Козинская Ольга Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: kozinska1977@mail.ru.

Author's Information

Bocharnikov Viktor Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Denisova Maria Alekseevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), e-mail: masha2008-1988@mail.ru

Tronev Sergey Viktorovich, Doctor of Engineering Sciences, professor of the department "Operation and technical service of machines in the AP Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), e-mail: stronev@mail.ru

Ovchinnikov Aleksey Semenovich, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, professor, head of the department of "Applied geodesy, environmental management and water use" Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), e-mail: oas_volgau@mail.ru

Bocharnikova Olesya Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru

Kozinskaya Olga Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geodesy, Environmental Management and Water Use, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26), e-mail: kozinska1977@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-38

THE INVERTER FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS

Grigorash O. V., Daus Yu. V., Denisenko E. V., Kolomeitsev A. E.

Kuban State Agrarian University
Krasnodar, Russian Federation

Corresponding author E-mail: zirochka2505@gmail.com

Received 25.01.2024

Submitted 25.03.2024

The research was carried out with the financial support of the Kuban Scientific Foundation within the framework of the scientific project No. IFI-20.1/27

Summary

A functional diagram of an autonomous inverter and an algorithm for the operation of its automatic control system have been developed, using an intermediate high-frequency voltage conversion and a reversible rectifier converting its industrial frequency level. The proposed circuit design of the inverter increases the reliability of its operation and improves its weight and size indicators.

Abstract

Introduction. Autonomous power supply systems operating on renewable energy sources use autonomous inverters (AI), which convert DC voltage into alternating current. An analysis of known structural solutions of AI showed that they have disadvantages: low reliability of operation due to the large number of power electronic devices, and accordingly increased weight and size indicators. A functional diagram of AI is proposed, where an intermediate high-frequency conversion of electricity is used, which has a reduced number of power electronic devices due to the transformer, the primary and secondary windings of which have mid-point terminals, the high-frequency voltage is converted to the industrial frequency level by a reversing rectifier. An algorithm for the operation of an automatic AI control system for voltage conversion and stabilization has been developed. The proposed AI circuit solutions made it possible to increase the reliability of the inverter and improve its weight and size characteristics. **The purpose of the study** is to develop a functional diagram of an autonomous inverter with improved reliability indicators and weight and size indicators, as well as an algorithm for the operation of its automatic control system. **The object of research:** structural and functional circuits of autonomous inverters. **Materials and methods.** During the research, methods of theoretical foundations of electrical engineering, power electronic converter technology and methods of statistical information processing were used. **Results and conclusions.** The developed structural and circuit solution for converting a DC voltage into a sinusoidal AC voltage, made using an intermediate high-frequency conversion, has improved reliability and weight and size indicators in comparison with known AI technical solutions, by reducing the number of electronic devices in the power part of the converter and simplifying the control circuit.

Keywords: renewable energy sources, autonomous power supply systems, inverters.

Citation. Grigorash O. V., Daus Yu. V., Denisenko E. A., Kolomeitsev A. E. The Inverter for autonomous power supply systems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 2(74).315-323 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-02-38.

The author's contribution. All the authors of the study were directly involved in the analysis of technical solutions of inverters, work planning and the development of a new functional circuit of the inverter. All the authors have read and approved the proposed final version of this article.

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

УДК 621.314

ИНВЕРТОР ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Григораш О. В., доктор технических наук, профессор

Давс Ю. В., кандидат технических наук, доцент

Денисенко Е. А., кандидат технических наук, доцент

Коломейцев А. Э., соискатель

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. В автономных системах электроснабжения, работающих на возобновляемых источниках энергии, применяются автономные инверторы (АИ), преобразующие напряжение постоянного тока в переменный ток. Анализ известных структурных решений АИ показал, что они имеют недостатки: низкие показатели надёжности работы из-за большого числа силовых электронных приборов и, соответственно, повышенные массогабаритные показатели. Предложена функциональная схема АИ, где применяется промежуточное высокочастотное преобразование электроэнергии, имеющего уменьшенное количество силовых электронных приборов за счёт трансформатора первичная и вторичная обмотки которого имеет выводы средних точек, высокочастотное напряжение реверсивным выпрямителем преобразуется до уровня промышленной частоты. Разработан алгоритм работы автоматической системы управления АИ по преобразованию и стабилизации напряжения. Предложенные схемотехнические решения АИ позволили повысить надёжность работы инвертора и улучшить его массогабаритные показатели. **Цель исследования** – разработать функциональную схему автономного инвертора с улучшенными показателями надёжности и массогабаритными показателями, а также алгоритм работы его автоматической системы управления. **Объект исследования:** структурные и функциональные схемы автономных инверторов. **Материалы и методы.** При проведении исследований применялись методы теоретических основ электротехники, силовой электронной преобразовательной техники и методы статистической обработки информации. **Результаты и выводы.** Разработанное структурно-схемное решение преобразователя напряжения постоянного

тока в синусоидальное напряжение переменного тока, выполненное с использованием промежуточного высокочастотного преобразования, имеет улучшенные показатели надёжности и массогабаритные показатели в сравнении с известными техническими решениями АИ, за счёт уменьшения количества электронных приборов в силовой части преобразователя и упрощения схемы управления.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, автономные системы электропитания, инверторы.

Цитирование. Григораш О. В., Даус Ю. В., Денисенко Е. А., Коломейцев А. Э. Инвертор для автономных систем электроснабжения. *Известия НВ АУК*. 2024. 2(74). 315-323. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-38.

Авторский вклад. Все авторы исследования принимали непосредственное участие в анализе технических решений инверторов, планировании работы и разработке новой функциональной схемы инвертора. Все авторы ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант настоящей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сегодня динамично развиваются возобновляемые источники энергии (ВИЭ) [1, 2]. Это приведёт к развитию электроэнергетики, включающей автономные энергосистемы, предназначенные для обеспечения электроэнергией потребителей, удаленных от внешней энергосети. К этим потребителям относятся потребители автономных систем электроснабжения (АСЭ), предназначенных для проведения аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ в районах стихийных бедствий и разрушений, обеспечения энергией малых фермерских хозяйств, потребителей геологоразведочных работ и т.п. [3, 4].

Как известно, в составе АСЭ в качестве источников электроэнергии применяются не только солнечные и аккумуляторные батареи, но в последнее время активно начали применяться роторные ветроэнергетические установки, генерирующие напряжение постоянного тока [5, 6]. Поскольку, как правило, большинство потребителей работают на переменном токе, то неотъемлемой частью АСЭ являются автономные инверторы (АИ), преобразующие напряжение постоянного тока в переменный ток, а также согласуют уровни напряжения источника с потребителями электроэнергии. АИ в большинстве случаев также выполняют функцию стабилизатора напряжения. Источниками электроэнергии АИ, как правило, являются солнечные и аккумуляторные батареи, могут быть также ветроэнергетические установки, генерирующие напряжение постоянного тока [7, 8].

Проводился анализ известных структурно-схемных решений АИ, применяемых в АСЭ [4, 7-10]. Определены особенности их конструкции и проведён анализ работы в основных режимах функционирования АСЭ. Эксплуатируемые преобразователи напряжения постоянного тока в переменный, имеют следующие недостатки: относительно низкие показатели надёжности работы из-за большого числа электронных приборов в силовой схеме и, соответственно, сложной системы управления, а также имеют повышенные массогабаритные показатели.

Цель исследования – разработать функциональную схему автономного инвертора с улучшенными показателями надёжности и массогабаритными показателями, а также алгоритм работы его автоматической системы управления.

Объект исследования: структурные и функциональные схемы автономных инверторов.

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

Результаты и их обсуждение. Эффективным способом уменьшения числа силовых электронных приборов в составе схемы АИ является применение трансформатора, который содержит среднюю точку в первичной и вторичной обмотках. Кроме того, значительно можно уменьшить массогабаритные показатели трансформатора и реактивных элементов схемы инвертора, применяемых в составе выходного фильтра, если повысить частоту промежуточного преобразования энергии (1,5-2 кГц и более) [4]. Предлагается для преобразования частоты до промышленного уровня в составе инвертора применить реверсивный выпрямитель (РВ).

На рисунке 1 приведена разработанная функциональная схема АИ с промежуточным высокочастотным преобразованием, выполненная с использованием РВ, а на рисунке 2 приведены диаграммы напряжений, поясняющие принцип её работы.

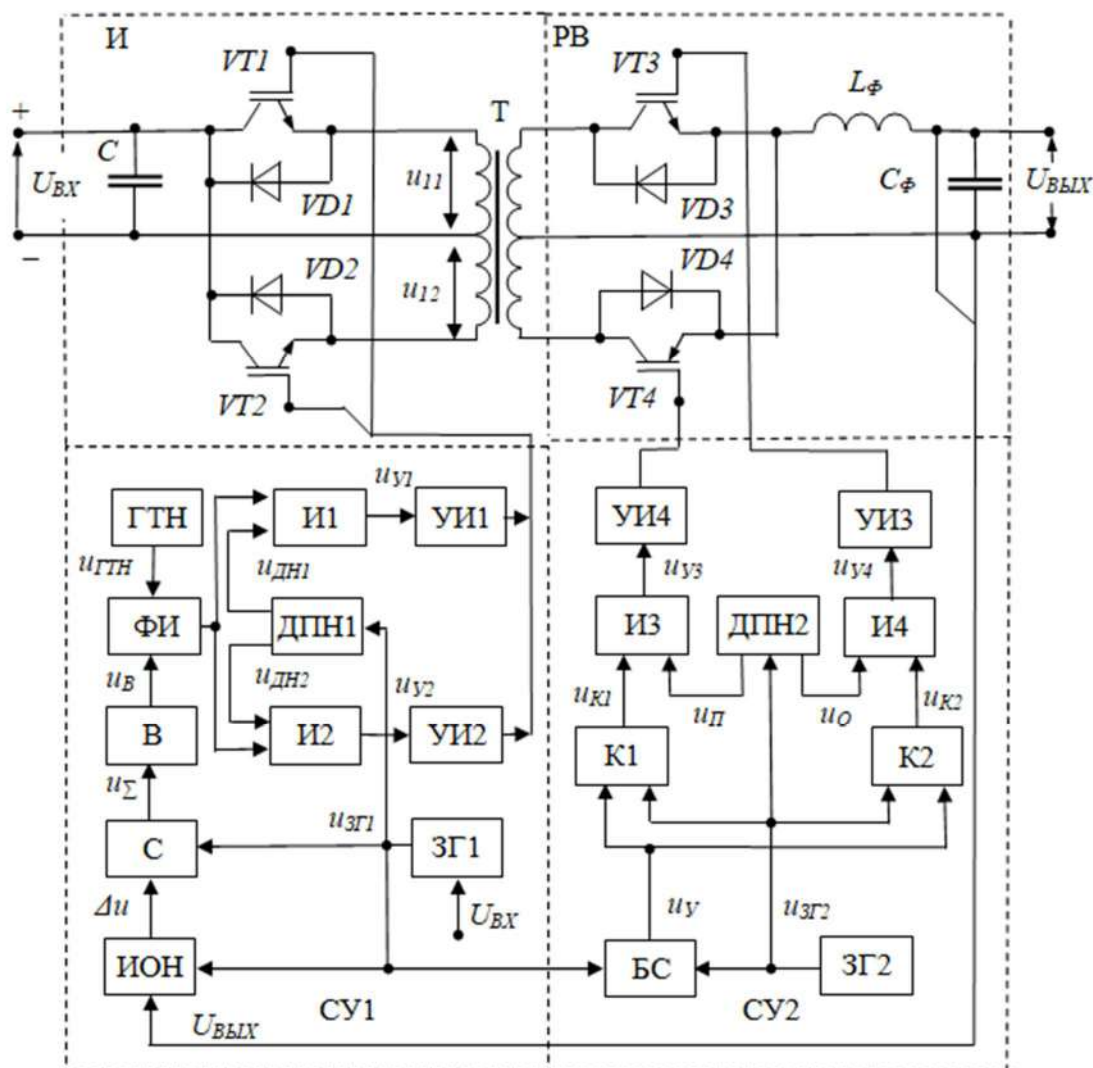


Рисунок 1 – Функциональная схема преобразователя с высокочастотным промежуточным преобразованием на реверсивном выпрямителе

Figure 1 – Functional diagram of a converter with a high-frequency intermediate conversion on a reversible rectifier

Силовая часть функциональной схемы АИ (рисунок 1) содержит: С – конденсатор, выполняющий функции входного фильтра; И – высокочастотный инвертор, преобразующий постоянное напряжение в высокочастотное напряжение переменного тока, выполненный на транзисторах VT1 и VT2; Т – трансформатор; РВ – реверсивный выпрямитель, формирующий напряжение с частотой тока 50 Гц из участков высокочастотного напряжения, выполненный на транзисторах VT3 и VT4, содержащий выходной пассивный Г-образный фильтр, выполненный на реактивных элементах C_ϕ и L_ϕ ; VD1–VD4 – обратные диоды, предназначенные для защиты от обратных токов, которые могут возникнуть при работе транзисторов преобразователя и при включении или отключении потребителей электроэнергии.

На рисунке 1 показаны также СУ1 – блок автоматической системы управления, формирующий управляющие сигналы для транзисторов VT1 и VT2, высокочастотной схемы преобразования, и СУ2 – блок автоматической системы управления СУ2, формирующий управляющие сигналы для транзисторов VT3 и VT4 реверсивного выпрямителя РВ. На рисунке 1 источник питания постоянного тока функциональных элементов блоков управления СУ1 и СУ2 не показан.

Принцип работы блока автоматической системы управления СУ1 по преобразованию напряжения постоянного тока в переменный и блока системы управления СУ2 по преобразованию высокочастотного напряжения в напряжение пониженной частоты описан алгоритмом, который приведён на рисунке 2.

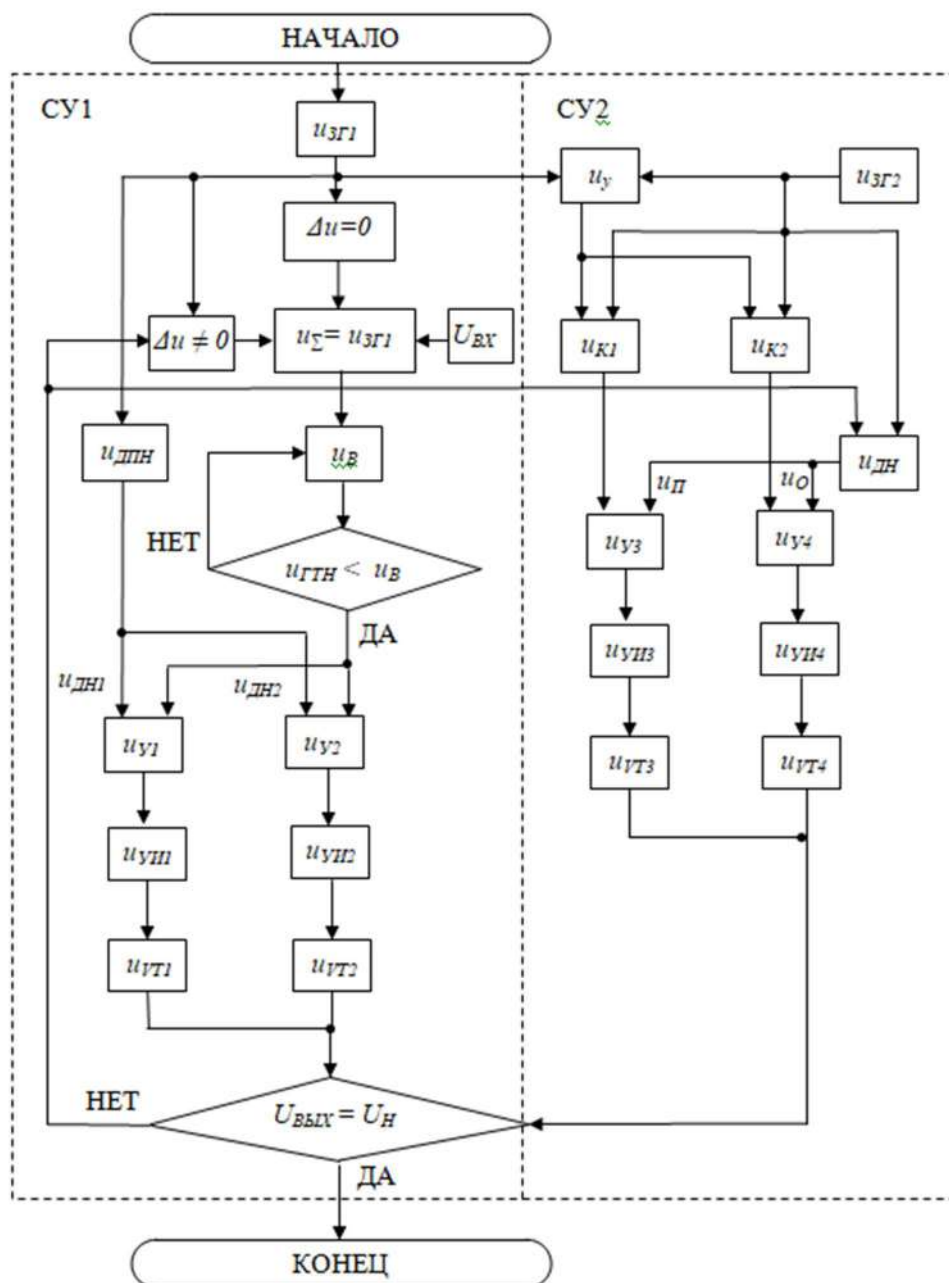


Рисунок 2 – Алгоритм работы блоков систем управления СУ1 и СУ2 по преобразованию и стабилизации напряжения

Figure 2 – Algorithm of operation of control system units SU1 and SU2 on voltage conversion and stabilization

Исходными данными являются: входное и выходное напряжение преобразователя $U_{ВХ}$ и $U_{ВЫХ}$; частота высокочастотного преобразования $u_{3Г1}$, амплитуда которого ограничивается значением напряжения $U_{ВХ}$; частота на выходе преобразователя $u_{3Г2}$; частота генератора треугольного напряжения $u_{ГТН}$. Номинальный режим работы соответствует равенству выходного напряжения преобразователя номинальному значению, т.е. когда $U_{ВЫХ} = U_{Н}$.

Преобразование напряжения постоянного тока в переменный ток происходит следующим образом (работа блока СУ1). Задающий генератор ЗГ1 (рисунок 1) формирует сигнал $u_{3Г1}$ синусоидальной формы повышенной частоты, который синхронизирует работу датчика полярности напряжения ДПН1, сумматора С, измерителя отклонения напряжения ИОН и блока синхронизации БС блока автоматической системы управления СУ2. Вход измерителя отклонения напряжения ИОН, соединён с выходом преобразователя. В измерителе происходит измерение отклонения напряжения Δu от номинального значения. В номинально режиме работы $\Delta u = 0$, в этом случае сигнал с выхода сумматора $u_{\Sigma} = u_{3Г1}$ (рисунок 2). На выходе выпрямителя В формируется сигнал напряжения постоянного тока u_{B1} (рисунок 3, б). В формирователе импульсов ФИ происходит сравнение двух сигналов u_{B1} и сигнала $u_{ГТН}$, который формируется генератором треугольного напряжения ГТН (рисунок 1). Когда $u_{ГТН} < u_{B1}$ (рисунок 2) на выходе формирователя импульсов ФИ формируются управляющие импульсы (рисунок 3, б). Эти импульсы поступают на первые входы логических элементов И1 и И2 (рисунок 1). Логический элемент И1 срабатывает, когда на второй его вход поступает сигнал $u_{ДН1}$ о положительной полярности $u_{3Г1}$, а на логический элемент И2, когда на второй его вход поступает сигнал $u_{ДН2}$ об отрицательной полярности сигнала $u_{3Г1}$. Сигналы о полярности напряжения $u_{3Г1}$ формирует датчик полярности напряжения ДПН1 (рисунок 1).

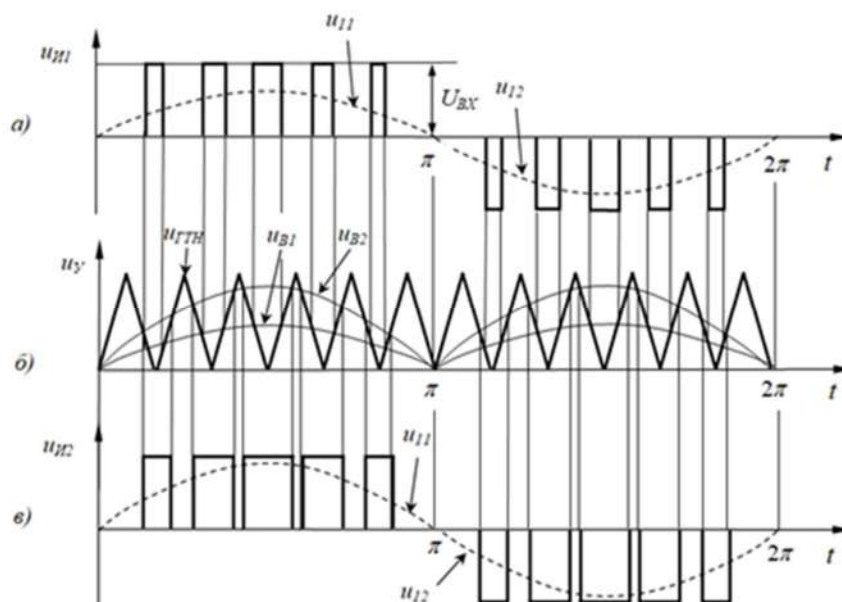


Рисунок 3 – Диаграммы напряжений, поясняющие принцип преобразования и стабилизации напряжения

Figure 3 – Voltage diagrams explaining the principle of voltage conversion and stabilization

Управляющие импульсы u_{y1} и u_{y2} выхода логических элементов И1 и И2 через усилитель импульсов УИ1 и УИ2, соответственно, открывают поочередно транзисторы VT1 и VT2. В результате из постоянного напряжения посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ), формируется положительная и отрицательная полуволна синусоидального высокочастотного напряжения u_{11} и u_{12} соответственно (рисунок 3, а). Это напряжение прикладывается к первичным обмоткам трансформатора Т (рисунок 1).

При изменении величины или характера нагрузки блок автоматической системы управления СУ1 стабилизирует напряжение на выходе преобразователя u_{B1X} . К примеру, если напряжение u_{B1X} уменьшится, то это приведёт к увеличению напряжения на выходе сумматора С, т.е. $u_{\Sigma} = u_{3Г1} + \Delta u$. В результате увеличится выходное напряжение выпрямителя $u_{B2} > u_{B1}$ (рисунок 3, б). С учётом условия, что управляющие импульсы формируются когда $u_{ГТН} < u_{B2}$, то увеличится ширина модулирующих импульсов (рисунок 3, в) и амплитуда напряжений u_{11} и u_{12} на первичных обмотках трансформатора Т (рисунок 1). В результате увеличится значение выходного напряжения u_{B1X} преобразователя.

Принцип работы блока автоматической системы управления реверсивным выпрямителем СУ2 по преобразованию высокочастотного напряжения переменного тока в напряжение пониженной частоты. Задающий генератор ЗГ2 формирует синусоидальный сигнал $u_{ЗГ2}$ пониженной частоты, требуемый для нагрузки (рисунок 4, а). Этот сигнал поступает на второй вход блока синхронизации БС (рисунок 1). При выполнении условия когда $u_{ЗГ2} < u_{ЗГ1}$ на выходе блока синхронизации БС формируются управления импульсы u_y (рисунок 4, б), которые поступают на первые входы компараторов К1 и К2 (рисунок 1). Длительность импульсов на выходе компараторов u_{K1} и u_{K2} зависит от отношения амплитуды напряжений задающих генераторов ЗГ1 и ЗГ2, т.е. от $u_{ЗГ1} / u_{ЗГ2}$ (рисунок 4, в). Управляющие импульсы u_{K1} и u_{K2} с компараторов К1 и К2 поступают на первые входы логических элементов И3 и И4. Логический элемент И3 срабатывает, когда на второй его вход поступает сигнал о положительной полярности u_n напряжения $u_{ЗГ2}$, а логический элемент И4 срабатывает когда на второй его вход поступает сигнал u_o об отрицательной полярности напряжения $u_{ЗГ2}$. Сигналы о полярности напряжения $u_{ЗГ2}$ поступают от датчика полярности напряжения ДПН2 (рисунок 1). Управляющие импульсы u_{y3} и u_{y4} от логических элементов И1 и И2 через усилители импульсов УИ3 и УИ4 соответственно поступают на управляющие электроды транзисторов VT3 и VT4. В результате срабатывания этих транзисторов из участков высокочастотного напряжения на выходе преобразователя формируется синусоидальное напряжение низкой частоты $U_{ВЫХ}$ (рисунок 4, г).

Выходной фильтр, выполненный на дросселе L_ϕ и конденсаторе C_ϕ , подавляет амплитуды напряжений высших гармоник, т.е. обеспечивает требуемое качество выходного напряжения $U_{ВЫХ}$, которое формируется из участков высокочастотного напряжения (рисунок 4, г).

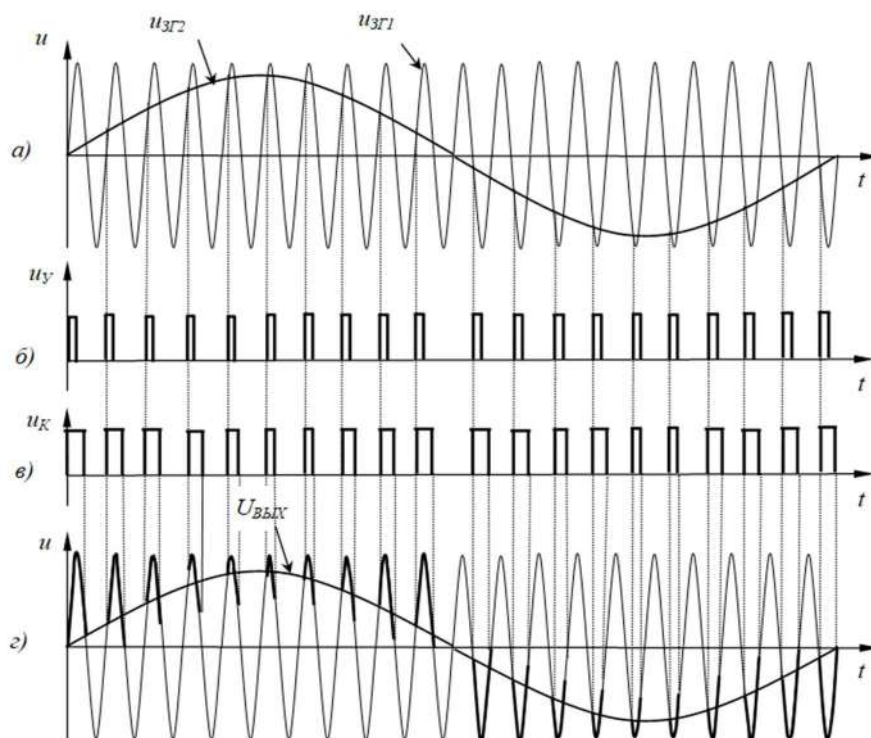


Рисунок 4 – Диаграммы напряжений, поясняющие принцип работы реверсивного выпрямителя
Figure 4 – Voltage diagrams explaining how a reversible rectifier works

Таким образом, поочередная работа транзисторов VT1 и VT2 обеспечивает преобразование постоянного напряжения в высокочастотное синусоидальное напряжение по средством СУ1. Кроме того блок автоматической системы управления СУ1 осуществляет стабилизацию напряжения при его изменениях. Реверсивный выпрямитель, выполненный транзисторах VT3 и VT4, преобразует высокочастотное напряжение в напряжение с промышленной частотой тока по средством блока автоматической системы управления СУ2.

Анализ прайс-листов ведущих производителей оборудования ВИЭ показал, что стоимость только комплектующих для разработки, предложенного технического решения АИ мощностью 1 кВт не превысит 5-7 тыс. руб в зависимости от производителя. Цена АИ мощностью 1 кВт Китайских производителей превышает 22 тыс. руб, отечественных производителей в среднем в 1,5 раза больше, а европейских почти в 2 раза больше. При использовании математического аппарата приведенного в [1, 2] расчёты показателей надёжности показали, что наработка до первого отказа и, соответственно, ресурс непрерывной работы предложенной схемы АИ примерно 1,2-1,3 раза превышает ресурс работы известных технических решений аналогов, где применяется ШИМ выходного напряжения и промежуточное высокочастотное преобразование напряжения. КПД преобразователя повысится на 2–3%, а масса уменьшится примерно на 10%.

Закключение. Разработанное структурно-схемное решение преобразователя напряжения постоянного тока в синусоидальное напряжение переменного тока, выполненное с использованием промежуточного высокочастотного преобразования, трансформатора, содержащего в первичной и вторичной обмотках выводы средних точек, и реверсивного выпрямителя, имеет улучшенные показатели надёжности и массогабаритные показатели в сравнении с известными техническими решениями АИ, за счёт уменьшения количества электронных приборов в силовой части преобразователя и упрощения схемы управления.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на исследование электромагнитной совместимости АИ с источниками электроэнергии и оптимизацию структурно-схемных решений АСЭ с их применением для улучшения основных показателей оценки эффективности автономной системы [6, 11-13].

Conclusions. The developed structural and circuit solution of a DC voltage converter to a sinusoidal AC voltage, made using an intermediate high-frequency conversion, has improved reliability and weight and size indicators in comparison with known AI technical solutions, by reducing the number of electronic devices in the power part of the converter and simplifying the control circuit.

Библиографический список

1. Григораш О. В., Денисенко Е. А., Квитко А. В., Грищенко Д. Н., Барышев П. Г. Энергоэффективные и энергосберегающие автономные системы электроснабжения на ветро-солнечных электростанциях для малых фермерских хозяйств: монография. Краснодар: КубГАУ, 2023. 180 с.
2. Денисенко Е. А., Барышев П. М. Особенности проектирования солнечных фотоэнергетических станций: монография. Краснодар: КубГАУ, 2022. 120 с.
3. 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). Oradea, Romania, 2021. Pp. 1-4.
4. 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.
5. Кашин Я. М., Копелевич Л. Е., Самородов И. Б., Ким В. А., Артеян К. З. Ветро-солнечный генератор и его характеристики. Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2019. № 6. С. 201-214.
6. Лаврик А. Ю., Жуковский Ю. Л., Лаврик А. Ю., 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.
7. Капустин И. В., Лукашенко А. А. Анализ и исследование систем управления автономным инвертором напряжения. Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. Вып. 1. С. 118-125.
8. Kou G., Le Chen, VanSant Ph., Velez-Cedeno F., Liu Y. Fault Characteristics of Distributed Solar Generation. IEEE Transactions on Power Delivery. 2020. V. 35. I. 2.
9. Grab R., Hans F., Mariano Ivan Rojas Flores, Schmidt H., Soenke Rogalla, Engel B. Modeling of Photovoltaic Inverter Losses for Reactive Power Provision. IEEE Access. 2022. V. 10.
10. Serban E., Pondiche C., Ordonez M. Modulation Effects on Power-Loss and Leakage Current in Three-Phase Solar Inverter. IEEE Transactions on Energy Conversion. 2019. V. 34. I. 1.
11. Усков А. Е. Выбор оптимального резервного источника электроснабжения. Сельский механизатор. 2022. № 1. С. 36-38.
12. Измайлов А. Ю., Дидмандзе О. Н., Асадов Д. Г. и др. Техническая эксплуатация мобильных электроагрегатов. Москва: ООО "Триада", 2016. 320 с.
13. Дидмандзе О. Н., Солнцев А. А., Парлюк Е. П., Пуляев Н. Н. Основы эффективного использования накопителей энергии в тягово-транспортных средствах. Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2020. 200 с.

References

1. Grigorash O. V., Denisenko E. A., Kvitko A. V., Grishchenko D. N., Baryshev P. G. Energy Efficient and Energy Saving Autonomous Power Supply Systems at Wind and Solar Power Plants for Small Farms: Monograph. Krasnodar: KubSAU, 2023. 180 p.
2. Denisenko E. A., Baryshev P. M. Features of Designing Solar Photoenergetic Stations: Monograph. Krasnodar: KubGAU, 2022. 120 p.

3. 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). Oradea, Romania, 2021. Pp. 1-4.
4. 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.
5. Kashin Y. M., Kopelevich L. E., Samorodov I. B., Kim V. A., Artenyan K. Z. Wind-Solar Generator and Its Characteristics. Electronic network polythematic journal "Scientific Works of KubSTU". 2019. № 6. Pp. 201-214.
6. Lavrik A. Yu., Zhukovsky Y. L., Lavrik A. Yu., 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.
7. 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.
8. Kou G., Le Chen, VanSant Ph., Velez-Cedeno F., Liu Y. Fault Characteristics of Distributed Solar Generation. IEEE Transactions on Power Delivery. 2020. V. 35. I. 2.
9. Grab R., Hans F., Mariano Ivan Rojas Flores, Schmidt H., Soenke Rogalla, Engel B. Modeling of Photovoltaic Inverter Losses for Reactive Power Provision. IEEE Access. 2022. V. 10.
10. Serban E., Pondiche C., Ordonez M. Modulation Effects on Power-Loss and Leakage Current in Three-Phase Solar Inverter. IEEE Transactions on Energy Conversion. 2019. V. 34. I. 1.
11. Uskov A. E. Selection of the optimal reserve source of power supply. Rural machine operator. 2022. № 1. Pp. 36-38.
12. Izmailov A. Yu., Didmanidze O. N., Asadov D. G., et al. Technical Operation of Mobile Electric Units. Moscow: OOO "Triada", 2016. 320 p.
13. Didmanidze O. N., Solntsev A. A., Parlyuk E. P., Pulyaev N. N. Fundamentals of Effective Use of Energy Storage Devices in Traction Vehicles. Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2020. 200 p.

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. Калинина, д. 13), e-mail: grigorash61@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. Калинина, д. 13), zirochka2505@gmail.com

Денисенко Евгений Александрович, 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. Калинина, д. 13), e-mail: denisenko_88@mail.ru

Колмейцев Александр Эдуардович, соискатель кафедры «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии», Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13), e-mail: kpn2601@yandex.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, Kalinin str., 13), e-mail: grigorash61@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, Kalinin str., 13), e-mail: zirochka2505@gmail.com

Denisenko Evgeny Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor 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, Kalinin str., 13), e-mail: denisenko_88@mail.ru

Kolomeitsev Aleksander Eduardovich, PhD Candidate 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, Kalinin str., 13), e-mail: kpn2601@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-39

SIMULATION OF THE CONTROL SYSTEM OF THE FRUIT AND VEGETABLE CHOPPER

¹Lebed N. I., ²Tseplyaev A. N., ¹Tokarev K. E., ¹Khanin Yu. I., ¹Fomin S. D.

¹Volgograd State Agrarian University

²All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture –
branch of the Federal State Budgetary Institution "FNC's VNIIGiM named after A. N. Kostyakov"
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: nik8872@yandex.ru

Received 01.06.2023

Submitted 27.02.2024

Abstract

Introduction. The article is devoted to the digital adaptation of equipment for the processing industry by developing and justifying a simulation model of an automated process control system. **Materials and research methods.** The development and modeling of the automated control system for the shredder was carried out in the CAD environment "Proteus 8.15 ISIS", where the selection of the main elements of the