

## СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

### SHIP POWER GENERATING COMPLEXES AND SYSTEMS

Научная статья

УДК 621.314

<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-73-81>

EDN IZISHG

#### Совершенствование системы регулирования выходного напряжения комплекса «валогенератор – преобразователь частоты»

---

*Борис Александрович Авдеев<sup>✉</sup>, Дарья Дмитриевна Давыдова,  
Светлана Владимировна Подунай*

*Керченский государственный морской технологический университет,  
Керчь, Россия, [dirigeant@mail.ru](mailto:dirigeant@mail.ru)<sup>✉</sup>*

---

**Аннотация.** Рассматривается работа судового валогенератора на общие шины главного распределительного щита через преобразователь частоты, состоящий из неуправляемого выпрямителя и автономного инвертора напряжения с широтно-импульсной модуляцией. Приведены самые распространенные схемы применения валогенераторов на судах, проанализированы их преимущества и недостатки. Проиллюстрирована функциональная схема и представлено детальное описание работы судовой электроэнергетической установки с отбором мощности от главного двигателя. Разработана система управления, способная поддерживать постоянное потокосцепление в комплексе «валогенератор – преобразователь частоты», что обеспечивает стабильное значение напряжения на выходе. Отмечено, что случайное изменение частоты вращения или колебания момента на роторе валогенератора практически не повлияют на качество вырабатываемой электроэнергии. Приведено имитационное моделирование комплекса в пакете программы MATLAB/Simulink. Разработанный регулятор автономного инвертора поддерживает постоянное потокосцепление с помощью векторного управления. Продемонстрировано устройство и рассмотрен принцип действия системы управления напряжением на выходе валогенераторной установки на основе векторного регулирования. Моделирование доказало перспективность применения данной системы управления автономного инвертора. Получены результаты моделирования входных и выходных значений тока и напряжений в виде осциллограмм. Результаты моделирования подтвердили, что при изменении входного напряжения и частоты валогенератора напряжение на выходе сохраняло высокие показатели качества. Проанализированы коэффициенты гармонического искажения и статические отклонения. Доказана целесообразность использования комбинированных фильтров высших гармоник для устранения интергармоник и высших гармоник в судовой сети. Даны практические рекомендации для повышения качества работы судового электротехнического комплекса, содержащего валогенератор.

**Ключевые слова:** валогенератор, инвертор, преобразователь частоты, регулятор, главный распределительный щит, широтно-импульсная модуляция

**Для цитирования:** Авдеев Б. А., Давыдова Д. Д., Подунай С. В. Совершенствование системы регулирования выходного напряжения комплекса «валогенератор – преобразователь частоты» // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 4. С. 73–81. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-73-81>. EDN IZISHG.

Original article

## Improving control system of output voltage in “shaft generator - frequency converter” complex

Boris A. Avdeev<sup>✉</sup>, Daria D. Davydova, Svetlana V. Podunai

Kerch State Maritime Technological University,  
Kerch, Russia, dirigeant@mail.ru<sup>✉</sup>

**Abstract.** The article focuses on operation of the ship shaft generator on the joint buses of the main switchboard through a frequency converter that consists of an uncontrolled rectifier and a self-excited inverter with pulse width modulation. The most common schemes of using shaft generators on ships are given, their advantages and disadvantages are analyzed. There has been illustrated a flowchart and given a detailed description of the operation of a ship electric power plant with power take-off from the main engine. A control system regulating the constant flow interlinkage in the “frequency converter - shaft generator” complex, which ensures stable output voltage, has been developed. It has been stated that a random change in the rotational speed or in a torque fluctuation of the shaft generator rotor have little impact on the quality of generated electricity. Simulation modeling of the complex is given in the MATLAB/Simulink software package. The developed controller of a self-excited inverter supports continuous flow interlinkage by vector control. There has been demonstrated the composition and operation principle of the control system of output voltage of a shaft generator by using vector regulation method. Modeling has proved the availability of the self-excited inverter control system. The oscillograms of modeling the input and output current and voltage values have been obtained. The modeling results justified that changing the input voltage and frequency of the generator provided the high quality output voltage indicators. Harmonic distortion coefficients and static deviations have been analyzed. The expediency of using combined filters of higher harmonics to eliminate interharmonics and higher harmonics in the ship network has been proved. Practical recommendations are given to improve the quality of operation of the ship electrical complex with a shaft generator.

**Keywords:** shaft generator, inverter, frequency converter, regulator, main switchboard, pulse-width modulation

**For citation:** Avdeev B. A., Davydova D. D., Podunai S. V. Improving control system of output voltage in “shaft generator - frequency converter” complex. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2022;4:73-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-73-81>. EDN IZISHG.

### Введение

Энерговооруженность судна возрастает с увеличением количества электрооборудования и уровня автоматизации, что позволяет сократить экипаж и, соответственно, повысить рентабельность морских перевозок. Одновременно с этим цены на топливо обладают высокой волатильностью в связи с нестабильной политической ситуацией в мире и экономическими кризисами. Вышеперечисленное вынуждает искать пути увеличения эффективности работы судовой электростанции [1].

Одним из путей повышения эффективности работы судового электроэнергетического комплекса является применение валогенераторов. Валогенератор (ВГ) – это электрическая машина, приводимая во вращение от гребного вала и служащая для питания электроэнергией судовых потребителей. Главный двигатель, который приводит во вращение движитель, работает с существенным запасом мощности, часть которой можно отбирать в установленном ходовом режиме. Эффективность работы главного двигателя довольно высокая, а топливо, которое он потребляет, относительно дешевое [2]. Указанные факторы делают применение ВГ экономичным. По этой причине все больше ВГ

применяются на крупных судах, совершающих длинные трансконтинентальные переходы, для оптимизации расхода топлива и снижения затрат на производство электроэнергии [3].

Несмотря на выгоду применения ВГ, у него имеются два существенных недостатка. Первый недостаток – это усложнение пропульсивной установки судна, в результате чего уменьшается ее надежность и сокращается полезная площадь использованного машинного отделения [4]. Вторым недостатком связан с нестабильными показателями качества получаемой электроэнергии от ВГ [5]. Если исключить применение ВГ постоянного тока и ВГ, автономно работающих на мощный приемник, то можно выделить три основных типов использования ВГ:

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

2. PTO/RCF (power take-off / RENK constant frequency – отбор мощности с гидромеханическим редуктором постоянной частоты вращения) состоит из упругой (эластичной) муфты, мультиплика-

тора, торсионной жесткой зубчатой муфты, привода постоянной частоты вращения и генератора переменного тока.

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

### Материалы и результаты исследования

Несмотря на использование редукторов и регуляторов для поддержания постоянной скорости вращения ротора ВГ, для обеспечения надлежащих показателей качества электроэнергии используют частотный преобразователь. На рис. 1 приведена структурная схема судовой энергетической установки с применением ВГ. Главный двигатель через

редуктор приводит в движение винт регулируемого шага (ВРШ). Управление углом атаки лопастей осуществляется с помощью механизма изменения шага (МИШ). Применение винта регулируемого шага оправдано тем фактом, что частота главного двигателя должна находиться в заданных пределах, что позволит работать ВГ с относительно постоянной частотой и минимальными отклонениями по напряжению [6]. Через редуктор ВГ подключается к валопроводу и отбирает часть мощности от главного двигателя. Для того чтобы синхронизировать ВГ и судовую электростанцию, применяется преобразователь частоты, через который электроэнергия с заданным значением напряжения и частоты подается на главный распределительный щит (ГРЩ). Также через утилизационный котел тепло от сгоревшего топлива идет на нужды судна.

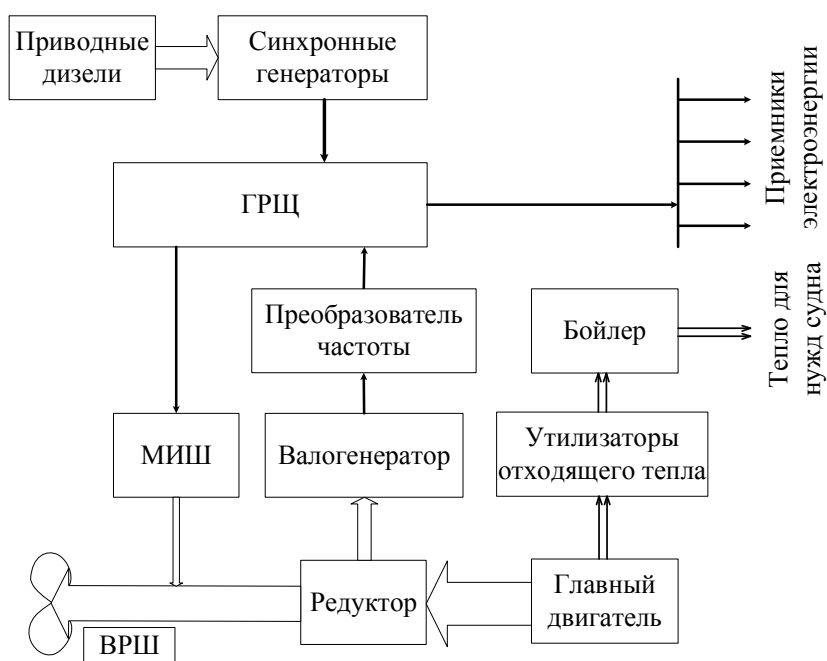


Рис. 1. Судовая энергетическая установка с валогенератором

Fig. 1. Ship power plant with a shaft generator

На рис. 2 приведена функциональная схема работы ВГ на общую нагрузку через ГРЩ. Поскольку ВГ приводится в действие главным двигателем, то ВГ реагирует на любые изменения частоты вращения дизеля. Это происходит из-за влияния течения, ширины канала, глубины, осадки судна, волнения или ветра, что приводит к изменению напряжения и частоты ВГ. Генераторы  $G1-G3$  работают на ГРЩ через автоматические выключатели  $QF1-QF3$ . Потребители также подключены к ГРЩ и получают по фидерам электропитание, ВГ вращается главным двигателем через редуктор.

Электроэнергия от ВГ через автоматический выключатель  $QF4$  передается на частотный преобразователь, который состоит из трех частей – выпрямителя, фильтра постоянного тока и инвертора на основе IGBT-транзисторов. Трансформатор тока  $TA$  снимает напряжение на каждой фазе ГРЩ и передает сигнал на систему управления. Система управления обрабатывает полученную информацию и генерирует импульсы на IGBT-транзисторы, создавая с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ) напряжение требуемой амплитуды и частоты. Через автоматический выключа-

Авдеев Б. А., Давыдова Д. Д., Полунай С. В. Совершенствование системы регулирования выходного напряжения комплекса «валогенератор – преобразователь частоты»

тель  $QF5$  напряжение с выхода частотного преобразователя идет на ГРЩ, откуда через фидеры распределяется на различные потребители. Для защиты ВГ от высоких частот со стороны преобразователя частоты стоит пассивный фильтр. Для защиты ГРЩ от высоких частот рекомендуется применять комбинированный фильтр, который показывает

хорошие результаты устранения интергармонических и высших гармоник в сети ограниченной мощности [7, 8]. В случае если частота вращения главного двигателя стабильна и напряжение на зажимах ВГ соответствует напряжению на шинах ГРЩ,  $QF4$  и  $QF5$  отключаются, включается  $QF6$ .

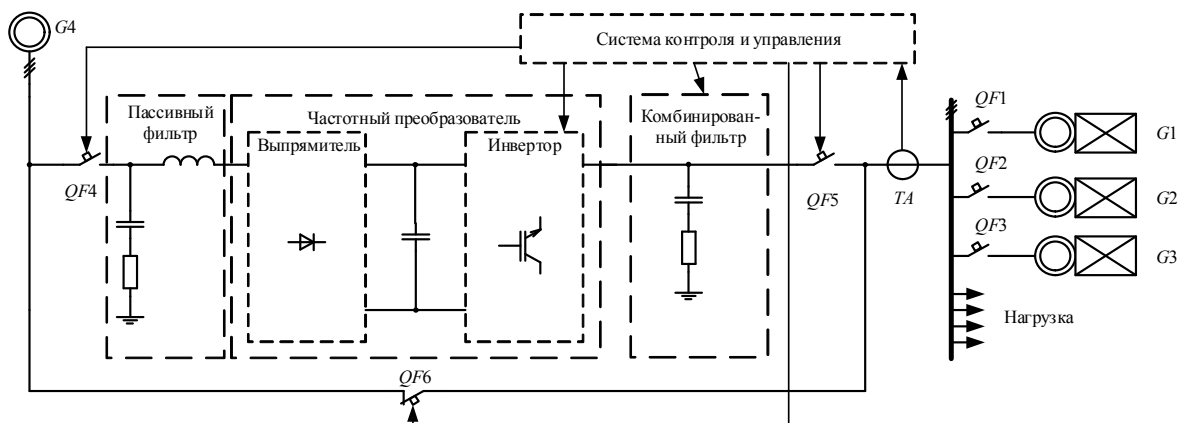


Рис. 2. Функциональная схема работы валогенератора на общую нагрузку через главный распределительный щит

Fig. 2. Flowchart of the shaft generator operation on joint load through the main switchboard

### Имитационное моделирование

Рассмотрим работу ВГ на стационарную нагрузку.

На рис. 3 представлена имитационная модель работы ВГ на стационарную нагрузку, выполненная в математическом пакете MATLAB/Simulink. Трехфазное напряжение подается от синхронного генератора на выпрямитель через блок измерения. Выпрямленное напряжение сглаживается конденсатором  $C_0$ . Переменное трехфазное напряжение

производится с помощью автономного инвертора и подается на статическую нагрузку (3ф-нагрузка). Система управления выдает эталонные напряжения на выходе регулятора, которые преобразуются в импульсы управления для инвертора с помощью ШИМ. Для сглаживания напряжения используется 3ф-пассивный фильтр, состоящий из  $RC$ -треугольника. Для контроля выходных параметров применяется блок измерения (блок измерения 2).

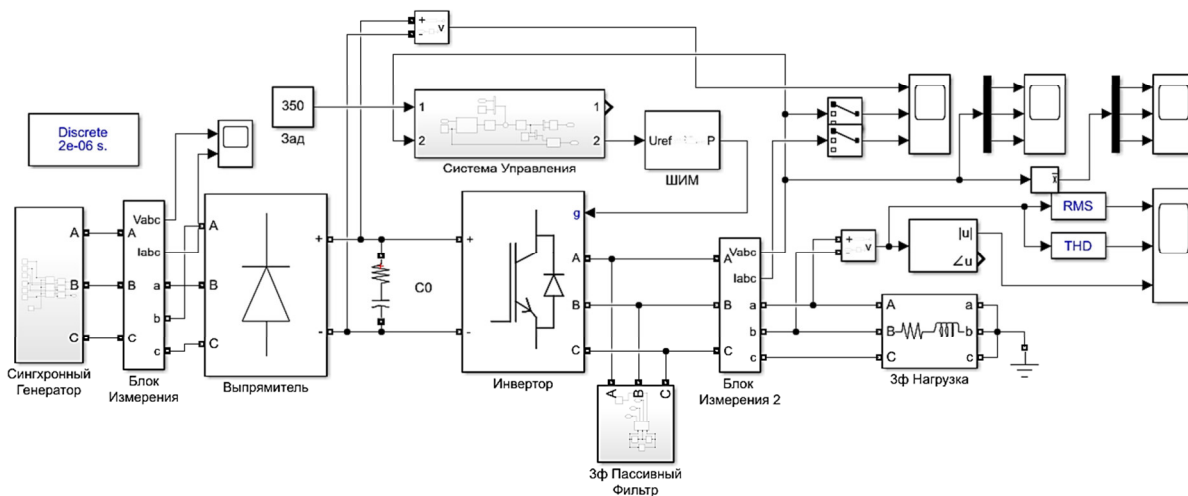


Рис. 3. Simulink-модель работы валогенератора на стационарную нагрузку

Fig. 3. Simulink model of shaft generator operation on stationary load

Наличие автономного инвертора позволяет осуществлять управление за счет применения принципов векторного регулирования. Основные уравнения ВГ при работе с постоянным потоком записываются для вращающейся системы координат  $d - q$ , ориентированной по потоку ротора, поток статора при этом задается равным нулю [9].

Поскольку принципы векторного регулирования позволяют реализовать свободную ориентацию вектора тока статора во вращающейся системе координат  $d - q$ , значение электромагнитного момента ВГ, создающего сопротивление вращению, можно записать как

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

где  $i_d, i_q$  – проекции тока статора на оси  $d$  и  $q$ ;  $\Psi_d, \Psi_q$  – проекции потокосцепления на оси  $d$  и  $q$  соответственно.

На рис. 4 приведена система управления напряжением инвертора, реализованная в MATLAB/Simulink. Регулятор поддерживает постоянное потокосцепление с помощью векторного управления. Задачей регулятора напряжения является сравнение выходного напряжения с опорным напряжением и формирование модулирующего сигнала для ШИМ-генератора. Если происходит какое-либо изменение выходного или опорного сигнала, в соответствии с ним изменяется значение модулирующего сигнала с помощью дискретного ПИ-регулятора.

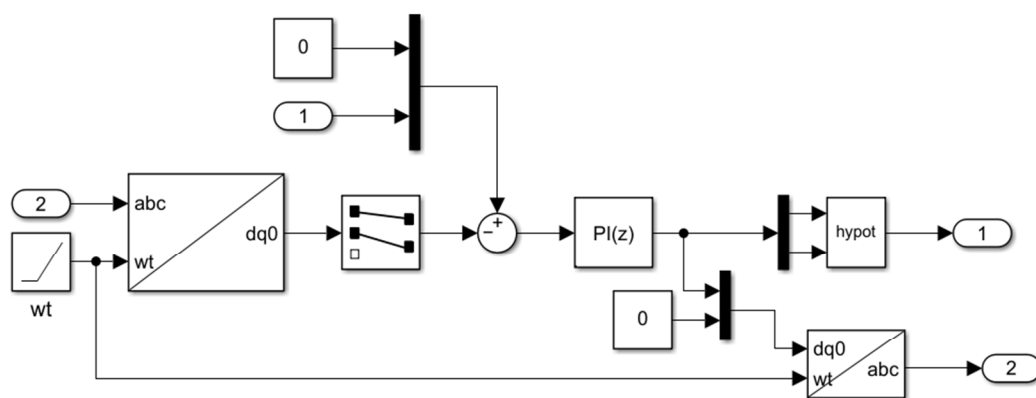


Рис. 4. Система управления напряжением инвертора

Fig. 4. Inverter voltage control system

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

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

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

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

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

Параметры схемы при моделировании:  
– напряжение питания со стороны ВГ:  
 $U_{Д} = 400 \text{ В}; f = 60 \text{ Гц};$   
– емкость конденсаторов пассивного фильтра:  
 $C = 100 \text{ мкФ};$   
– емкость конденсатора на вставке постоянного тока:  
 $C_0 = 100 \text{ мкФ};$   
– прямое падение напряжения на диодах и IGBT-транзисторах:  $U_{Пр} = 0,7 \text{ В};$

– нагрузка:  $L = 0,1 \text{ мГн}; R = 3 \text{ Ом}.$

Для того чтобы оценить работу при резкоизменяющемся напряжении, в момент времени  $t = 0,5 \text{ с}$  напряжение принимает вид:  $U_{Д} = 325 \text{ В}; f = 50 \text{ Гц}.$

Результаты моделирования представлены на рис. 5; входные токи и напряжения при работе преобразователя частоты приведены на рис. 6.

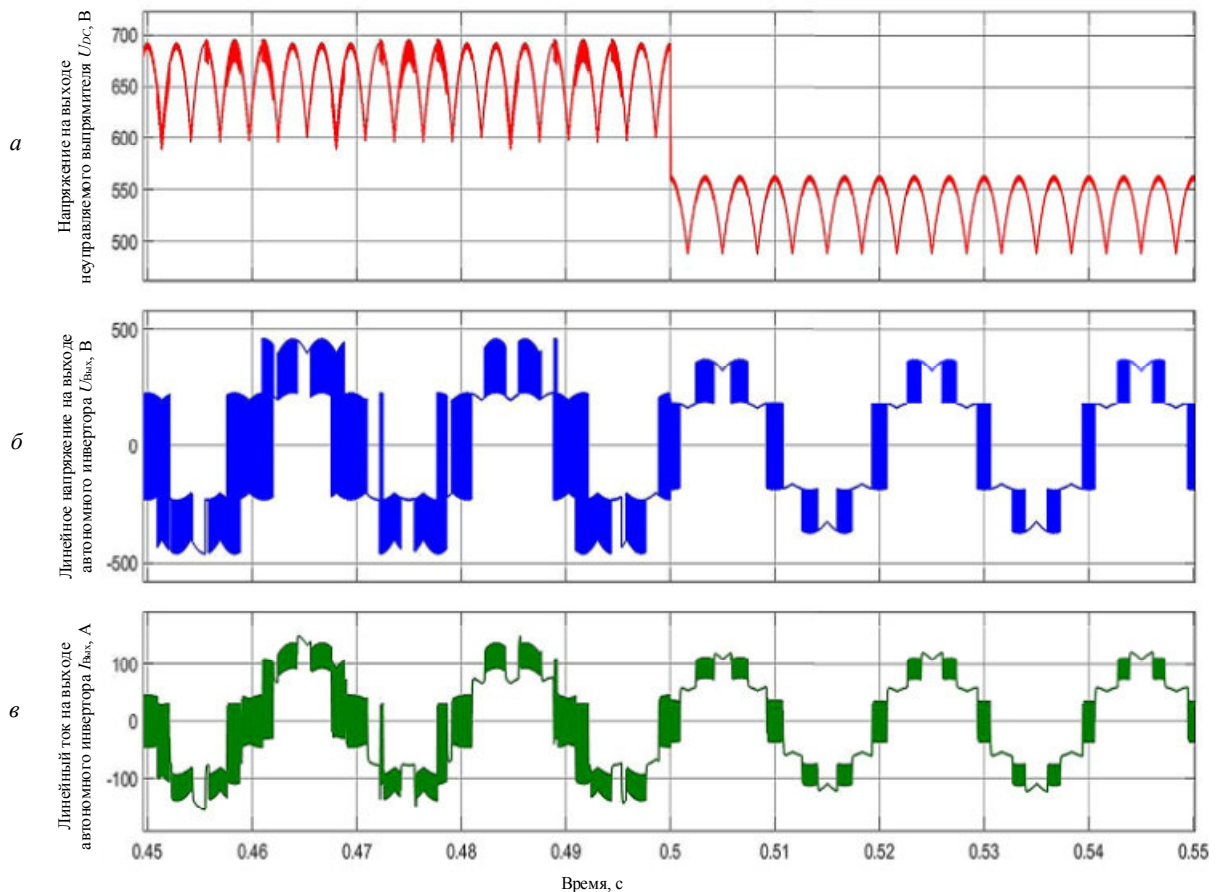


Рис. 5. Результаты моделирования: *a* – напряжение на вставке постоянного тока на входе инвертора; *б* – напряжение на выходе инвертора; *в* – ток на выходе инвертора

Fig. 5. Simulation results: *a* – voltage at a DC link on the inverter input; *b* – inverter output voltage; *v* – inverter output current

При изменении входного напряжения коэффициент гармонического искажения снижается с 0,75 до 0,37, что обусловлено уменьшением уровня напряжения и увеличением скважности ШИМ. Увеличения коэффициента синусоидальности можно добиться путем установки более мощного трехфазного пассивного фильтра, который включал бы в себя и магнитосвязанные дроссели. Также происходит снижение пульсаций действующего значения напряжения и пульсаций коэффициента гармонического искажения из-за совпаде-

ния частот на входе и на выходе. Таким образом, можно сделать вывод, что уменьшение колебаний действующего значения напряжения можно обеспечить с помощью дополнительного сглаживания в цепи постоянного тока, т. е. использовать конденсатор большей емкости, а также последовательно добавить дроссель. Также вставка постоянного тока может запитывать потребители постоянного тока через изолированный преобразователь постоянного тока [10].

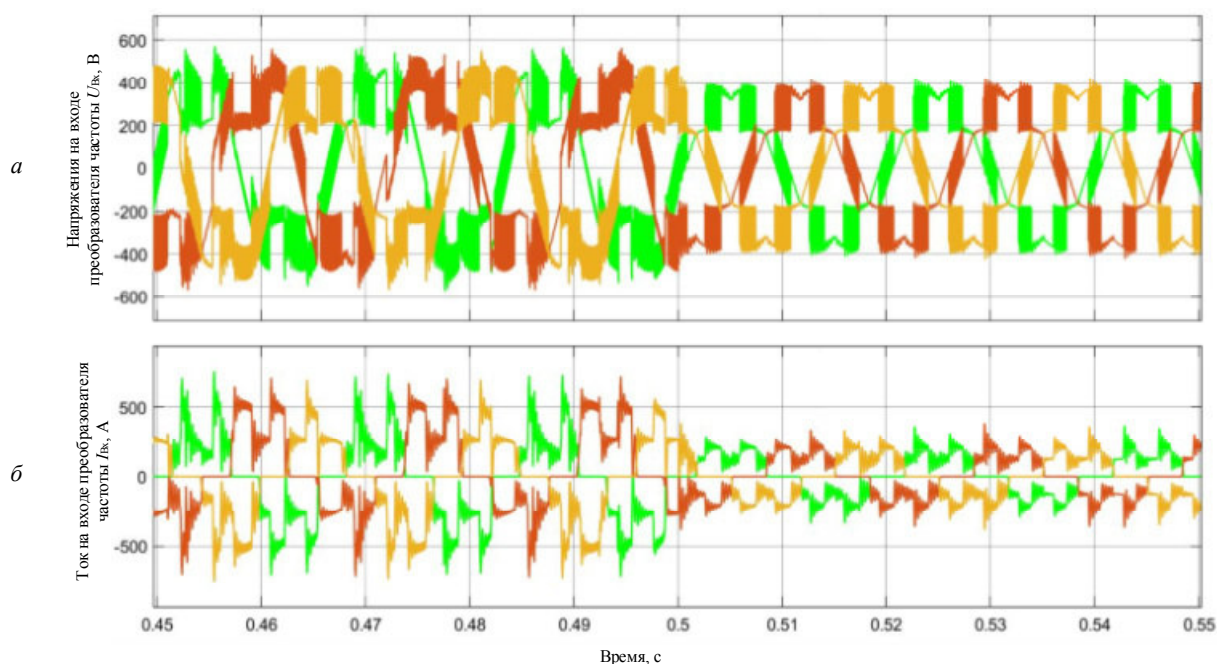


Рис. 6. Входные значения напряжения (а) и тока (б) преобразователя частоты

Fig. 6. Input values of voltage (a) and current (b) of the frequency converter

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

#### Заключение

Имитационное моделирование работы системы управления комплексом «валогенератор – преобразователь частоты» доказало перспективность использования данной системы для обеспечения необходимого качества электроэнергии. Созданная модель способствует изучению работы валогенераторной установки при различных условиях, что позволит в реальных условиях обеспечить более экономичную эксплуатацию главного двигателя.

#### Список источников

1. Авдеев Б. А. Интеллектуальные энергоэффективные системы морских судов // Вестн. Керчен. гос. мор. технолог. ун-та, 2021. № 4. С. 99–113.
2. Медведев В. В., Жуков В. А., Туркин И. И., Голубев Р. О. Анализ целесообразности применения валогенераторов в составе СЭУ СПГ-танкеров с главными двухтопливными МОД посредством систем глубокой утилизации теплоты // Мор. интеллектуал. технологии. 2019. № 1-1 (43). С. 96–102.
3. Зайков Д. Д., Мартынов П. А. Особенности валогенераторных установок и требования, предъявляемые к данным системам // Науч.-техн. вед. Севмашвтуза. 2020. № 2. С. 12–15.
4. Рак А. Н., Черников В. Г., Капанадзе Г. А. Расширение функциональных возможностей и повышение эффективности комбинированных судовых пропульсивных установок // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: сб. тр. II Междунар. науч.-техн. конф. (Петропавловск-Камчатский, 23–25 октября 2019 г.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2020. С. 99–105.
5. Вынгра А. В. Повышение эффективности работы валогенераторной установки отбора мощности // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Технологии энергообеспечения. Аппараты и машины жизнеобеспечения»: материалы Всерос. науч.-техн. конф. (Анапа, 25–26 ноября 2019 г.). Анапа: Военный инновационный технополис «ЭРА», 2019. С. 68–73.
6. Железняк А. А. Модернизация системы управления электроэнергетической установки промышленного судна с винтом регулируемого шага // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 2. С. 414–421.
7. Avdeev B. A., Vyngra A. V., Chernyi S. G., Zhilenkov A. A., Sokolov S. S. Evaluation and Procedure for Estimation of Interharmonics on the Example of Non-sinusoidal Current of an Induction Motor with Variable Periodic Load // IEEE Access. 2021. V. 9. P. 158412–158419.

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

9. Бурмакин О. А., Гуляев В. В., Малышев Ю. С., Попов С. В. Моделирование судовой электростанции со

встроенной сетью постоянного тока в среде MATLAB // Интеллектуал. электротехника. 2021. № 3 (15). С. 75–84.

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

## References

1. Avdeev B. A. Intellektual'nye energoeffektivnye sistemy morskikh sudov [Intelligent energy-efficient systems of sea-going vessels]. *Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2021, no. 4, pp. 99-113.

2. Medvedev V. V., Zhukov V. A., Turkin I. I., Golubev R. O. Analiz tselesoobraznosti primeneniia valogeneratorov v sostave SEU SPG-tankerov s glavnymi dvukhtoplivnymi MOD posredstvom sistem glubokoi utilizatsii teploty [Analysis of feasibility of shaft generators as part of power plant of LNG tankers with main dual-fuel small speed engines based on deep heat recovery systems]. *Morskii intellektual'nye tekhnologii*, 2019, no. 1-1 (43), pp. 96-102.

3. Zaikov D. D., Martynov P. A. Osobennosti valogeneratornykh ustanovok i trebovaniia, pred"iavlaiemye k dannym sistemam [Specific features of shaft-generators and requirements for these systems]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sevmashtvuz*, 2020, no. 2, pp. 12-15.

4. Rak A. N., Chernikov V. G., Kapanadze G. A. Rasshirenii funktsional'nykh vozmozhnostei i povyshenie effektivnosti kombinirovannykh sudovykh propul'sivnykh ustanovok. Tekhnicheskaia ekspluatatsiia vodnogo transporta: problemy i puti razvitiia [Expanding functionality and improving efficiency of combined ship propulsion systems. Technical operation of water transport: problems and ways of development]. *Sbornik trudov II Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Petropavlovsk-Kamchatskii, 23–25 oktiabria 2019 g.)*. Petropavlovsk-Kamchatskii, Izd-vo KamchatGTU, 2020. Pp. 99-105.

5. Vyngra A. V. Povyshenie effektivnosti raboty valogeneratornoi ustanovki otbora moshchnosti. Sostoianie i perspektivy razvitiia sovremennoi nauki po napravleniiu «Tekhnologii energoobespecheniia. Apparaty i mashiny zhizneobespecheniia» [Improving efficiency of power take-off shaft-generator unit. State and prospects for development of modern science in direction Energy Supply Technologies.

Apparatus and Life Support Machines]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Anapa, 25–26 noiabria 2019 g.)*. Anapa, Voennyi innovatsionnyi tekhnopolis «ERA», 2019. Pp. 68-73.

6. Zhelezniak A. A. Modernizatsiia sistemy upravleniia elektroenergeticheskoi ustanovki promyslovogo sudna s vintom reguliruemogo shaga [Modernization of control system of electric unit of fishing vessel with controllable pitch propeller]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova*, 2017, vol. 9, no. 2, pp. 414-421.

7. Avdeev B. A., Vyngra A. V., Chernyi S. G., Zhilenkov A. A., Sokolov S. S. Evaluation and Procedure for Estimation of Interharmonics on the Example of Non-sinusoidal Current of an Induction Motor with Variable Periodic Load. *IEEE Access*, 2021, vol. 9, pp. 158412-158419.

8. Vyngra A. V. Razrabotka algoritmov i programmnogo obespecheniia dlia silovykh aktivnykh fil'trov sudovykh elektroenergeticheskikh sistem [Developing algorithms and software for power active filters of ship electric power systems]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiya*, 2022, no. 2, pp. 73-79.

9. Burmakin O. A., Guliaev V. V., Malyshev Iu. S., Popov S. V. Modelirovanie sudovoi elektrostantsii so vstroennoi set'iu postoiannogo toka v srede MATLAB [Modeling ship power plant with built-in DC network in MATLAB environment]. *Intellektual'naia elektrotekhnika*, 2021, no. 3 (15), pp. 75-84.

10. Tsareva P. E., Avdeev B. A., Markovkina N. N., Epifantsev I. R., Zhilenkov A. A. Modelirovanie raboty trekhfaznogo tverdotel'nogo transformatora pri izmenenii nagruzki [Modeling three-phase solid-state transformer operation under changing load]. *Elektrotekhnika*, 2022, no. 6, pp. 61-64.

Статья поступила в редакцию 05.09.2022; одобрена после рецензирования 17.10.2022; принята к публикации 25.10.2022  
The article was submitted 05.09.2022; approved after reviewing 17.10.2022; accepted for publication 25.10.2022

## Информация об авторах / Information about the authors

**Борис Александрович Авдеев** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства; Керченский государственный морской технологический университет; dirigeant@mail.ru

**Boris A. Avdeev** – Candidate of Sciences in Technology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Ship Power Supply and Automation Production; Kerch State Maritime Technological University; dirigeant@mail.ru



**Дарья Дмитриевна Давыдова** – курсант; кафедра электрооборудования судов и автоматизации производства; Керченский государственный морской технологический университет; [dasadavydova016@gmail.com](mailto:dasadavydova016@gmail.com)

**Daria D. Davydova** – Cadet; the Department of Ship Power Supply and Automation Production; Kerch State Maritime Technological University; [dasadavydova016@gmail.com](mailto:dasadavydova016@gmail.com)

**Светлана Владимировна Подунай** – курсант; кафедра электрооборудования судов и автоматизации производства; Керченский государственный морской технологический университет; [cool.sp10082001@yandex.ru](mailto:cool.sp10082001@yandex.ru)

**Svetlana V. Podunai** – Cadet; the Department of Ship Power Supply and Automation Production; Kerch State Maritime Technological University; [cool.sp10082001@yandex.ru](mailto:cool.sp10082001@yandex.ru)

