

Научная статья

УДК 621.317.629.12

<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-100-109>

EDN JLXUON

Варианты систем управления и измерения активных компенсаторов нелинейных искажений напряжения судовой сети

*Петр Владимирович Ахлестин¹, Сергей Васильевич Попов^{2✉},
Олег Станиславович Хватов³, Андрей Борисович Дарьенков⁴*

¹Объединенная судостроительная корпорация,
Санкт-Петербург, Россия

^{2,3}Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижегород, Россия, porovsev3@yandex.ru✉

⁴Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева,
Нижегород, Россия

Аннотация. Нелинейные потребители электрической энергии значительной мощности при работе в составе единой судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) оказывают сильное влияние на качество генерируемого напряжения, которое характеризуется различными электрическими параметрами, в том числе коэффициентом нелинейных искажений $K_{НИ}$. При питании от такой сети возможно появление искажения сигналов радионавигационной аппаратуры и систем управления, снижение КПД электродвигателей, генераторного оборудования и потребителей электрической энергии, ухудшение состояния кабельных сетей и т. д. Применяя активные и пассивные способы компенсации нелинейных искажений напряжения, можно снизить влияние нелинейных потребителей электроэнергии на качество напряжения генерируемой электроэнергии СЭЭС. Один из эффективных способов компенсации – это применение активного компенсатора нелинейных искажений, который позволяет снизить $K_{НИ}$ до значений 4–5 %. Применение в активном компенсаторе, построенном на базе вольтодобавочного устройства, двухканальной системы измерения и управления, является эффективным способом компенсации нелинейных искажений. Предложена новая, отличающаяся от известных, структурная схема компенсатора нелинейных искажений, на основе которой была разработана имитационная модель судовой электроэнергетической системы в прикладном пакете Simulink графической среды имитационного моделирования MatLab. Имитационное моделирование подтвердило, что применение двухканальной системы управления и измерения позволяет снизить уровень коэффициента нелинейных искажений напряжения генерируемой электроэнергии до 2–3 % при мощности нелинейных потребителей не более 60 % от мощности источника электроэнергии. Повышение мощности вольтодобавочного трансформатора активного компенсатора при тех же условиях позволяет уменьшить коэффициент нелинейных искажений на 0,5 %.

Ключевые слова: качество напряжения, судовая сеть, нелинейные искажения напряжения, ответственные потребители, активный компенсатор гармоник напряжения, вольтодобавочное устройство, вольтодобавочный трансформатор, двухканальная система измерения и управления

Для цитирования: Ахлестин П. В., Попов С. В., Хватов О. С., Дарьенков А. Б. Варианты систем управления и измерения активных компенсаторов нелинейных искажений напряжения судовой сети // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2025. № 1. С. 100–109. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-100-109>. EDN JLXUON.

Original article

Modernization of active compensators of nonlinear distortion in the voltage of ship power station

*Petr V. Akhlestin*¹, *Sergey V. Popov*^{2✉}, *Oleg S. Khvatov*³, *Andrey B. Dar'enkov*⁴

¹United Shipbuilding Corporation,
Saint Petersburg, Russia

^{2,3}Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russia, popovsev3@yandex.ru✉

⁴Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Nonlinear consumers of electrical energy of significant capacity when operating as part of a single marine electric power system (MEPS) have a strong impact on the quality of the generated voltage, which is characterized by various electrical parameters, including the coefficient of nonlinear distortion (K_{ND}). When powered from such a network, distortion of signals from radio navigation equipment and control systems may occur, reducing efficiency of electric motors, generator equipment and electric energy consumers, deterioration of cable networks, etc. By changing active and passive methods of compensating for nonlinear voltage distortions, the influence of nonlinear electric power consumers on the voltage quality of the generated electric power at the MEPS can be reduced. One of the effective ways of compensation is the use of an active nonlinear distortion compensator, which allows you to reduce the K_{ND} to values of 4-5%. The use of a two-channel measurement and control system in an active compensator based on a voltage-boosting device is an effective way to compensate for nonlinear distortions. A new, different from the known, block diagram of the nonlinear distortion compensator is proposed, on the basis of which a simulation model of the ship's electric power system was developed in the Simulink application package of the MatLab graphical simulation environment. Simulation modeling has shown that the use of a two-channel control and measurement system makes it possible to reduce the level of nonlinear voltage distortion of the generated electricity to 2-3%, with the power of nonlinear consumers not exceeding 60% of the power source. Increasing the power of the voltage-add transformer of the active compensator under the same conditions makes it possible to reduce the coefficient of nonlinear distortion by 0.5%.

Keywords: voltage quality, ship power station, nonlinear distortions in voltage, responsible consumers, active compensator of voltage harmonics, voltodustaving device, voltodustable transformer, two-channel measurement and control system

For citation: Akhlestin P. V., Popov S. V., Khvatov O. S., Dar'enkov A. B. Modernization of active compensators of nonlinear distortion in the voltage of ship power station. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2025;1:100-109. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-100-109>. EDN JLXUON.

Введение

При работе нелинейных потребителей на общую судовую сеть возникают нелинейные искажения (НИ) напряжения, которые оцениваются различными параметрами, в том числе коэффициентом $K_{НИ}$. При значениях $K_{НИ}$ более 10 % могут возникать перебои в работе радионавигационных систем, интегрированных автоматических систем управления, происходит снижение коэффициента полезного действия электродвигателей и генераторов, снижается срок службы судовых кабельных сетей и т. д. [1–8]. В судовых электроэнергетических системах (СЭЭС), где мощность отдельных нелинейных потребителей не превышает 30 % от мощности генераторов, к примеру на сухогрузных судах, $K_{НИ}$ достигает значений 14–15 % [7]. На нефтеналивных судах, судах с гребной электриче-

ской установкой, где нелинейные потребители имеют мощность 55–65 % от мощности генераторов, $K_{НИ}$ может достигать 20–25 %. Компенсация таких значений $K_{НИ}$ до требуемых Российским морским регистром судоходства стандартными средствами (пассивные фильтры, стабилизаторы и т. д.) практически невозможна. В таком случае применяют другие устройства улучшения качества напряжения. Одним из таких устройств может являться активный компенсатор (АК), собранный на базе вольтодобавочного устройства (ВДУ) с двухканальной системой измерения и управления.

Методы исследований

Известны математические модели измерения и управления АК с одноканальной системой измерения [9, 10]. С использованием структурной схе-

мы АК с одноканальной системой управления и измерения была разработана структурная схема АК с двухканальной системой измерения и управления. Модель АК разработана в прикладном пакете Simulink графической среды имитационного моделирования MatLab [11]. Выполнены исследования моделирования для двух вариантов АК и произведен сравнительный анализ полученных результатов. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования АК с двухканальной системой измерения и управления с различными коэффициентами усиления и мощностями вольтодобавочных трансформаторов.

Описание системы

На рис. 1 представлена функциональная схема судовой системы распределения электроэнергии с АК на базе ВДУ с двухканальной системой измерения и управления. Она состоит из двух синхронных генераторов – Г1 и Г2, главного распределительного электрического щита (ГРЭЩ), АК, потребителей П1 и П2.

В первую группу (П1) входят потребители, на работу которых качество напряжения влияет несущественно. К ним можно отнести электроприводы с частотными преобразователями или с системами плавного пуска, электрический обогрев и т. д. Ко второй группе потребителей (П2) относятся ответственные потребители, стабильная работа которых зависит от качества питающего напряжения, поэтому они подключаются через АК НИ [12–15]. К ответственным за живучесть судна можно отнести потребителей:

- с нелинейной нагрузкой (НН): радионавигационная аппаратура, комплексная система управления судном и прочее оборудование;
- с линейной нагрузкой (ЛН): релейные системы управления пускателей наиболее ответственных потребителей, таких как пожарные и балластно-осушительные насосы.

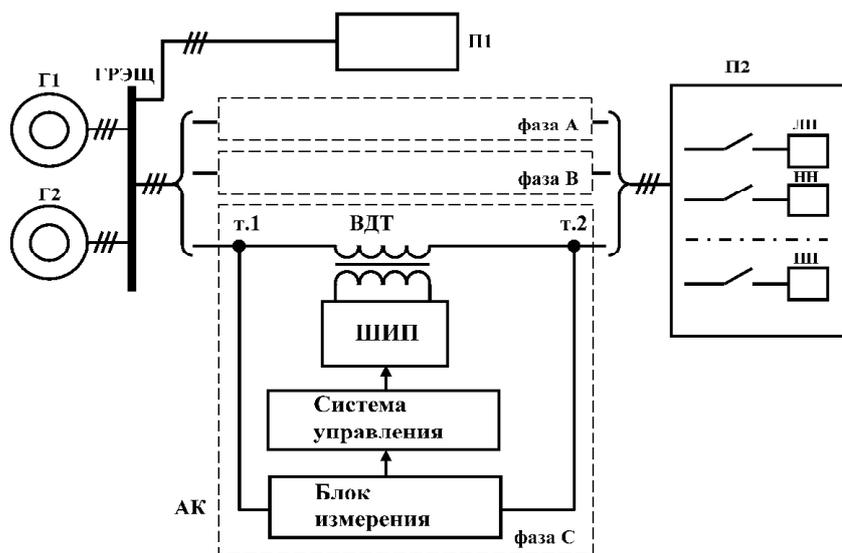


Рис. 1. Функциональная схема судовой системы распределения электроэнергии с активным компенсатором

Fig. 1. Functional diagram of the ship's power distribution system with an active compensator

Рассмотрим работу блоков АК высших гармоник напряжения на базе ВДУ с двухканальной системой измерения и управления (см. рис. 1). Блок измерения анализирует напряжение на входе ВДУ – основной сигнал (т. 1) и напряжение на выходе ВДУ – корректирующий сигнал (т. 2). Эти сигналы суммируются, а результат поступает в блок управления широтно-импульсным преобразователем (ШИП). Система управления формирует четырехтактный сигнал для управления ШИП. Трехканальный ШИП обеспечивает формирование переменного напряжения необходимой формы из постоянного. Вольтодобавочный трансформатор (ВДТ)

устанавливается в каждой фазе и обеспечивает передачу гармоник напряжения от ШИП в судовую сеть.

Структурная схема компенсатора с двухканальной системой измерения и управления представлена на рис. 2. Компенсатор формирует напряжение, форма которого компенсирует высшие гармонические напряжения в судовой сети. Система управления и измерения АК состоит из двух каналов – основного, который включает в себя усилитель K_{y1} , фильтр $\Phi 1$ и сумматор $CY1$, и корректирующего – K_{y2} , $\Phi 2$, $CY2$ соответственно.

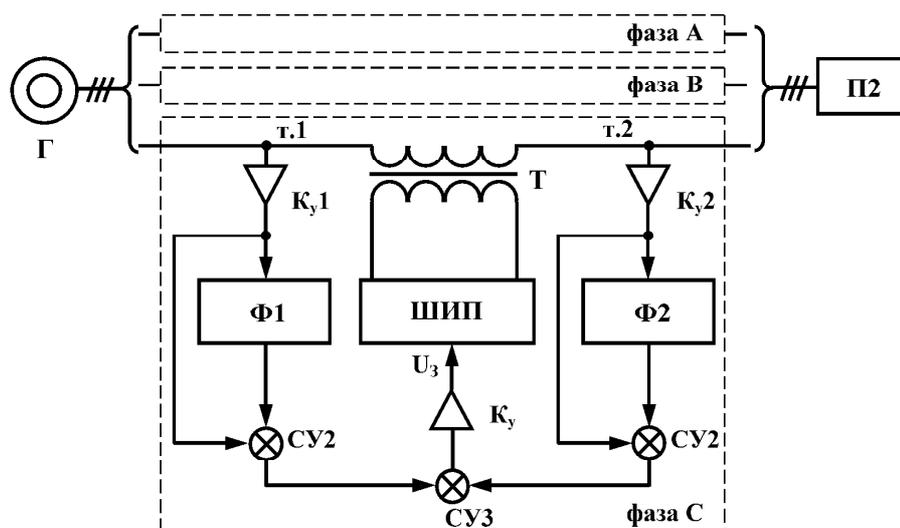


Рис. 2. Структурная схема двухканальной системы измерения и управления

Fig. 2. Block diagram of a two-circuit measurement and control system

Основной канал формирует сигнал управления ШИП, который компенсирует большую часть НИ. Корректирующий канал измеряет остаточный коэффициент НИ после ВДУ в т. 2 и формирует сигнал компенсации задающего воздействия ШИП для корректировки. Результирующий сигнал компенсации формируется сложением сигналов основного и корректирующего блоков на сумматоре СУ3. Этот сигнал преобразуется усилителем K_y и является сигналом задания U_3 для управления ШИП. Коэффициенты усиления K_{y1} и K_{y2} , а также параметры фильтров Ф1 и Ф2 настраиваются для каждого блока индивидуально с целью получения максимальной степени компенсации НИ.

На рис. 3 представлена модель электроэнергетических систем SimPowerSystem на основе структурной схемы (см. рис. 1), выполненная в графической среде имитационного моделирования Simulink.

Модель состоит из силовой части, реализованной на эквивалентном генераторе; ЛН, включаемой после запуска генератора; ЛН, включаемых в заданный момент времени с помощью выключателей; НН, подключаемых в заданный момент времени; АК.

Силовая часть модели выполнена на базе эквивалентного синхронного генератора мощностью 250 кВА с системой регулирования выходного напряжения [10]. Линейная нагрузка выполнена в виде трех блоков с мощностями: 5 кВА (включается после запуска генератора), 17,5 и 25 кВА, включаемых в периоды времени 0,12 и 0,15 с соответственно.

Активный компенсатор собран из блока выпрямителя, системы измерения и управления, ШИМ-

контроллера и ВДТ № 1–3. Нелинейная нагрузка представлена несколькими блоками и подключается к сети в определенные моменты времени:

- мощностью 95 кВА (6-пульсный преобразователь частоты (ПЧ) подключается к судовой сети при 0,2 с);
- мощностью 95 кВА (12-пульсный ПЧ подключается к судовой сети при 0,2 с);
- три блока мощностью по 20 кВА, включаемые через промежутки времени 0,09, 0,65 и 1 с.

На рис. 4 приведена модель системы управления и измерения с ШИП. В отличие от одноканальной системы управления [9], схема имеет два измерительных трансформатора (ИТ1, ИТ2), с которых поступает информация в систему измерения и управления (СИ и У). В блоке СИ и У входные сигналы суммируются, а на выходе формируется общий сигнал управления ШИП.

В результате моделирования АК с новой двухканальной системой управления и измерения построены диаграммы значений $K_{НИ}$ при различных коэффициентах усиления регуляторов (рис. 5).

Согласно диаграмме (рис. 5) при увеличении K_{y1} (от 10 и более) $K_{НИ}$ уменьшается, а при достижении значения $K_y = 23$ наблюдается обратный эффект – $K_{НИ}$ начинает повышаться. Для наглядности на диаграмме (рис. 5) показано изменение $K_{НИ}$ при $K_y = 37$. Дальнейшее увеличение значения K_y не имеет смысла.

Для сравнения значений $K_{НИ}$ при работе систем управления с одноканальной системой измерения и двухканальной была собрана модель, позволяющая выполнить одновременный запуск двух систем с изменяющейся мощностью нагрузки $P_{НН}$.

Ахлестин П. В., Попов С. В., Хватов О. С., Дарьенков А. Б. Варианты систем управления и измерения активных компенсаторов нелинейных искажений напряжения судовой сети

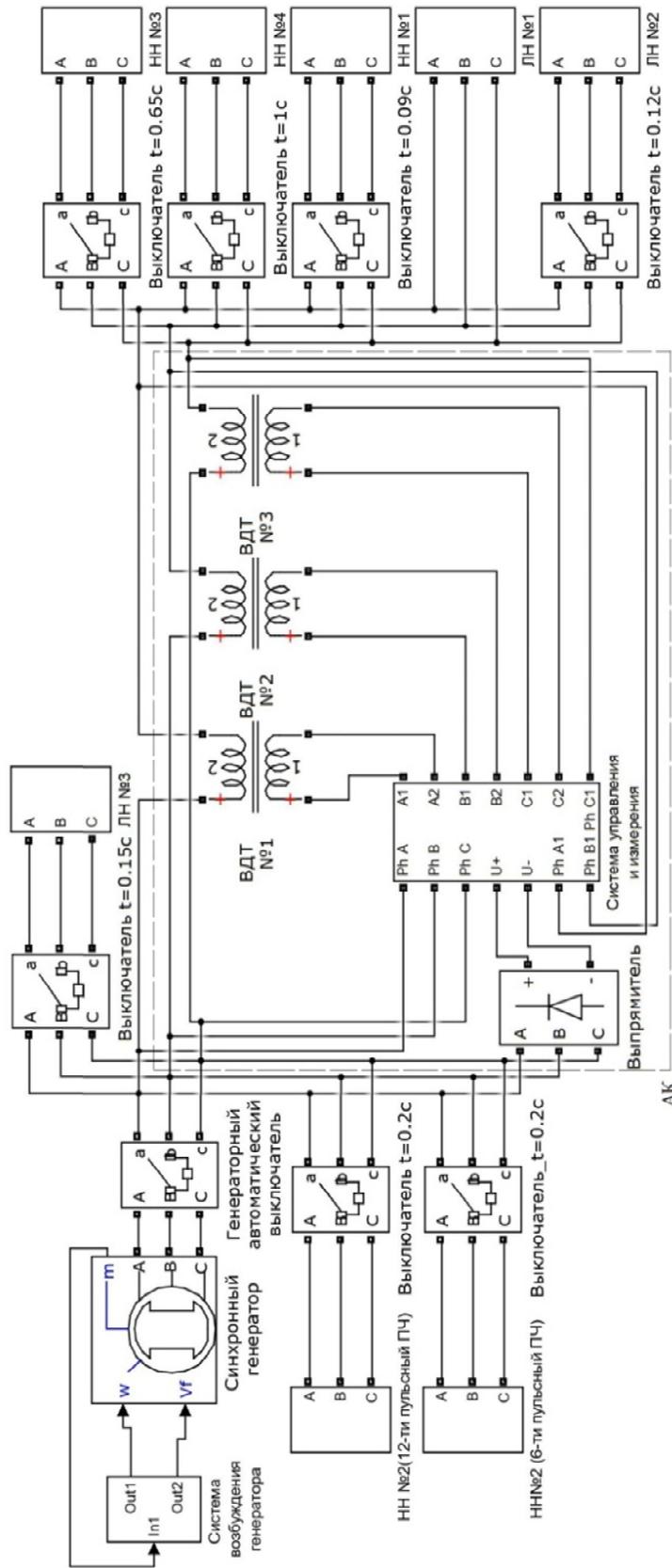


Рис. 3. Модель судовой электростанции с активным компенсатором

Fig. 3. Model of a marine power plant with an active compensator

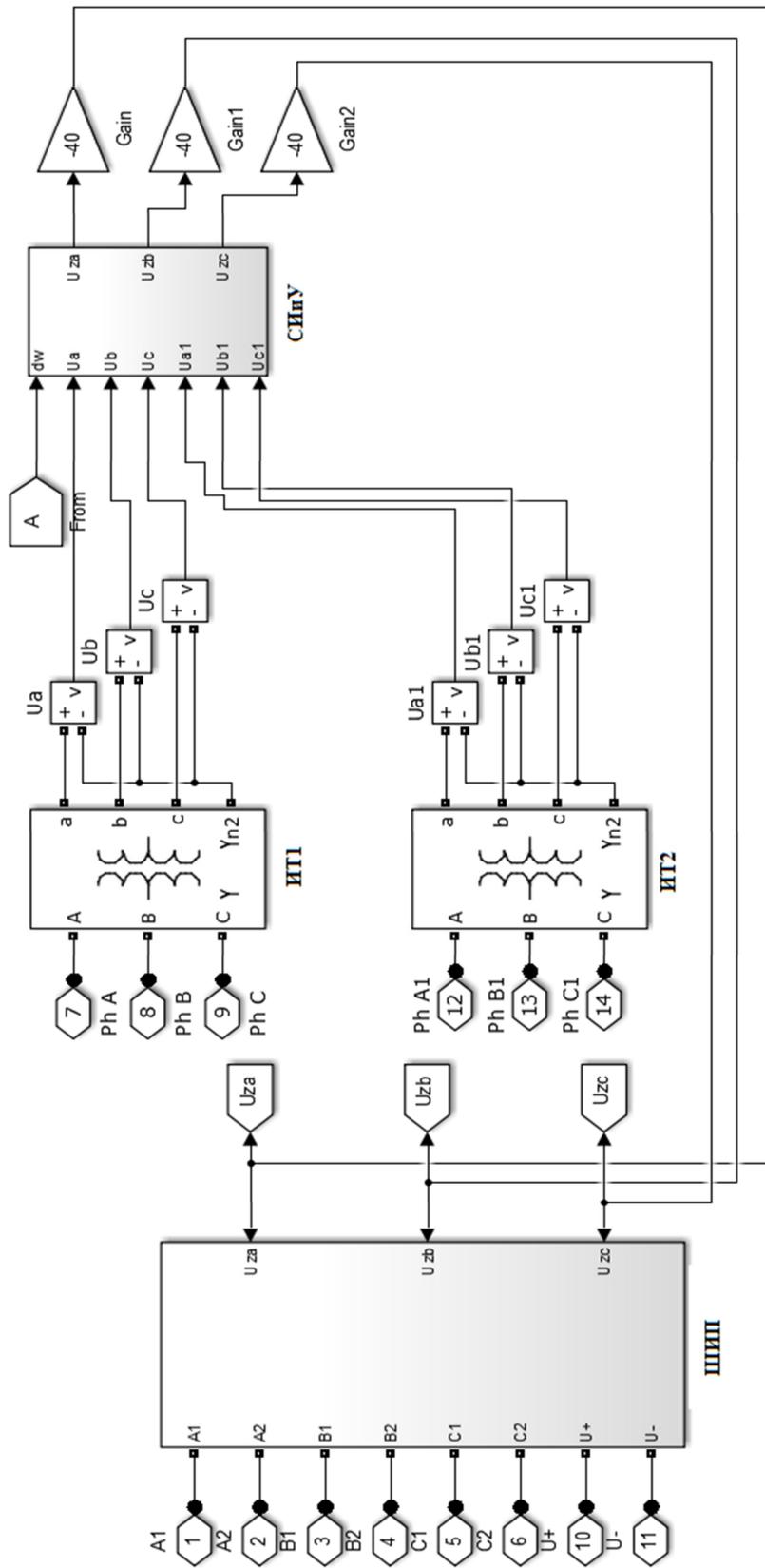


Рис. 4. Модель системы управления и измерения с ШИП
 Fig. 4. Model of the control and measurement system with PWM

Аkhlestin P. V., Popyov S. V., Klyaytov O. S., Dar'енков A. B. Modernization of active compensators of nonlinear distortion in the voltage of ship power station

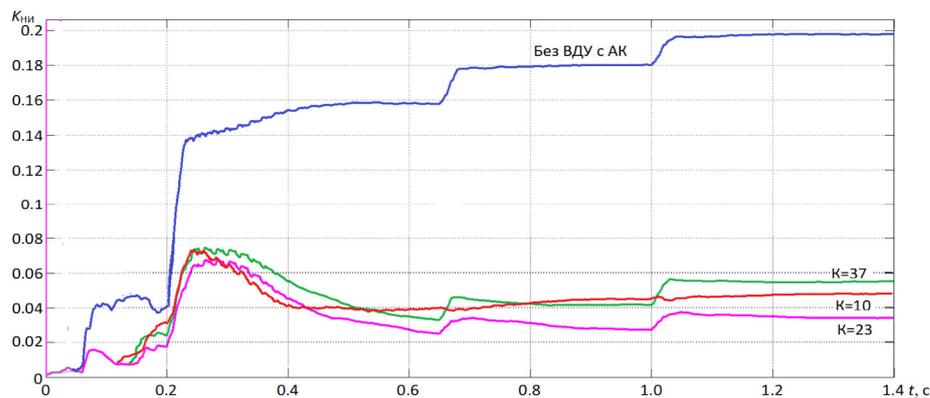


Рис. 5. Диаграмма значений K_{ND} при различных коэффициентах усиления системы измерения в активном компенсаторе

Fig. 5. Diagram of the values of the K_{ND} at different amplification coefficients of the measurement system in the active compensator

Сравнительный анализ диаграмм (рис. 6) доказывает, что в момент подключения (0,2 с) НН большой мощности (95 кВА) к генератору мощностью 250 кВА происходит рост значения K_{ND} обеих систем. Однако спустя 0,05 с значение K_{ND} одноканальной системы резко снижается, что свидетель-

ствует о вступлении системы в действие, а двухканальной – остается на том же уровне. Отметим, что в двухканальной системе регулирования наблюдаются автоколебания, которые продолжаются в течение 0,1 с. В дальнейшем K_{ND} снижается, достигая значения ниже, чем в одноканальной системе.

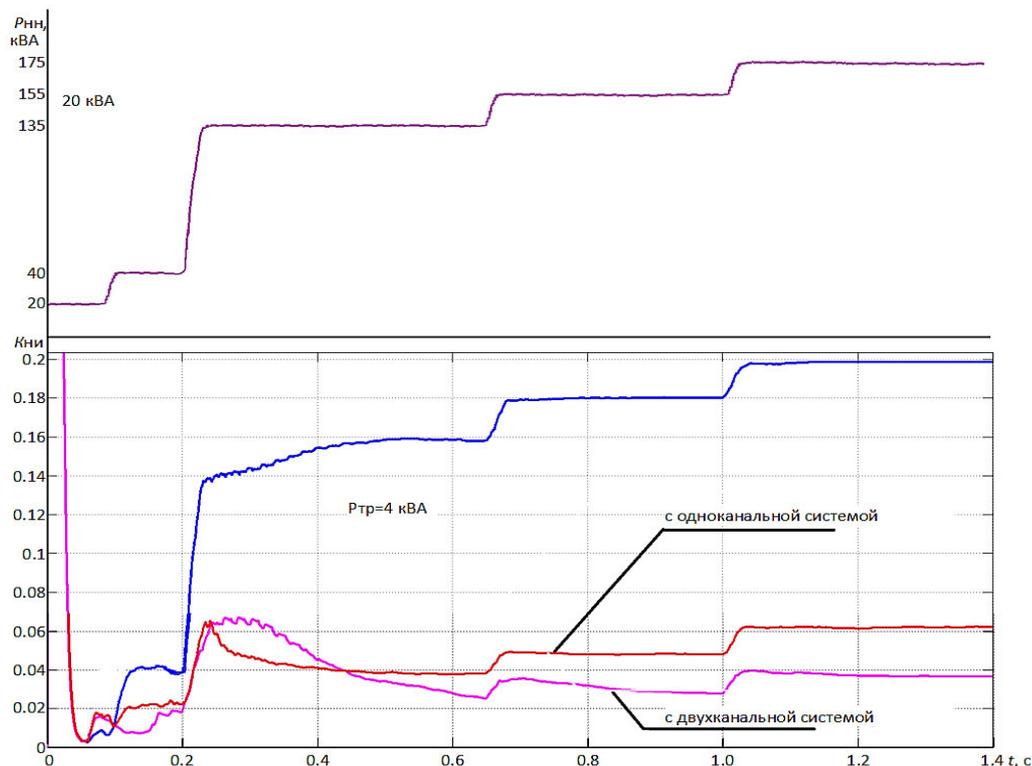


Рис. 6. Диаграмма значений K_{ND} с одноканальной и двухканальной системами измерения в активном компенсаторе

Fig. 6. Diagram of the values of K_{ND} with a single-channel and two-channel measurement systems in the active compensator

Наброс нагрузки меньшей мощности не вызывает подобных колебательных процессов, а $K_{НИ}$ имеет пониженное значение по сравнению с одноканальной системой регулирования. Следует отметить, что автоколебания возникают при превышении соотношения мощности НН к мощности генератора более чем 1 : 3.

На диаграмме рис. 7 показано изменение $K_{НИ}$ при разной мощности ВДТ АК. Было замечено, что повышение мощности ВДТ несколько снижает значение $K_{НИ}$, однако этот процесс имеет тенденцию к замедлению при достижении мощности ВДТ 6,3 кВА и более.

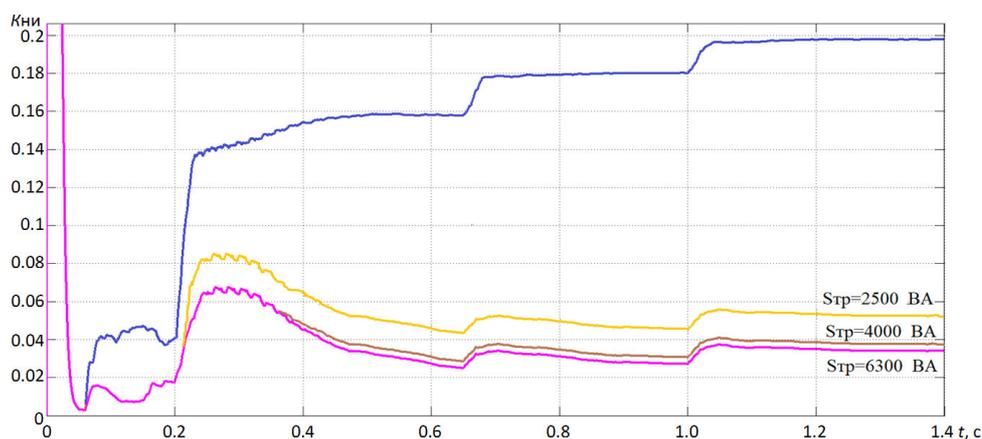


Рис. 7. Диаграмма значений $K_{НИ}$ при разной мощности вольтодобавочных трансформаторов активного компенсатора

Fig. 7. Diagram of the values of the K_{ND} at different power supply voltage transformers of the active compensator

Заключение

Разработана имитационная модель АК нелинейных искажений в программе MatLab, которая учитывает соотношение мощностей нагрузки, в том числе нелинейного характера, и мощности АК. Предложенная структура и алгоритм работы АК являются новыми и отличаются от известных одно-

канальных систем компенсирования. Модель АК позволяет выполнить настройку системы регулирования АК для достижения минимальных значений $K_{НИ}$ в судовой сети. Для двухканальной системы регулирования определены коэффициенты усиления и мощность ВДТ, обеспечивающие снижение $K_{НИ}$ в установившемся режиме работы в 1,5–2 раза.

Список источников

1. Шейнихович В. В. Качество электрической энергии на судах: справ. Л.: Судостроение, 1988. 160 с.
2. Грунтович Н. В., Алферов А. А. Анализ влияния высших гармоник на надежность эксплуатации кабельных линий // Актуальные проблемы электроэнергетики: материалы науч.-техн. конф. (Нижегород, 07 декабря 2009 г.). Н. Новгород: Изд-во НГТУ, 2011. 141 с.
3. Анисимов Я. Ф., Васильев Е. П. Электромагнитная совместимость полупроводниковых преобразователей и судовых электроустановок. Л.: Судостроение, 1990. 264 с.
4. Грин А. В. Фильтрокомпенсирующие устройства для обеспечения электромагнитной совместимости в электротехнических комплексах с вентильной нагрузкой: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 1998. 177 с.
5. Запальский В. Н., Запальский К. Н. Влияние отклонения напряжения и частоты на качество электропитания морского подвижного объекта // Вестн. Кременчуг. гос. политех. ун-та им. М. Остроградского. 2009. Вып. 3 (56). С. 56.
6. Вагин Г. Я., Лоскутов А. Б., Севостьянов А. А., Юртаев С. Н. К вопросу о влиянии кондуктивных помех на электроприемники, элементы систем электроснабжения, управления и защиты // Пром. энергетика. 2012. № 5. С. 27–31.
7. Лебедев В. В., Коробко Г. И. Влияние высших гармоник на работу судового электрооборудования и способы их снижения // Великие реки: тр. 14-го Междунар. науч.-пром. форума (Нижегород, 15–18 мая 2012 г.). Н. Новгород: Изд-во ВГАВТ, 2012. Т. 2. С. 261–264.
8. Измерение и устранение гармоник // Техн. лекция Schneider Electric. 2009. № 30. 48 с.
9. Коробко Г. И., Лебедев В. В., Ахлестин П. В. Использование принципа вольтодобавки для компенсации нелинейных искажений напряжения // Вестн. Волж. гос. акад. вод. трансп. 2015. № 43. С. 303–307.
10. Хватов О. С., Кобяков Д. С. Моделирование переходных процессов дизель-генераторной установки переменной частоты вращения на базе активного выпрямителя напряжения // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2019. № 3. С. 94–104.
11. Дьяконов В. П., Пеньков А. А. MATLAB и Simulink

в электроэнергетике: справ. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 816 с.

12. Каргашев И. И., Тульский В. Н., Шамонов Р. Г. и др. Управление качеством электроэнергии / под ред. Ю. В. Шарова. М.: Изд-во МЭИ, 2006. 319 с.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613892 Рос. Федерация. Расчет коэффициента нелинейных искажений напряжения судовой сети в динамических режимах / Лебедев В. В., Коробко Г. И., Попов С. В.; 09.04.2014.

14. Агунов А. В. Методология и принципы построения

систем управления параметрами качества электрической энергии в судовых электроэнергетических системах с нелинейными элементами: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2004. 186 с.

15. Лебедев В. В., Коробко Г. И., Попов С. В. Устройство выделения высших гармоник для системы компенсации нелинейных искажений напряжения // Актуальные проблемы электроэнергетики: материалы науч.-техн. конф. (Нижний Новгород, 17–18 декабря 2012 г.). Н. Новгород: Изд-во НГТУ, 2012. С. 168–172.

References

1. Sheinikhovich V. V. *Kachestvo elektricheskoi energii na sudakh: spravochnik* [The quality of electrical energy on ships: a reference book]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1988. 160 p.

2. Gruntovich N. V., Alferov A. A. Analiz vliianiia vysshikh garmonik na nadezh-nost' ekspluatatsii kabel'nykh linii. Aktual'nye problemy elektroenergetiki [Analysis of the influence of higher harmonics on the reliability of cable lines. Current problems of the electric power industry]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Nizhnii Novgorod, 07 dekabريا 2009 g.)*. Nizhnii Novgorod, Izd-vo NGTU, 2011. 141 p.

3. Anisimov Ia. F., Vasil'ev E. P. *Elektromagnitnaia sovmestimost' poluprovodnikovyykh preobrazovatelei i sudovykh elektroustanovok* [Electromagnetic compatibility of semiconductor converters and marine electrical installations]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1990. 264 p.

4. Grin A. V. *Fil'trokompensiruiushchie ustroystva dlia obespecheniia elektromagnitnoi sovmestimosti v elektrotekhnicheskikh kompleksakh s ventil'noi nagruzkoi: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Filter compensating devices for ensuring electromagnetic compatibility in electrical engineering complexes with valve load: dis. ... Candidate of Technical Sciences]. Saint Petersburg, 1998. 177 p.

5. Zapal'skii V. N., Zapal'skii K. N. Vliianie otkloneniia napriazheniia i chastoty na kachestvo elektrosnabzheniia morskogo podviziynogo ob'ekta [The effect of voltage and frequency deviation on the quality of power supply to an offshore mobile facility]. *Vestnik Kremenchugskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta imeni M. Ostrogradskogo*, 2009, iss. 3 (56), p. 56.

6. Vagin G. Ia., Loskutov A. B., Sevost'ianov A. A., Iurtaev S. N. K voprosu o vliianii konduktivnykh pomekh na elektropriemniki, elementy sistem elektrosnabzheniia, upravleniia i zashchity [On the issue of the influence of conductive interference on electrical receivers, elements of power supply, control and protection systems]. *Promyshlennaia energetika*, 2012, no. 5, pp. 27-31.

7. Lebedev V. V., Korobko G. I. Vliianie vysshikh garmonik na rabotu sudovogo elektrooborudovaniia i sposoby ikh snizheniia. Velikie reki [The influence of higher harmonics on the operation of marine electrical equipment and ways to reduce them. Great rivers]. *Trudy 14-go Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma (Nizhnii Novgorod, 15–18 maia 2012 g.)*. Nizhnii Novgorod, Izd-vo VGAVT, 2012. Vol. 2. Pp. 261-264.

8. Izmerenie i ustranenie garmonik [Measuring and elim-

inating harmonics]. *Tekhnicheskaiia kolleksiia Schneider Electric*, 2009, no. 30, 48 p.

9. Korobko G. I., Lebedev V. V., Akhlestin P. V. Ispol'zovaniia printsipa vol'todobavki dlia kompensatsii nelineinykh iskazhenii napriazheniia [Using the principle of voltage boost to compensate for nonlinear voltage distortions]. *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta*, 2015, no. 43, pp. 303-307.

10. Khvatov O. S., Kobiakov D. S. Modelirovanie perekhodnykh protsessov dizel'-generatornoi ustanovki peremennoi chastoty vrashcheniia na baze aktivnogo vypryamitelia napriazheniia [Simulation of transient processes of a diesel generator set with variable speed based on an active voltage rectifier]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiia*, 2019, no. 3, pp. 94-104.

11. D'iakonov V. P., Pen'kov A. A. *MATLAB i Simulink v elektroenergetike: spravochnik* [MATLAB and Simulink in the electric power industry: a reference book]. Moscow, Goriachaia liniia – Telekom Publ., 2009. 816 p.

12. Kartashev I. I., Tul'skii V. N., Shamonov R. G. i dr. *Upravlenie kachestvom elektroenergii* [Electricity quality management]. Pod redaktsiei Iu. V. Sharova. Moscow, Izd-vo MEI, 2006. 319 p.

13. Lebedev V. V., Korobko G. I., Popov S. V. *Raschet koeffitsienta nelineinykh iskazhenii napriazheniia sudovoi seti v dinamichestkikh rezhimakh* [Calculation of the coefficient of nonlinear voltage distortion of the ship's network in dynamic modes]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM № 2014613892, 09.04.2014.

14. Agunov A. V. *Metodologiia i printsipy postroeniia sistem upravleniia parametrami kachestva elektricheskoi energii v sudovykh elektroenergeticheskikh sistemakh s nelineinymi elementami: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Methodology and principles of building control systems for electrical energy quality parameters in marine electric power systems with nonlinear elements: dis. ... Doctor of Technical Sciences]. Saint Petersburg, 2004. 186 p.

15. Lebedev V. V., Korobko G. I., Popov S. V. Ustroystvo vydeleniia vysshikh garmonik dlia sistemy kompensatsii nelineinykh iskazhenii napriazheniia. Aktual'nye problemy elektroenergetiki [A device for extracting higher harmonics for a nonlinear voltage distortion compensation system. Actual problems of the electric power industry]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Nizhnii Novgorod, 17–18 dekabريا 2012 g.)*. Nizhnii Novgorod, Izd-vo NGTU, 2012. Pp. 168-172.

Статья поступила в редакцию 17.10.2024; одобрена после рецензирования 20.01.2025; принята к публикации 07.02.2025
The article was submitted 17.10.2024; approved after reviewing 20.01.2025; accepted for publication 07.02.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Петр Владимирович Ахлестин — главный эксперт департамента рабочего проектирования и подготовки производства; Объединенная судостроительная корпорация; mitohondrius@yandex.ru

Сергей Васильевич Попов — кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта; Волжский государственный университет водного транспорта; popovsev3@yandex.ru

Олег Станиславович Хватов — доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта; Волжский государственный университет водного транспорта; khvatov_oleg@mail.ru

Андрей Борисович Дарьенков — доктор технических наук, доцент; доцент кафедры электрооборудования, электропривода и автоматики; Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева; darenkov@nntu.ru

Petr V. Akhlestin — Chief Expert of the Department of Operational Design and Production Preparation; United Shipbuilding Corporation; mitohondrius@yandex.ru

Sergey V. Popov — Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Electric Engineering and Electric Equipment of Water Transport; Volga State University of Water Transport; popovsev3@yandex.ru

Oleg S. Khvatov — Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Electric Engineering and Electric Equipment of Water Transport; Volga State University of Water Transport; khvatov_oleg@mail.ru

Andrey B. Dar'enkov — Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Electrical Equipment, Electric Drive and Automation; Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev; darenkov@nntu.ru

