

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-94-104
УДК 621.313.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НА БАЗЕ АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

О. С. Хватов, Д. С. Кобяков

*Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, Российская Федерация*

Рассмотрены варианты бестрансформаторных силовых топологий судовых дизель-генераторных установок переменной частоты вращения. Предложена силовая схема дизель-генераторной установки переменной частоты вращения на базе активного выпрямителя напряжения и буферного накопителя энергии, обладающая наибольшей эффективностью с точки зрения массогабаритных и эксплуатационных показателей. Представлена структурная схема системы управления полупроводниковыми преобразователями в составе дизель-генераторной установки переменной частоты вращения. Система управления активным выпрямителем напряжения реализована на базе принципа регулирования по положению обобщенного вектора напряжения сети. С целью повышения энергетической эффективности работы инверторной дизель-генераторной установки разработан алгоритм плавного регулирования частоты вращения двигателя внутреннего сгорания средствами задатчика экономичного режима работы. Предложенный алгоритм (метод градиентного спуска) заимствован из области нейросетевых технологий и позволяет вычислять частоту оборотов вала двигателя внутреннего сгорания, соответствующую минимальному удельному потреблению топлива при работе на текущей долевой нагрузке. В компьютерной среде MATLAB Simulink разработана имитационная модель дизель-генераторной установки переменной частоты вращения на базе активного выпрямителя напряжения и проведены исследования переходных процессов. Представлены результаты имитационного моделирования динамических режимов работы коммутации нагрузки с учётом её величины и характера, а также приведены показатели удельного потребления топлива двигателя внутреннего сгорания в составе дизель-генераторной установки переменной частоты вращения. Подтверждено, что применение дизель-генераторной установки переменной частоты вращения на базе активного выпрямителя напряжения позволяет обеспечить требуемые показатели качества генерируемой электроэнергии при работе двигателя внутреннего сгорания на пониженных энергоэффективных частотах вращения в режиме долевых нагрузок.

Ключевые слова: судовые дизель-генераторные установки, переменная частота вращения, активный выпрямитель напряжения, задатчик экономичного режима, двигатель внутреннего сгорания.

Для цитирования: *Хватов О. С., Кобяков Д. С.* Моделирование переходных процессов дизель-генераторной установки переменной частоты вращения на базе активного выпрямителя напряжения // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 3. С. 94–104. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-94-104.

Введение

Дизель-генераторные установки (ДГУ) наряду с мини-ТЭЦ и нетрадиционными возобновляемыми источниками электроэнергии составляют основу энергетического баланса малой энергетики России. Они являются основным средством электроснабжения удалённых районов

нашей страны, а также автономных транспортных объектов, в том числе судов морского и речного флота. В России в эксплуатации находится около 50 тыс. ДГУ суммарной мощностью более 20 млн кВт. Практически все ДГУ работают с постоянной частотой вращения вала двигателя внутреннего сгорания (ДВС) независимо от величины мощности нагрузки. С целью экономии углеводородного топлива, то есть повышения автономного срока плавания судна, целесообразно при пониженных долевых нагрузках уменьшать частоту вращения ДВС. В настоящее время работы по исследованию и созданию дизель-генераторных установок переменной частоты вращения (ДГПЧВ) проводятся во многих странах, в том числе в России. Среди зарубежных фирм-изготовителей ДГПЧВ отметим следующие: Fubag, Honda, Hyundai, Курор, АВВ.

На зарубежном и российском рынках уже присутствуют ДГПЧВ, которые по техническому исполнению являются инверторными ДГУ. Область их применения на флоте сегодня ограничена, в основном, маломерными судами (яхты и т. п.). Как правило, ДГПЧВ имеют две фиксированные частоты вращения: номинальную и пониженную, которая поддерживается при долевых нагрузках на генератор и обеспечивает энергоэффективный режим потребления топлива.

Дизель-генераторные установки переменной частоты вращения бестрансформаторного типа

Для дальнейшего повышения энергоэффективности ДГПЧВ мы предлагаем использовать плавное регулирование частоты вращения ДВС в зависимости от мощности нагрузки [1–3]. В ДГПЧВ задача стабилизации параметров генерируемой электроэнергии обеспечивается с помощью полупроводникового преобразовательного устройства выпрямительно-инверторного типа, подключенного к статорным обмоткам синхронного генератора. Как правило, выпрямительный блок выполнен неуправляемым [4]. В статье рассмотрен вариант применения активного выпрямителя напряжения (АВН) в составе преобразователя ДГПЧВ. Использование АВН одновременно с обеспечением стабилизации напряжения в звене постоянного тока при пониженных частотах вращения ДВС позволяет при необходимости осуществлять режим электро-стартерного пуска генераторной установки.

Варианты силовых электрических схем судовых ДГПЧВ, представленные на рис. 1, относятся к бестрансформаторным типам топологий. Это положительно сказывается на массогабаритных показателях данных ДГПЧВ и делает их наиболее востребованными для использования на автономных транспортных объектах.

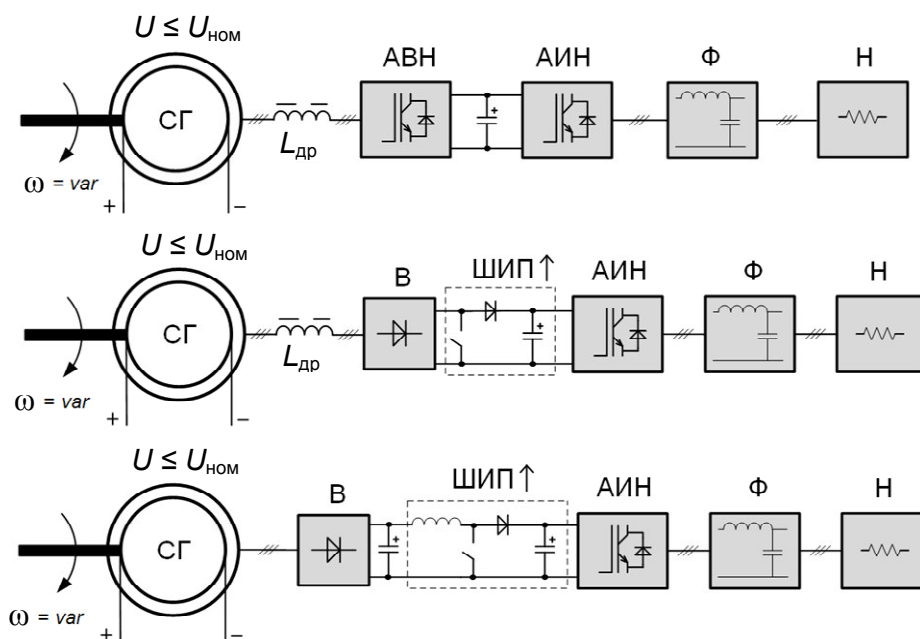


Рис. 1. Силовые топологии бестрансформаторных судовых ДГПЧВ:

СГ – синхронный генератор; В – выпрямитель; АВН – активный выпрямитель напряжения;

ШИП – повышающий широтно-импульсный преобразователь;

АИН – автономный инвертор напряжения; Ф – синус-фильтр; Н – нагрузка

Все представленные на рис. 1 схемы обеспечивают стабилизацию напряжения в звене постоянного тока при работе на пониженных частотах вращения ДВС в режимах его долевой нагрузки. При этом вариант топологии с АВН обладает высокими эксплуатационными показателями.

Важным элементом силовой структуры автономных ДГПЧВ является буферный накопитель энергии (БНЭ), с помощью которого обеспечивается стабилизация напряжения в звене постоянного тока преобразователя в режимах «пиковых» нагрузок на генератор.

Структурная схема ДГПЧВ на базе АВН и БНЭ представлена на рис. 2.

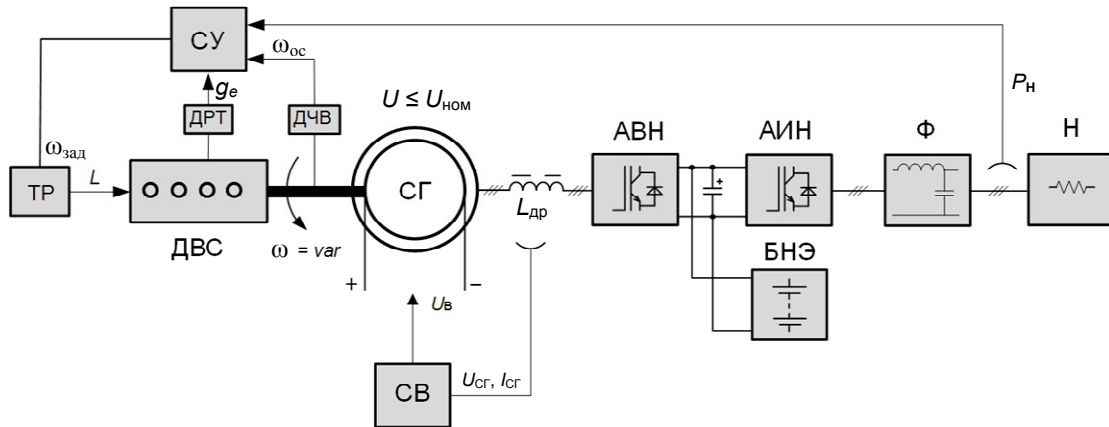


Рис. 2. Структурная схема ДГПЧВ на базе АВН и БНЭ: ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СУ – система управления; ДРТ – датчик расхода топлива; ТР – топливный регулятор; ДЧВ – датчик угловой частоты вращения; СВ – система возбуждения; БНЭ – буферный накопитель энергии

Назначение блока СУ – регулировать обороты ДВС для поддержания энергоэффективной работы ДГПЧВ в режиме долевых нагрузок. Для реализации алгоритма работы СУ необходимо измерять мощность электрической нагрузки, расход топлива и частоту вращения ДВС. В состав системы регулирования также входит регулятор оборотов ДВС (топливный регулятор).

Задатчик экономичного режима

Основу алгоритма регулирования промышленно выпускаемых ДГПЧВ составляет так называемый табличный метод, когда определённому диапазону мощностей электрической нагрузки соответствует определённая частота вращения ДВС. Как правило, это две фиксированные частоты вращения (номинальная и пониженная) во всём диапазоне возможных нагрузок ДВС. Для дальнейшего повышения энергоэффективности ДГПЧВ мы предлагаем использовать плавное регулирование частоты вращения ДВС в зависимости от мощности нагрузки.

На рис. 3 представлена структурная схема системы управления, реализующая данный подход к управлению ДГПЧВ.

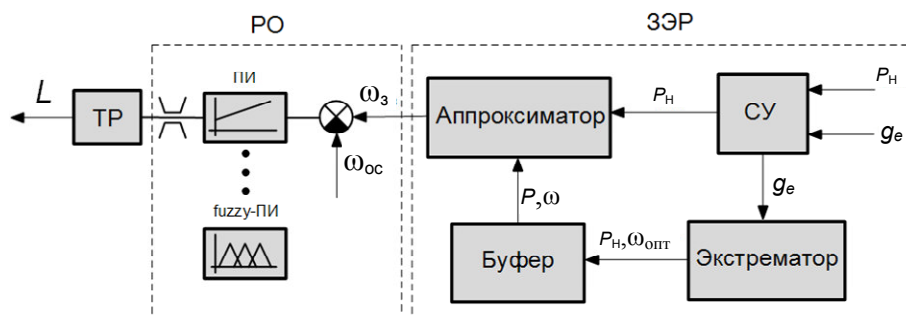


Рис. 3. Структурная схема системы управления ДГПЧВ с ЗЭР: ТР – топливный регулятор; СУ – система управления; РО – регулятор оборотов; ЗЭР – задатчик экономичного режима

Рассматриваемая структурная схема содержит два главных блока: РО и ЗЭР. Регулятор оборотов обеспечивает поддержание заданной частоты вращения ДВС, которая соответствует оптимальному (минимальному) потреблению топлива ДВС. Регулятор оборотов может быть реализован на базе ПИ-регулятора, ПИ-подобных fuzzy- или neuro-регуляторов или «чистых» fuzzy/neuro-регуляторов. Функционально важным звеном структуры управления является блок ЗЭР, который определяет частоту вращения ДВС, соответствующую минимальному потреблению топлива в режиме долевых нагрузок на генератор. Назначение СУ заключается в распределении сигналов и управлении системой.

Рассмотрим принцип работы ЗЭР. В блоке ЗЭР «Буфер» хранятся значения мощности нагрузки и соответствующие им оптимальные значения частоты вращения ДВС (соответственно многопараметровой характеристике ДВС). На блок ЗЭР «Аппроксиматор» поступает значение текущей мощности нагрузки. Данный блок вычисляет принадлежность входной величины значению мощности нагрузки, которое хранится в блоке «Буфер» и определяет значение оптимальной частоты вращения ДВС. Значение входной величины должно совпадать не абсолютно, а лежать в определённом диапазоне относительно запомненного значения. Одновременно с этим блок «Аппроксиматор» формирует сигнал СУ на запуск блока «Экстрематор», если данное значение мощности нагрузки в памяти системы отсутствует и необходимо провести поиск минимума потребления топлива. Блок «Экстрематор» осуществляет поиск глобального минимума функции потребления топлива $g_e = f(\omega_{двс})$ методом градиентного спуска. Данный метод удобно использовать для нахождения экстремума функции, например в нейросетях при обучении перцептрона. В области нейросетей данный метод носит название метода обратного распространения ошибки.

Таким образом, блок ЗЭР формирует величину оптимальной энергоэффективной частоты вращения ДВС в зависимости от нагрузки генератора $\omega_{двс} = f(P_n)$. Алгоритм оценки необходимости поиска минимума потребления топлива представлен на рис. 4.

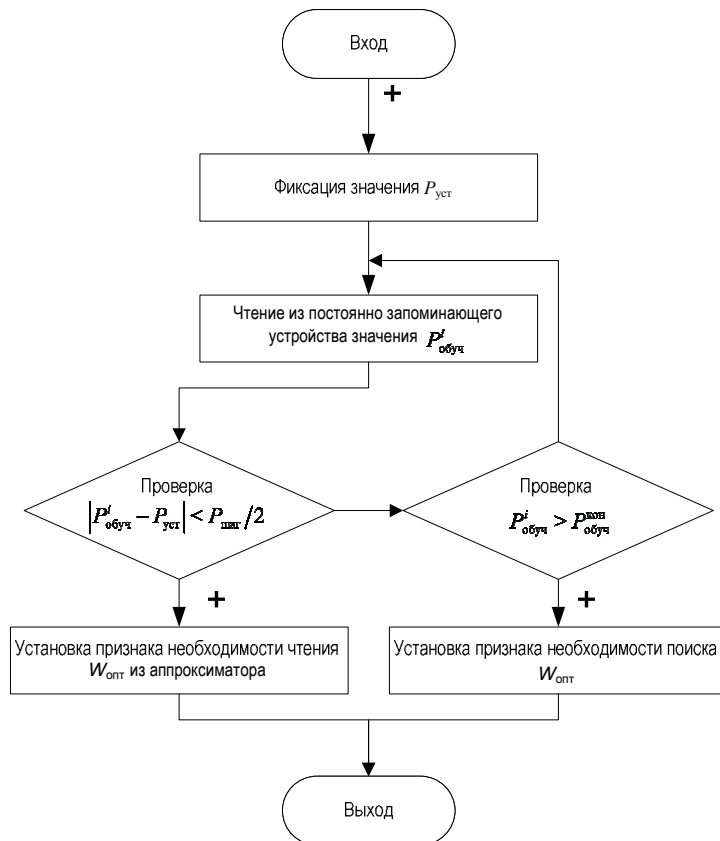


Рис. 4. Алгоритм оценки необходимости поиска минимума потребления топлива

Система управления активного выпрямителя напряжения и автономного инвертора напряжения дизель-генераторных установок переменной частоты вращения

Управление АВН может осуществляться следующими способами:

- прямое регулирование мощности;
- регулирование по положению обобщенного вектора напряжения сети.

Первый способ осуществляется за счёт коммутации состояния ключей инвертора в соответствии с таблицей переключений, основанной на мгновенных ошибках между заданным и измеренным значением активной и реактивной мощности. Второй основан на управлении потребляемым током относительно обобщенного вектора напряжения сети [5, 6]. В качестве базового выбран второй способ управления, имеющий следующие преимущества:

- низкая частота дискретизации (более дешёвые аналого-цифровые преобразователи и микроконтроллер);
- фиксированная частота переключения (упрощенная конструкция входного фильтра).

Кроме того, выбранный способ обеспечивает улучшенное управление выпрямителем в условиях неидеального сетевого напряжения.

Структурная схема силовой части и системы управления ДГПЧВ приведена на рис. 5.

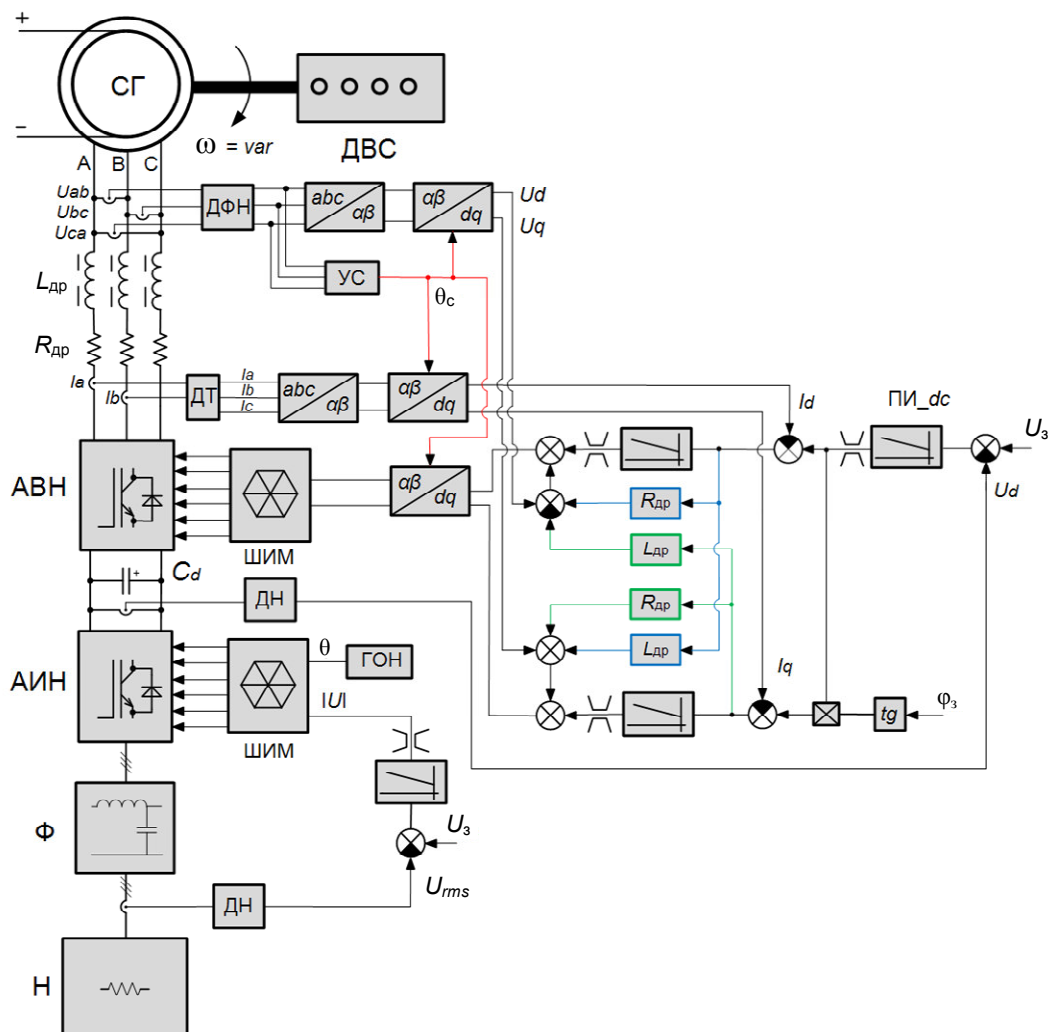


Рис. 5. Структурная схема системы управления ДГПЧВ:

УС – устройство синхронизации; ШИМ – векторная широтно-импульсная модуляция;

ДН – датчик напряжения; ДФН – датчик фазных напряжений; ДТ – датчик тока;

ГОН – генератор опорного напряжения

На входе АВН измеряются значения токов и напряжений СГ, которые затем поступают на блоки фазных и координатных преобразований (рис. 6).

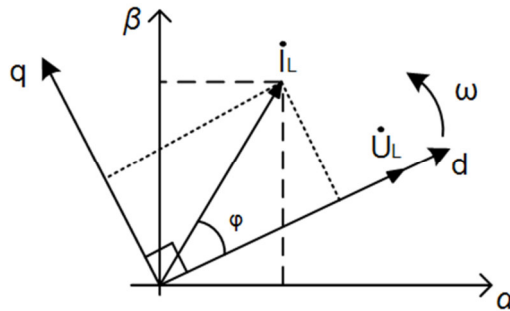


Рис. 6. Векторные диаграммы тока и напряжения АВН

Устройство синхронизации вычисляет фазу напряжения СГ. В блоке преобразований Парка-Горева вычисляются активная и реактивная составляющие тока СГ. Таким образом, достигается возможность регулирования значения активной и реактивной мощности СГ. Для функционирования алгоритма регулирования фазы тока генератора необходимо в структуру управления АВН ввести компенсационные связи [7]. Система управления АВН построена по принципу подчинённого регулирования. Поддержание требуемого уровня напряжения в звене постоянного тока обеспечивает контур регулирования напряжения АВН. Управляемый с помощью векторной ШИМ автономный инвертор напряжения АИН инвертирует постоянное напряжение, которое далее через синус-фильтр подаётся на нагрузку.

Структурные схемы контуров автоматического регулирования АВН представлены на рис. 7 и 8.

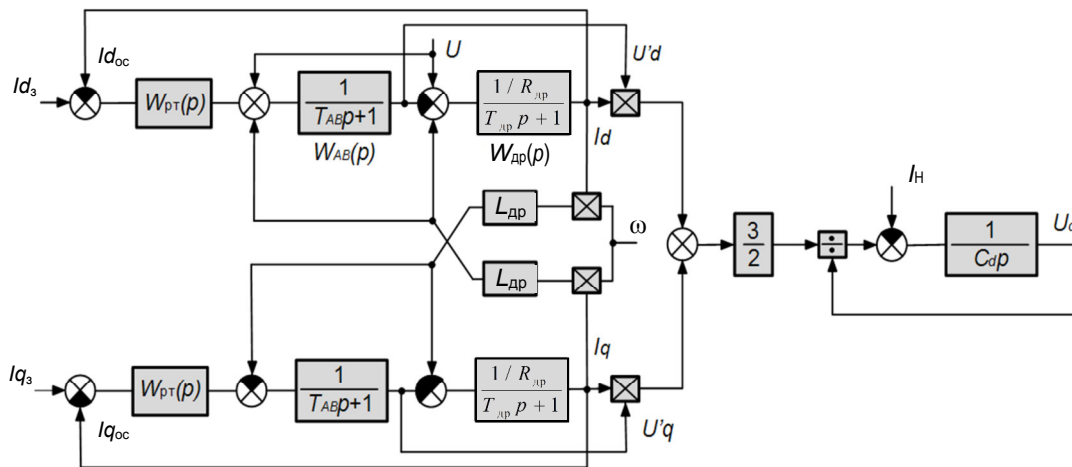


Рис. 7. Структурная схема контура тока АВН

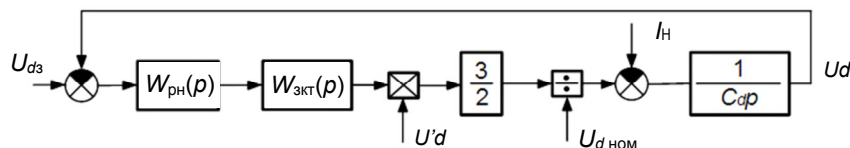


Рис. 8. Структурная схема контура напряжения АВН

Данные схемы построены на базе уравнений непрерывной модели компенсированного АВН [8]. Настройка ПИ-регуляторов АВН выполнена на симметричный оптимум. Значения рассчитанных коэффициентов корректировались с помощью возможностей автоматической настройки блоков PID controller в расширении Simulink Control Design Toolbox.

Моделирование переходных процессов дизель-генераторных установок переменной частоты вращения на базе активного выпрямителя напряжения

На основе структурной схемы (см. рис. 2) в компьютерной среде MATLAB разработана математическая имитационная модель ДГПЧВ на базе АВН. Частота коммутации силовых ключей АВН и АИН составляет 5 кГц. В качестве модели дизельного ДВС выбран блок Genetec engine. Инерция коленчатого вала ДВС не учитывается. Параметры модели дизельного ДВС приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры дизельного ДВС

Мощность P_{\max} , кВт	Частота $n_{\text{ном}}$, об/мин	Частота n_{max} , об/мин	Частота $n_{\text{сх}}$, об/мин	Удельное потребление топлива g_e , мг/об
40	1 500	2 000	400	0,163

В качестве модели СГ выбран стандартный блок Synchronous machine pu standard, в котором предусмотрен учёт эффекта магнитного насыщения стали. Технические характеристики СГ приведены в табл. 2 (некоторые параметры указаны в относительных единицах (о. е.)).

Таблица 2

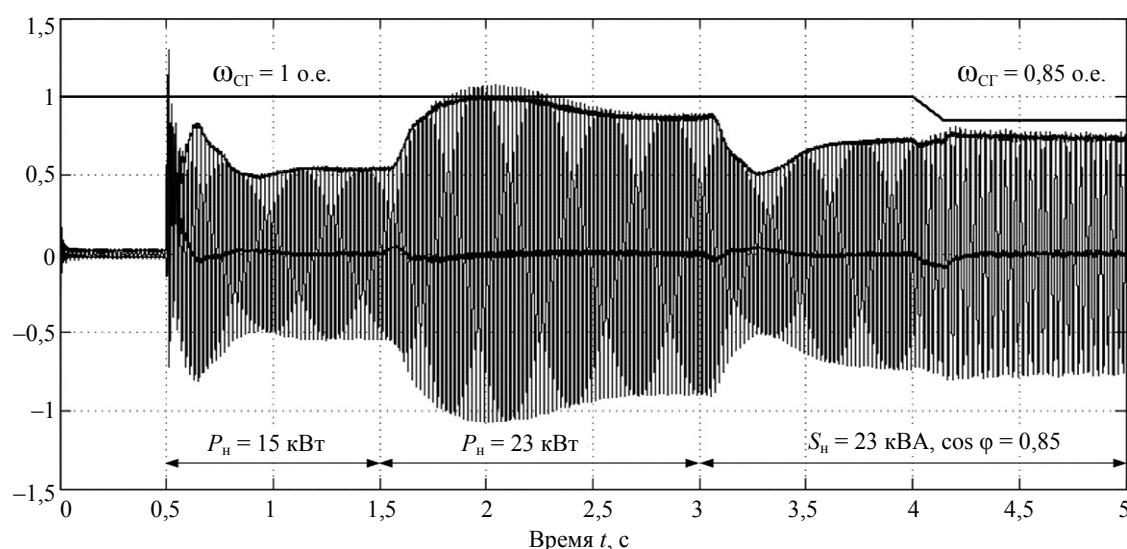
Параметры синхронного генератора

Частота сети f , Гц	Напряжение $U_{\text{ном}}$, В	Мощность $S_{\text{ном}}$, кВА	Частота $n_{\text{ном}}$, об/мин	Сопротивление R_s , о. е.	Сопротивление X_d , о. е.	Сопротивление X_q , о. е.	Момент инерции вала J , кг·м ²	Число пар полюсов p
50	400	31,3	1 500	0,042	1,56	0,78	0,087	2

Имитационный эксперимент состоит из следующих этапов. Вначале ДГПЧВ работает на холостом ходу. На 0,5 с подключается активная нагрузка 15 кВт. Далее в момент времени 1,5 с активная нагрузка увеличивается до 23 кВт. В момент времени 3 с происходит уменьшение $\cos \varphi$ нагрузки на 15 %.

Для обеспечения энергоэффективного режима работы ДВС на 4 с частота вращения ДВС уменьшается на 15 %. На рис. 9 приведены осциллограммы активной и реактивной мощности СГ ($P_{\text{СГ}}$ и $Q_{\text{СГ}}$ соответственно), фазного тока (I_a) и частоты вращения ДВС ($\omega_{\text{СГ}}$).

$P_{\text{СГ}}, Q_{\text{СГ}}, I_a, \omega_{\text{СГ}}$, о.е.

Рис. 9. Осциллограммы $P_{\text{СГ}}, Q_{\text{СГ}}, I_a, \omega_{\text{СГ}}$

На рис. 10 представлены осциллограммы фазного (U_a) и действующего (U_{rms}) выходного напряжения и фазного тока (I_a) ДГПЧВ для режима долевых нагрузок ДВС.

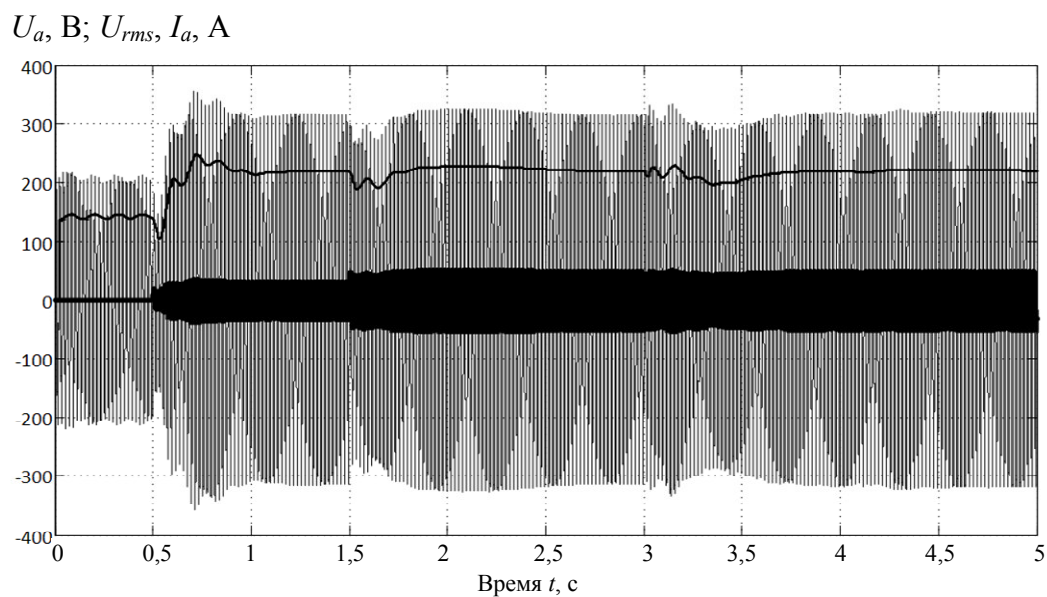


Рис. 10. Осциллограммы U_a, U_{rms}, I_a

Отметим, что независимо от скоростного режима работы ДВС обеспечивается стабилизация параметров выходного напряжения ДГПЧВ. На рис. 11 демонстрируется процесс синхронизации по фазе тока и напряжения СГ с помощью АВН.

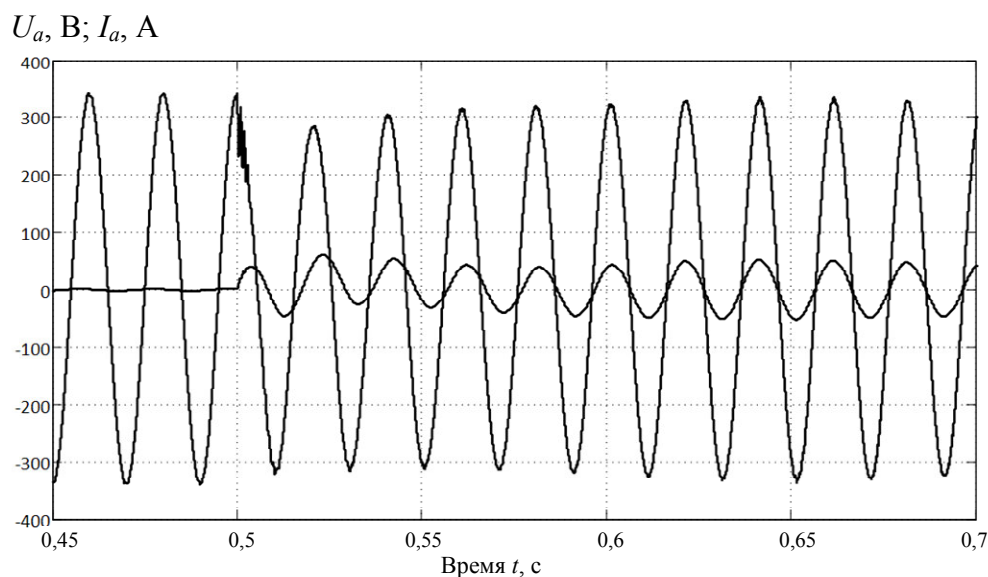


Рис. 11. Осциллограммы синхронизации фазного тока и напряжения на входе АВН

На рис. 12 представлен график удельного потребления топлива ДВС.

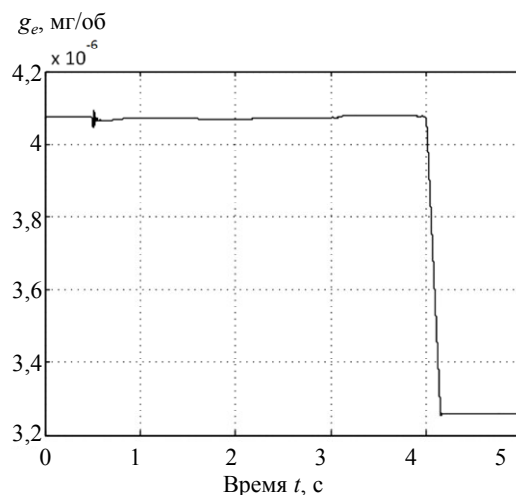


Рис. 12. График удельного потребления топлива ДВС

Номинальное значение удельного расхода топлива ДВС соответствует параметрам ДППЧВ мощностью 30 кВА фирмы Курог. График демонстрирует очевидную экономию топлива ДВС при работе на пониженной частоте вращения в режиме долевой нагрузки (начиная с 4 с).

Заключение

В работе представлены варианты силовых топологий судовых бестрансформаторных ДППЧВ [9–10]. Рассмотрен перспективный вариант ДППЧВ на базе АВН и БНЭ и разработана её математическая имитационная модель. Представлены результаты имитационного моделирования, подтверждающие высокие энергетические характеристики ДППЧВ с АВН при обеспечении требуемых показателей качества генерируемой электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюхов И. И., Степанов С. Ф., Бочкарев Д. А., Ербаев Е. Т. Особенности построения автономных систем электропитания на основе генераторов с изменяемой скоростью вращения вала // Вопр. электротехнологии. 2015. № 1. С. 58–64.
2. Обухов С. Г., Плотников И. А. Сравнительный анализ схем автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетики // Промышленная энергетика. 2012. № 7. С. 46–51.
3. Хватов О. С., Дарьенков А. Б., Самоявчев И. С., Поляков И. С. Автономные генераторные установки на основе двигателей внутреннего сгорания переменной частоты вращения: моногр. Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. П. Е. Алексея, 2016. 172 с.
4. Delgado C., Dominguez-Navarro J. A. Optimal design of a hybrid renewable energy system ecological vehicles and renewable energies // Ninth international conference on publication year (EVER). 2014. P. 1–8.
5. Гельман М. В., Дудкин М. М., Преображенский К. А. Преобразовательная техника: учеб. пособие. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. 425 с.
6. Sylvain L. S. Voltage oriented control of three-phase boost pwm converters. Göteborg: Chalmers University of Technology, 2010. 114 с.
7. Маклаков А. С., Родионов А. А. Влияние на сеть трёхфазного мостового двухуровневого активно-выпрямителя напряжения при различных видах ШИМ. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2013. 8 с.
8. Шрейнер Р. Т., Ефимов А. А. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах. Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2001. 250 с.
9. Хватов О. С., Дарьенков А. Б. Единая электростанция транспортного объекта с электродвижением на базе дизель-генераторной установки переменной частоты вращения // Электротехника. 2016. № 3. С. 35–40.
10. Хватов О. С., Дарьенков А. Б., Самоявчев И. С. Топливная экономичность единой электростанции автономного объекта на базе двигателя внутреннего сгорания переменной скорости вращения // Эксплуатация мор. трансп. 2012. № 1 (71). С. 47–50.

Статья поступила в редакцию 03.06.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хватов Олег Станиславович – Россия, 603950, Нижний Новгород; Волжский государственный университет водного транспорта; д-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта; khvatov_oleg@mail.ru.

Кобяков Дмитрий Сергеевич – Россия, 603950, Нижний Новгород; Волжский государственный университет водного транспорта; аспирант кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта; dmitry.kobyakov@mail.ru.



MODELING TRANSIENT PROCESSES OF DIESEL-GENERATOR SET WITH VARIABLE ROTATION FREQUENCY ON THE BASIS OF ACTIVE VOLTAGE RECTIFIER

O. S. Khvatov, D. S. Kobyakov

*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russian Federation*

Abstract. The variants of transformerless power topologies of ship diesel generator sets of variable rotational speed are considered. A power circuit of a diesel generator set of variable rotational speed on the basis of an active voltage rectifier and a buffer energy store, which has the highest efficiency in terms of weight and size and performance, is proposed. A block diagram of a control system for semiconductor converters as part of a diesel generator set of variable rotational speed is presented. The control system of the active voltage rectifier is implemented upon the principle of regulation according to the position of the generalized voltage vector of the network. In order to increase the energy efficiency of the inverter diesel generator set there has been developed the algorithm for smooth control of the rotational speed of the internal combustion engine using setting mechanism of suspend mode. The proposed algorithm (gradient descent method) is borrowed from the neural network technologies and allows calculating the rotation frequency of the internal combustion engine shaft corresponding to the minimum specific fuel consumption when operating at the current fractional load. In MatLab Simulink computer environment a simulation model of a variable-frequency diesel generator set based on active voltage rectifier was developed and transients were studied. The results of simulation modeling of the dynamic modes of the load switching have been presented, taking into account its size and nature; the indicators of the specific fuel consumption of the internal combustion engine as part of a diesel generator set of variable rotational speed are presented, as well. Using a variable-speed diesel generator set based on an active voltage rectifier has been proved to allow ensuring the required quality indicators of the generated electricity when the internal combustion engine is operating at lower energy-efficient rotation frequencies in the fractional load mode.

Key words: marine diesel generator sets, variable rotation frequency, active voltage rectifier, suspend mode setting unit, internal combustion engine.

For citation: Khvatov O. S., Kobyakov D. S. Modeling transient processes of diesel-generator set with variable rotation frequency on the basis of active voltage rectifier. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;3:94-104. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-94-104.

REFERENCES

1. Artyuhov I. I., Stepanov S. F., Bochkarev D. A., Erbaev E. T. Osobennosti postroeniya avtonomnyh sistem elektropitaniya na osnove generatorov s izmenyaemoy skorost'yu vrashcheniya vala [Features of building autonomous power supply systems based on generators with variable shaft rotation speed]. *Voprosy elektrotekhnologii*, 2015, no. 1, pp. 58-64.

2. Obuhov S. G., Plotnikov I. A. Sravnitel'nyj analiz skhem avtonomnyh elektrostancij, ispol'zuyushchih ustanovki vozobnovlyaemoj energetiki [Comparative analysis of the schemes of autonomous power plants using renewable energy installations]. *Promyshlennaya energetika*, 2012, no. 7, pp. 46-51.
3. Hvatov O. S., Dar'enkov A. B., Samoyavchev I. S., Polyakov I. S. *Avtonomnye generatornye ustanovki na osnove dvigatelej vnutrennego sgoraniya peremennoj chastoty vrashcheniya: monografiya* [Autonomous generator sets based on variable speed internal combustion engines: monograph]. Nizhniy Novgorod, Izd-vo NGTU imeni R. E. Alekseeva, 2016. 172 p.
4. Delgado C., Dominguez-Navarro J. A. *Optimal design of a hybrid renewable energy system ecological vehicles and renewable energies*. Ninth international conference on publication year (EVER), 2014. Pp. 1-8.
5. Gel'man M. V., Dudkin M. M., Preobrazhenskij K. A. *Preobrazovatel'naya tekhnika: uchebnoe posobie* [Conversion technique: Teaching guide]. Chelyabinsk, Izd-vo YUUrGU, 2009. 425 p.
6. Sylvain L. S. *Voltage oriented control of three-phase boost pwm converters*. Göteborg, Chalmers University of Technology, 2010. 114 p.
7. Maklakov A. S., Rodionov A. A. *Vliyaniye na set' tryohfaznogo mostovogo dvuhurovnevnogo aktivnogo vupryamatelya napryazheniya pri razlichnyh vidah SHIM* [Effect of three-phase bridge two-level active voltage rectifier on the network under different types of pulse-width modulation]. Chelyabinsk, Izd-vo YUUrGU, 2013. 8 p.
8. Shrejner R. T., Efimov A. A. *Aktivnyye preobrazovateli v reguliruemyykh elektroprivodah* [Active converters in regulated electric drives]. Novoural'sk, Izd-vo NGTI, 2001. 250 p.
9. Hvatov O. S., Dar'enkov A. B. *Edinaya elektrostanciya transportnogo ob'ekta s elektrodvizheniem na baze dizel'-generatornoj ustanovki peremennoj chastoty vrashcheniya* [Unified power station of transport object with electric propulsion on the basis of a variable-speed diesel generator set]. *Elektrotehnika*, 2016, no. 3, pp. 35-40.
10. Hvatov O. S., Dar'enkov A. B., Samoyavchev I. S. *Toplivnaya ekonomichnost' edinoj elektrostancii avtonomnogo ob'ekta na baze dvigatelya vnutrennego sgoraniya peremennoj skorosti vrashcheniya* [Fuel efficiency of a single power plant of an autonomous facility based on a variable-speed internal combustion engine]. *Ekspluatatsiya morskogo transporta*, 2012, no. 1 (71), pp. 47-50.

The article submitted to the editors 03.06.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Khvatov Oleg Stanislavovich – Russia, 603950, Nizhny Novgorod; Volga State University of Water Transport; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Electric Engineering and Electric Equipment of Water Transport; khvatov_oleg@mail.ru.

Kobyakov Dmitry Sergeevich – Russia, 603950, Nizhny Novgorod; Volga State University of Water Transport; Postgraduate Student of the Department of Electric Engineering and Electric Equipment of Water Transport; dmitry.kobyakov@mail.ru.

