



УДК 621.313.3

Хватов Олег Станиславович, профессор, д.т.н., заведующий кафедрой электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта
Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

Кобяков Дмитрий Сергеевич, аспирант кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта
Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

Юрлов Михаил Евгеньевич, аспирант кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта
Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НА БАЗЕ АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ И БУФЕРНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Аннотация. В статье рассматривается дизель – генераторная установка, работающая при переменной, в зависимости от нагрузки, скорости вращения. Силовая топология установки спроектирована на базе активного выпрямителя напряжения. Буферный накопитель энергии в составе установки позволяет стабилизировать величину напряжения в режиме «пиковых» нагрузок.

Ключевые слова: дизель-генераторная установка переменной частоты вращения, активный выпрямитель, буферный накопитель энергии.

Главным способом электроснабжения удаленных районов России, а также автономных транспортных и береговых объектов является применение дизель-генераторных электростанций. Дизель-генераторные установки (ДГУ) являются основным средством электроснабжения в области малой энергетики. Сегодня большинство ДГУ работают при постоянной частоте вращения двигателя внутреннего сгорания (ДВС), что нецелесообразно с точки зрения экономии углеводородного топлива. В связи с этим многие отечественные и зарубежные фирмы начали заниматься вопросом разработки дизель-генераторных установок переменной частоты вращения (ДГПЧВ).

Актуальность данного направления обусловлена общей мировой тенденцией в малой энергетике, направленной на повышение как эффективности использования углеводородного топлива, так и экологичности технологии производства электроэнергии.

Особенности топологии систем электропитания на базе ДГПЧВ рассмотрены в работах [1,2]. Параллельно с созданием новых ДГУПЧВ целесообразно уделять внимание и модернизации классических ДГУ с целью перевода их работы в энергоэффективный режим при регулируемой частоте вращения.

Структурная схема ДГПЧВ на базе АВН и БНЭ показана на рис. 1. Подобная бестрансформаторная топология построения системы электропитания ДГПЧВ рассмотрена в работах [3-7]. СУ выполняет функцию расчёта оптимальной частоты вращения ДВС. Для расчёта параметров энергоэффективного режима работы ДВС требуются следующие величины: мощность нагрузки, частота вращения вала ДВС и расход топлива в данный момент времени. Задание на частоту вращения осуществляется посредством блока ТР.

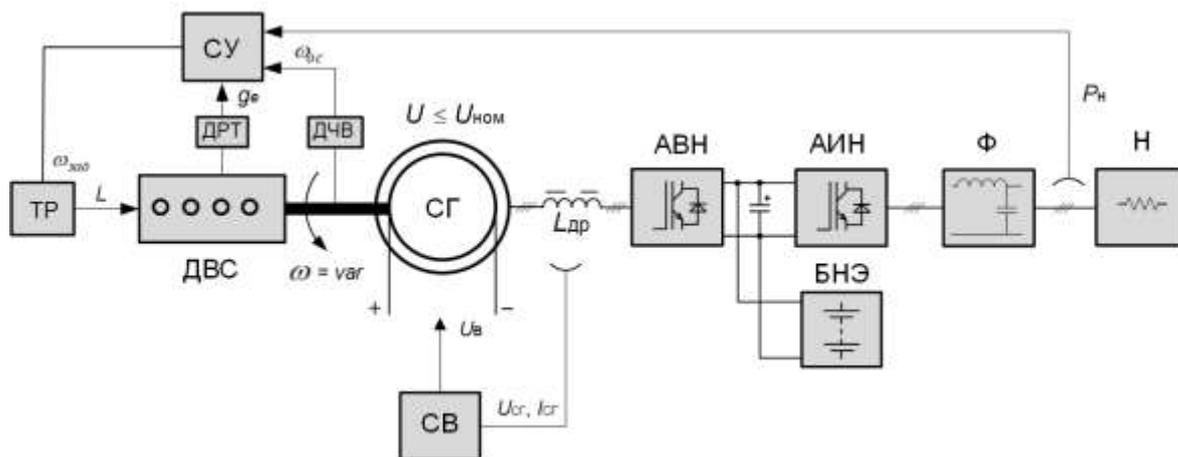


Рис.1. Структурная схема ДГПЧВ с БНЭ: ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СУ – система управления; ДРТ – датчик расхода топлива; ТР – топливный регулятор; ДЧВ – датчик угловой частоты вращения; СВ – система возбуждения; СГ – синхронный генератор; АВН – активный выпрямитель напряжения; АИН – автономный инвертор напряжения; Ф – фильтр; Н – нагрузка; БНЭ – буферный накопитель энергии.

Опираясь на функциональную схему (рис. 1) в пакете Matlab Simulink была создана модель ДГПЧВ на основе АВН и БНЭ. Посредством данной модели были исследованы режимы коммутации нагрузки, а также влияние на выходные характеристики ДГПЧВ изменения частоты вращения ДВС.

Также показана возможность работы в режиме «пиковых» нагрузок и работе ДВС на энергоэффективных скоростных режимах (пониженные частоты вращения).

В данной силовой топологии АВН обеспечивает синусоидальность тока СГ и компенсацию реактивной составляющей потребляемой мощности СГ. Также АВН выполняет функцию стабилизации напряжения звена постоянного тока. Уровень напряжения в имитационных экспериментах 600В. С помощью АВН и БНЭ возможен электро-стартерный запуск ДВС. Оценка топливной экономичности ДГПЧВ в составе единой электростанции судна с электродвижением представлена в работах [8,9].

Эксперимент имитационной модели выполняется в следующей последовательности [10]. В начальный момент времени нагрузка на ДГПЧВ отсутствует. В момент времени 0,5 сек. коммутируется активная нагрузка 15 кВт. Затем в момент 1,5 сек. происходит увеличение нагрузки до 23 кВт. Далее на 3-ей сек. нагрузка меняет характер с чисто активной на активно-индуктивную ($\cos \varphi = 0.85$). На рис. 2 показаны графики активной и реактивной мощностей СГ ($P_{СГ}$ и $Q_{СГ}$ соответственно), фазного тока (I_a) и частоты вращения ДВС ($\omega_{СГ}$). На рис. 3 представлен момент синхронизации тока СГ относительно

напряжения СГ.

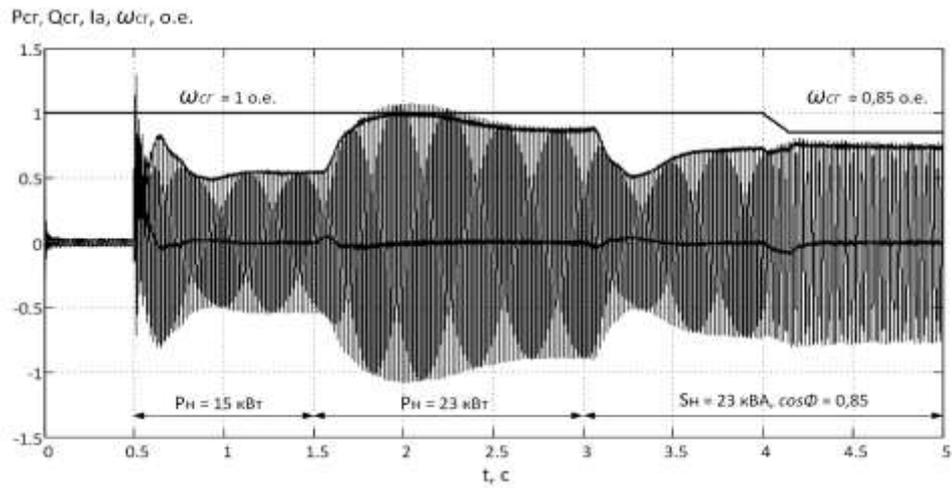


Рис. 2. Осциллограммы P_{cr} , Q_{cr} , I_a , ω_{cr} .

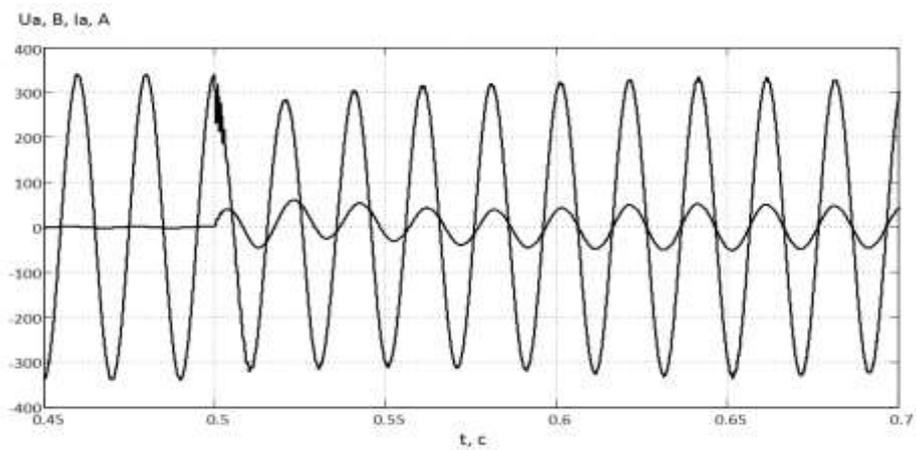


Рис. 3. Осциллограммы синхронизации фазного тока и напряжения на входе АВН.

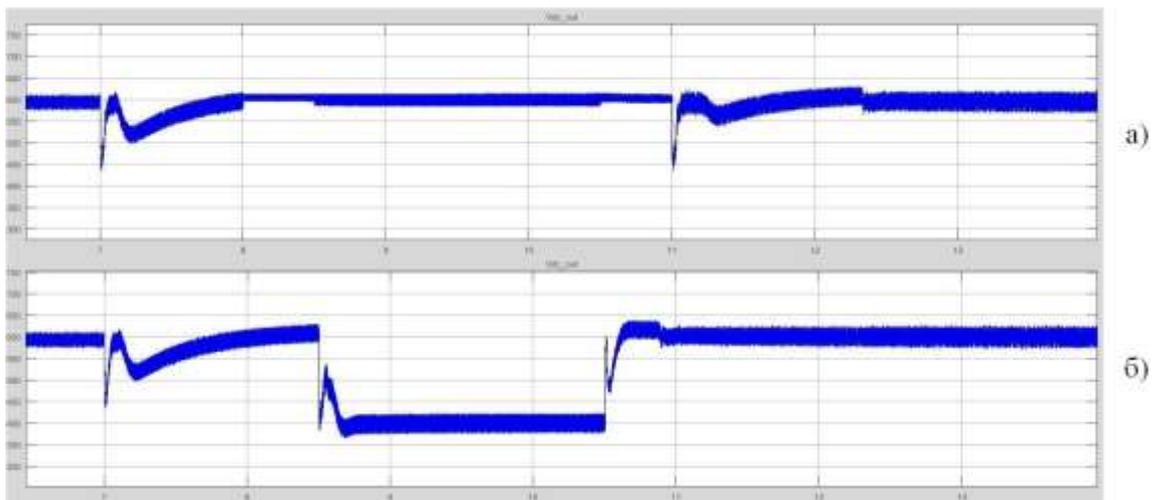


Рис.4. Графики напряжения звена постоянного тока: а – с БНЭ; б – без БНЭ.

На рис. 4 продемонстрирован эксперимент, в котором происходит наброс нагрузки на ДГПЧВ с БНЭ и без БНЭ. Данный эксперимент осуществляется в следующей последовательности. Сначала ДГПЧВ работает без нагрузки. Потом на дизель-генератор коммутируется нагрузка в 20кВт. В момент времени 7 сек. нагрузка возрастает до номинальной (30 кВт). При этом к 8-й сек. ПИ-регулятор напряжения выходит на границу насыщения. Через 0,5 секунды подключается дополнительная («пиковая») нагрузка, равная 20 кВт, которая по прошествии 2 секунд отключается. Осциллограммы напряжения звена постоянного тока при работе БГПЧВ с БНЭ и без него представлены на рис. 4а и рис.4б.

Из приведенных зависимостей видно, что средствами БНЭ на временном интервале «пиковой» нагрузки возможно стабилизировать напряжение звена постоянного тока и, таким образом, обеспечить требуемый баланс мощности между генератором и потребителем, сохраняя при этом необходимый уровень энергоэффективности ДГПЧВ.

Данная модель ДГПЧВ на основе АВН и БНЭ позволяет исследовать режимы подключения (отключения) нагрузки различной величины и характера, также влияние изменения частоты вращения ДВС на выходные характеристики ДГПЧВ.

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 // Вопросы электротехнологии. – 2015. – №1. – С. 58 – 64.
2. Обухов С.Г., Лукутин Б.В., Шутов Е.А., Хоншау З.П. Применение накопителей энергии для повышения энергоэффективности ветро-дизельных электростанций // Электричество. – 2012. – №6. – С. 24 – 29.
3. Обухов С.Г., Сипайлова Н.Ю., Плотников И.А., Сипайлов А.Г. Характеристики синхронного генератора, работающего в составе инверторной дизельной электростанции // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2012. – № 5. – С. 41-45.
4. Обухов С.Г., Плотников И.А. Сравнительный анализ схем автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетики // Промышленная энергетика. – 2012. – № 7. – С. 46–51.
5. Обухов С.Г., Плотников И.А., Сарсикеев Е.Ж. Буферная система накопления электроэнергии для возобновляемой энергетики // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 9 (113). – С. 137–141.
6. Wang X., Palazogluy A., El-Farra N. H. Operation of Residential Hybrid Renewable Energy Systems: Integrating Forecasting, Optimization and Demand Response // American Control Conference (ACC). – 2014. – Pp. 5043 – 5048.
7. Delgado C., Dominguez-Navarro J.A. Optimal design of a hybrid renewable energy system ecological vehicles and renewable energies // Ninthinter national conference on publication year (EVER). – 2014. – Pp. 1 – 8.
8. Chen Y.K., Wu Y.C., Song C.C., Chen Y.S. Design and implementation of energy management system with fuzzy control for DC microgrid systems // IEEE Transactions on Power Electronics.–2013. – № 4. – Pp. 1563 – 1570.
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., Кобяков Д. С. Моделирование переходных процессов дизель-генераторной установки переменной частоты вращения на базе активного выпрямителя напряжения// Вестник АГТУ. Морская техника и технология. – 2019. №4. – С. 94-101.

VARIABLE DIESEL-GENERATED POWER PLANT ON THE BASIS OF AN ACTIVE VOLTAGE RECTIFIER AND ENERGY BUFFER STORAGE

Annotation. The article discusses a diesel generator set operating on a variable, depending on the load, rotation speed. The power supply topology of the installation is based on an active voltage rectifier. The energy storage buffer in the installation allows you to stabilize the voltage in the mode of "peak" loads.

Keywords: variable speed diesel generator set, active rectifier, buffer energy storage.