

УДК 621.314

Малышев Юрий Сергеевич¹, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта,
e-mail: elektrikasp@mail.ru

Бурмакин Олег Анатольевич¹, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта,
e-mail: boa_71@mail.ru

Попов Сергей Васильевич¹, к.т.н., доцент, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта,
e-mail: popovsev3@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДВОЙНОГО РОДА ТОКА С ОБРАТИМЫМ ВАЛОГЕНЕРАТОРОМ

Аннотация. В статье проведен анализ судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) с валогенераторными установками (ВГУ) переменной и постоянной частоты вращения. Рассмотрена работа ВГУ в двигательном и генераторном режимах. Выявлены основные достоинства и недостатки существующих СЭЭС с ВГУ. Предложена структура комбинированной СЭЭС с встроенной сетью постоянного тока и обратимым валогенератором. Обоснованы экономическая целесообразность и повышение живучести судна при использовании СЭЭС с обратимым ВГУ.

Ключевые слова: электрическая система, двойной род тока, судовая электростанция, встроенная сеть постоянного тока, обратимый валогенератор.

Валогенераторные установки (ВГУ) применяются на судах для снижения себестоимости электроэнергии и экономии топлива. Изначально в ВГУ использовались нерегулируемые генераторы, работающие со стабильными параметрами вырабатываемой электроэнергии в узком диапазоне частот вращения валопровода. Поэтому на речных судах, работающих в условиях затрудненного судоходства, отказывались от использования нерегулируемых ВГУ. Регулируемые ВГУ работают в широком диапазоне частот вращения валопровода, а частота вращения вала генератора стабилизируется с помощью различных механических (см. рисунок 1, а, б, в) и электронных регуляторов. Примером механического регулирования частоты вращения валогенератора являются установки с мультипликатором (см. рисунок 1, г, д). Для поддержания частоты вращения вала генератора, в случаях остановки или значительного снижения числа оборотов ГД, устанавливался вспомогательный дизель 5 подключаемый к ВГУ через соединительно-разобщительную муфту 6. (см. рис. 1, г, д).

Системы ВГУ, построенные на базе полупроводниковых преобразователей, являются наиболее популярными в настоящее время [1]. Силовая схема ВГУ выполнена на базе тиристорного управляемого выпрямителя и инвертора. Для снижения индуктивной нагрузки на генератор в схеме использован синхронный компенсатор. Такая схема отличается сложной системой управления и генерированием высших гармонических составляющих напряжения в судовую сеть.

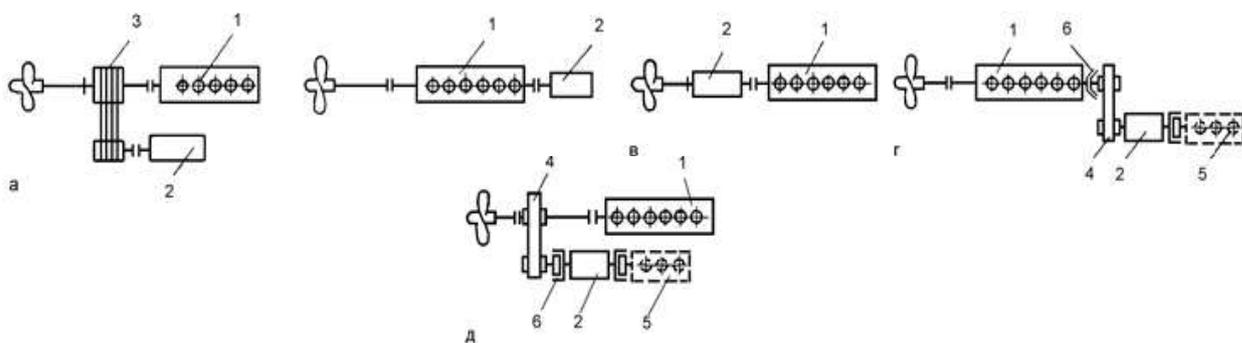


Рисунок 1 - Схемы привода валогенератора с прямой передачей:

а - с клиноременной (или цепной) передачей; б - с передачей от свободного конца ГД, в - с ВГУ, встроенным в линию вала; г - с мультипликатором от свободного конца ГД; д - с мультипликатором от валопровода. 1 - ГД, 2 - ВГУ, 3 - текстропная (клиноременная или цепная) передача, 4 - мультипликатор, 5 - вспомогательный дизель; 6 - соединительно разобщительная муфта

Основным режимом работы перечисленных ВГУ является автономный, который используется при относительном постоянстве частоты вращения валопровода. При больших отклонениях частоты вращения необходимо перевести электрическую нагрузку на основную электростанцию, путем кратковременного включения на параллельную работу с ней. Длительная параллельная работа ВГУ и основной электростанции, из-за сложности регулирования в динамических режимах, затруднена.

Для снижения себестоимости судовой электроэнергии и экономии топлива целесообразно, кроме ВГУ, включать в состав СЭЭС преобразовательные устройства - возобновляемые источники, работающие от альтернативных источников энергии. Это является особенно актуальным в условиях снижения запасов ископаемых источников энергии и увеличения вредных выбросов в атмосферу при их добыче и сжигании. Возобновляемые источники имеют неограниченный ресурс и экологичность, но их применение ограничено природными условиями и конструктивными особенностями судна.

С целью увеличения энергоэффективности СЭЭС были разработаны комбинированные системы, где одновременно используются ВГУ и возобновляемые источники энергии различных видов и типов [2, 3, 4]. При этом их совместную работу обеспечивает встроенная сеть постоянного тока. Функциональная однолинейная схема СЭЭС со встроенной сетью постоянного тока показана на рисунке 3.

Встроенная сеть постоянного тока позволяет устанавливать валогенераторы без использования сложных передаточных устройств, а также снимает вопрос о методе их включения на параллельную работу. При этом, в составе ВГУ целесообразно применение асинхронного генератора с конденсаторным возбуждением и неуправляемым выпрямителем, имеющим большую надежность и меньшую стоимость. Согласно зарубежным источникам [5], встроенная сеть постоянного тока позволяет трансформировать СЭЭС, изменяя состав дополнительных источников в зависимости от климатических условий.

Предлагаемая СЭЭС со встроенной сетью постоянного тока позволяет использовать любой тип генератора как переменного, так и постоянного тока. Применение более простого и надежного, относительно синхронного, асинхронного генератора (АГ с КЗ ротором) снижает массогабаритные показатели ВГУ. Возбуждение АГ обеспечивается либо активным выпрямителем (см. рисунок 4, а), либо конденсаторными установками (см. рисунок 4, б). Встроенная сеть постоянного тока позволяет осуществить как генераторный, так и двигательный режим, однако применение активного выпрямителя подразумевает более сложную систему управления с большим числом датчиков для

контроля активных и реактивных составляющих тока. Поэтому в автономных объектах, какими являются суда, предпочтительнее, для обеспечения двигательного режима, применять дополнительный инвертор (см. рисунок 4, б).

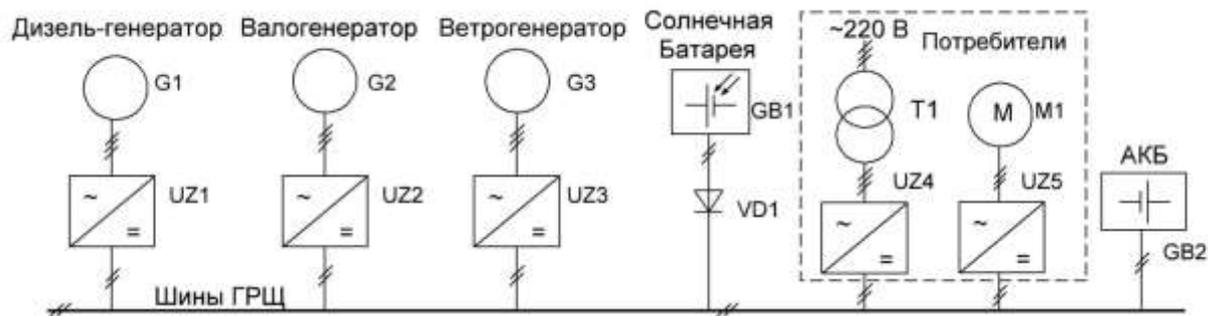


Рисунок 3 - Функциональная однолинейная схема СЭЭС со встроенной сетью постоянного тока

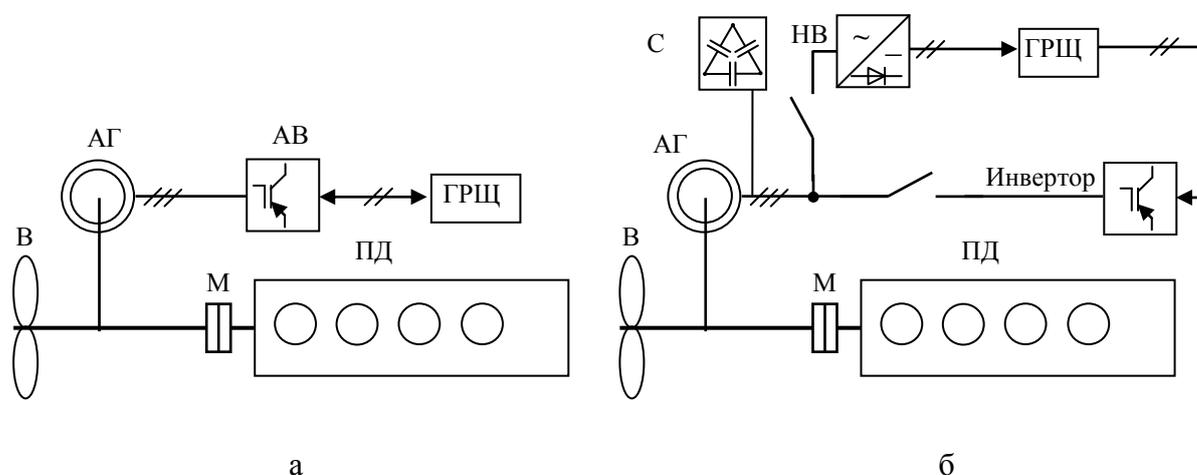


Рисунок 4 - Функциональная схема обратимой ВГУ: а) с инвертором, б) с активным выпрямителем

В генераторном режиме неуправляемый выпрямитель не допускает появления обратной мощности, а в двигательном режиме система управления инвертором значительно проще, чем в случае с активным выпрямителем.

Таким образом, использование предложенной схемы реализации обратимой ВГУ, при наличии встроенной сети постоянного тока, позволит: обеспечить надежную работу ВГУ как в генераторном, так и в двигательном режимах.

Двигательный режим ВГУ осуществляется путем отсоединения ГД от вала гребного винта с помощью соединительно-разобцительной муфты и подачи питания от основных генераторов СЭЭС. Как правило, установленная мощность валогенераторов составляет около 10 % от мощности ГД. Этой мощности ВГУ достаточно при ее использовании в двигательном режиме для сохранения управляемости судна. Обратимые ВГУ позволяют повысить живучесть судна, обеспечить движение судна с малой скоростью без использования ГД, в аварийных и специальных режимах.

Список литературы:

1. Григорьев А.В., Петухов В.А. Современные и перспективные судовые валогенераторные установки.: Изд-во ГМА им. Адм. С.О. Макарова, 2009-176с.
2. Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Попов С.В., Гуляев В.В. Исследование режимов работы судовой электроэнергетической системы двойного рода тока. Морская техника и технология. Научный журнал 1 февраля 2019. – Изд-во АГТУ, Астрахань, 2019 – с. 97-104.

3. Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Попов С.В., Гуляев В.В. Исследование параллельной работы генераторов в системе двойного рода тока (тезисы) Труды 20-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки - 2018». Труды конгресса. - Н.Новгород: ФБОУ ВПО "ВГАВТ", 2018.- Т.2.

4. Малышев Ю.С., Бурмакин О.А., Попов С.В., Гуляев В.В., Луконичев Н.И. Разработка экспериментальной установки для исследования систем двойного рода тока (тезисы) Труды 21-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки - 2019». Труды конгресса. - Н.Новгород: ФБОУ ВПО "ВГАВТ", 2018.- Т.2.

5. Hansen, J. F., Lindtjørn, J. O., Myklebust T. A., Vanska, K. OnboardDCGrid., <https://library.e.abb.com/public/b4f3f099e9d21360c1257a8a003beac2/ABB%20Generations%20Onboard%20DC%20grid.pdf>

ELECTRIC POWER SYSTEM OF DOUBLE CURRENT WITH REVERSIBLE SHAFTGENERATOR

Yuriy S. Malyshev, Oleg A. Burmakin, Sergey V. Popov

Annotation. The article analyzes the ship electric power systems (SES) with shaft-generator installations (ShG) of variable and constant speed. The work of shaft-generator installations in motor and generator modes is considered. The main advantages and disadvantages of the existing SES with ShG are revealed. The structure of a combined SES with a built-in DC network and a reversible shaft generator is proposed. The economic feasibility and increase in the survivability of the vessel when using the SES with a reversible ShG are substantiated. The work of VSU in motor and generator modes is considered.

Key words: electrical system, dual current type, ship power plant, integrated DC network, reversible shaft generator.

