

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 629.12:629.5.037:621.33

А. В. Григорьев,
канд. техн. наук, доц.;

Ю. А. Кулагин,
соиск.

СУДОВЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЬНО-ДВИЖИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОЛЬЦЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ

THEORETICAL BASIS OF OPERATION MODES OF SHIP SHAFT GENERATOR PLANTS WITH FREQUENCY CONVERTERS AND SYNCHRONOUS COMPENSATORS

Судовые системы электродвижения (СЭД) находят все более широкое применение на судах различного назначения. Современное состояние науки и техники позволяет создать СЭД нового поколения с более высоким КПД, надежностью и минимальными массогабаритными показателями. В статье рассмотрены назначение и область применения СЭД, приведен анализ современных СЭД традиционной конструкции. Показана целесообразность применения в составе перспективных СЭД двигательных-двигательных систем кольцевой конструкции (ДДС КК) на базе синхронного электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов и полупроводниковых преобразователей частоты на базе активного выпрямителя и автономного инвертора. Разработаны и приведены схематические решения СЭД с применением ДДС КК. Обоснована целесообразность применения ДДС КК в составе винторулевых колонок (ВРК) вспомогательных СЭД и подруливающих устройств. СЭД с ДДС КК имеют более высокие технико-экономические показатели и могут применяться на судах различного назначения.

Ship electric propulsion plants find more and more broad application in vessels of different function. The current state of science and equipment allows to create electric propulsion plants of new generation with higher efficiency, reliability and the minimum mass-dimensional indicators. In the article the purpose and the field of application of electric propulsion plants are considered, the analysis of modern electric propulsion plants of a traditional design is provided. Expediency of application, as a part of perspective electric propulsion plants, of rim driven propulsors on the basis of the synchronous electric motor with permanent magnets and semiconductor frequency converter on the basis of the active front end rectifier and the autonomous inverter is shown. Circuit solutions of electric propulsion plants with application of rim driven propulsors are developed and provided. Expediency of application of rim driven propulsors as a part of azimuth thrusters of auxiliary electric propulsion plants and tunnel thrusters is proved. Electric propulsion plants with rim driven propulsors have higher technical and economic indicators and can be applied in vessels of different function.

Ключевые слова: система электродвижения, гребной электродвигатель, синхронный электродвигатель, постоянные магниты, двигательно-двигательная система кольцевой конструкции, кольцевой электродвигатель, полупроводниковый преобразователь частоты, винторулевая колонка, подруливающее устройство.

Key words: electric propulsion plant, propulsion motor, synchronous motor, permanent magnets, rim driven propulsor, rim motor, semiconductor frequency converter, azimuth thruster, tunnel thruster.

СУДОВЫЕ системы электродвижения (СЭД) предназначены для обеспечения движения судна в ходовых режимах эксплуатации [1], [2]. В настоящее время СЭД находят широкое применение на судах различных типов и назначения. По сравнению с традиционными пропульсивными комплексами на базе тепловых двигателей (дизелей и турбин) СЭД имеют ряд преимуществ, среди которых следует отметить:

– обеспечение высоких маневренных характеристик судна;

- более высокий КПД при работе на долевых нагрузках;
- более высокая перегрузочная способность ГЭД, что особенно важно при ходе судна во льдах;
- снижение вредных выбросов в атмосферу;
- возможность рационального размещения оборудования на судне с увеличением полезного объема и др.

В состав современных СЭД входит гребной электродвигатель (ГЭД), полупроводниковые преобразователи частоты (ППЧ), силовые трансформаторы, электрошитовое оборудование, системы автоматического управления и регулирования [3], [4]. В качестве ГЭД наиболее широкое применение нашли асинхронные и синхронные электродвигатели с электромагнитным возбуждением. В зависимости от типа движителя ГЭД могут выполняться средне- или малооборотными. В качестве ППЧ широкое применение нашли преобразователи со звеном постоянного тока на базе неуправляемых выпрямителей (НВ) и автономных инверторов (АИ) напряжения.

Система автоматического управления и регулирования СЭД обеспечивает пуск, плавное регулирование частоты вращения, торможение и, при необходимости, реверс ГЭД. В качестве движителей на судах с СЭД применяются гребные винты фиксированного шага или азимутально-управляемые винторулевые колонки (ВРК). При использовании в составе СЭД азимутальных ВРК управление курсом, торможение и реверс судна осуществляются с помощью разворота колонок. При этом исключается необходимость реверсирования винта. При использовании в составе СЭД механических ВРК ГЭД располагается в корпусе судна. Недостатком ВРК данного типа является ограничение максимальной мощности и момента, сравнительно низкий КПД и высокий уровень вибрации и шума.

В электрических ВРК ГЭД располагается в выносной гондоле. За счет прямой передачи вращающего момента на винт выше КПД колонок данного типа, ниже уровни вибрации и шума, выше максимально возможные мощности и момент по сравнению с механическими ВРК. Колонки данного типа широко используют на ледоколах и судах ледового класса.

Конструктивные исполнения современных СЭД с различными типами движителей [5] представлены на рис. 1.

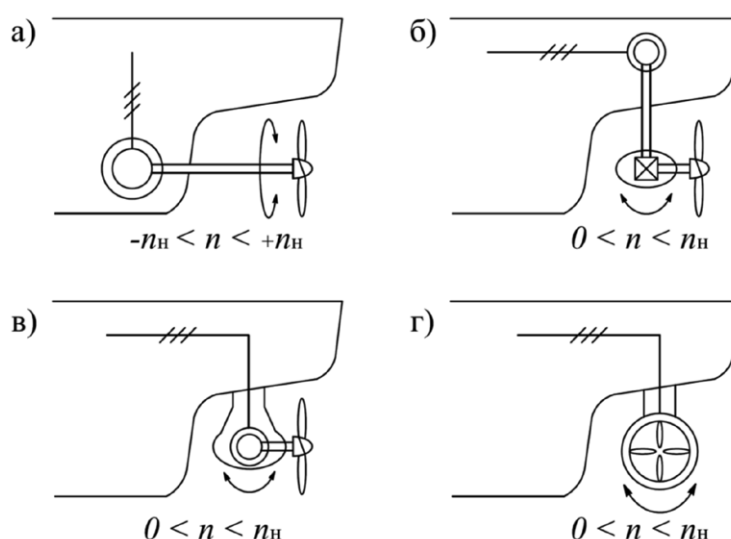


Рис. 1. Пропульсивные комплексы СЭД:
СЭД с прямой передачей вращающего момента на гребной винт (а);
СЭД с механической ВРК (б);
СЭД с электрической ВРК (в); СЭД на базе ДДС КК (г);
 n — частота вращения ГЭД; n_n — номинальная частота вращения ГЭД

Новый этап в развитии ВРК связан с созданием двигательно-движительных систем кольцевой конструкции (ДДС КК) на базе погружных электродвигателей. Принципиально новым элементом в ВРК, по сравнению с другими типами, является погружной кольцевой ГЭД, совмещенный с гребным винтом. Благодаря интеграции двигателя и движителя в единую конструкцию, в отличие от традиционных механических ВРК с *Z*-образной и *L*-образной передачами, в ДДС КК отсутствуют тяжелые валы и сложный, дорогостоящий, громоздкий конический редуктор. При этом следует отметить, что редукторы подобного типа мощностью свыше 400 – 500 кВт в настоящее время закупаются за рубежом, поскольку их серийное производство в России не освоено.

По сравнению с электрическими ВРК типа AZIPOD, корпус кольцевого ГЭД не препятствует потоку воды от гребного винта, поскольку последний находится внутри полого ротора. Использование электродвигателя данной конструкции повышает гидродинамический КПД пропульсивного комплекса, а также открывает возможность применения съемных технологичных лопастей, образующих бесступичный гребной винт типа «импеллер» повышенной эффективности в полости ротора кольцевого ГЭД.

В отличие от традиционных установок, в составе ДДС КК применяется синхронный электродвигатель с постоянными магнитами. Среди преимуществ таких электрических машин следует выделить следующие:

- минимальные массогабаритные показатели по сравнению с другими типами электродвигателей;
- высокая надежность, в том числе за счет большого воздушного зазора;
- высокий КПД благодаря отсутствию потерь на возбуждение;
- хорошие условия теплоотвода.

Внешний вид двигательно-движительной системы на базе кольцевого ГЭД представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид двигательно-движительной системы на базе кольцевого ГЭД

Типовая структурная схема СЭД с механической и электрической ВРК представлена на рис. 3. В состав СЭД входит ГЭД, ППЧ, трехобмоточный трансформатор, распределительный щит (РЩ). В качестве ГЭД, как правило, применяется асинхронный электродвигатель. ППЧ выполняется со звеном постоянного тока на базе НВ и АИ [6], [7]. ППЧ на базе шестипульсного НВ, собранного по схеме Ларионова, снижает качество электроэнергии в судовой сети. С целью улучшения гармонического состава напряжения судовой сети питание гребного электропривода осуществляется через трехобмоточные трансформаторы, что позволяет реализовать 12-пульсную схему выпрямления. Выпрямитель данного типа выполняется в виде двух трехфазных мостов Ларионова, включенных параллельно или последовательно. Схема ППЧ традиционного исполнения представлена на рис. 4, а.

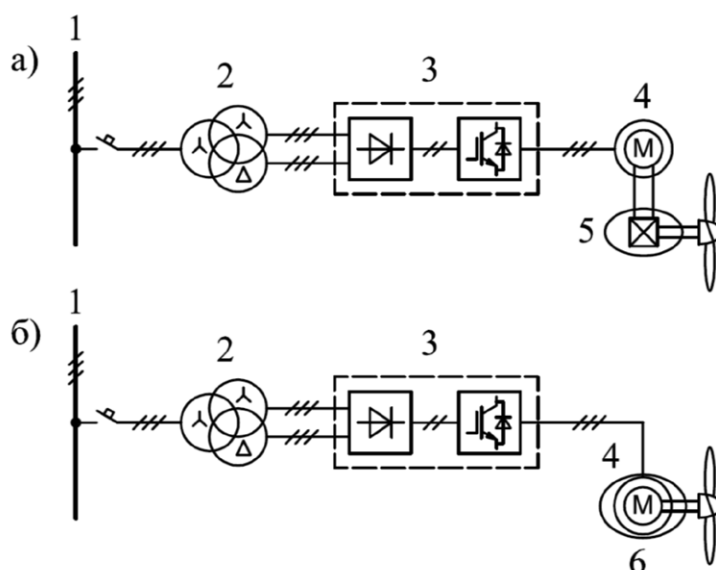


Рис. 3. СЭД традиционного исполнения:

СЭД с механической ВРК (а); СЭД с электрической ВРК (б):

1 — РЩ; 2 — трансформатор; 3 — ППЧ; 4 — ГЭД; 5, 6 — механическая и электрическая ВРК

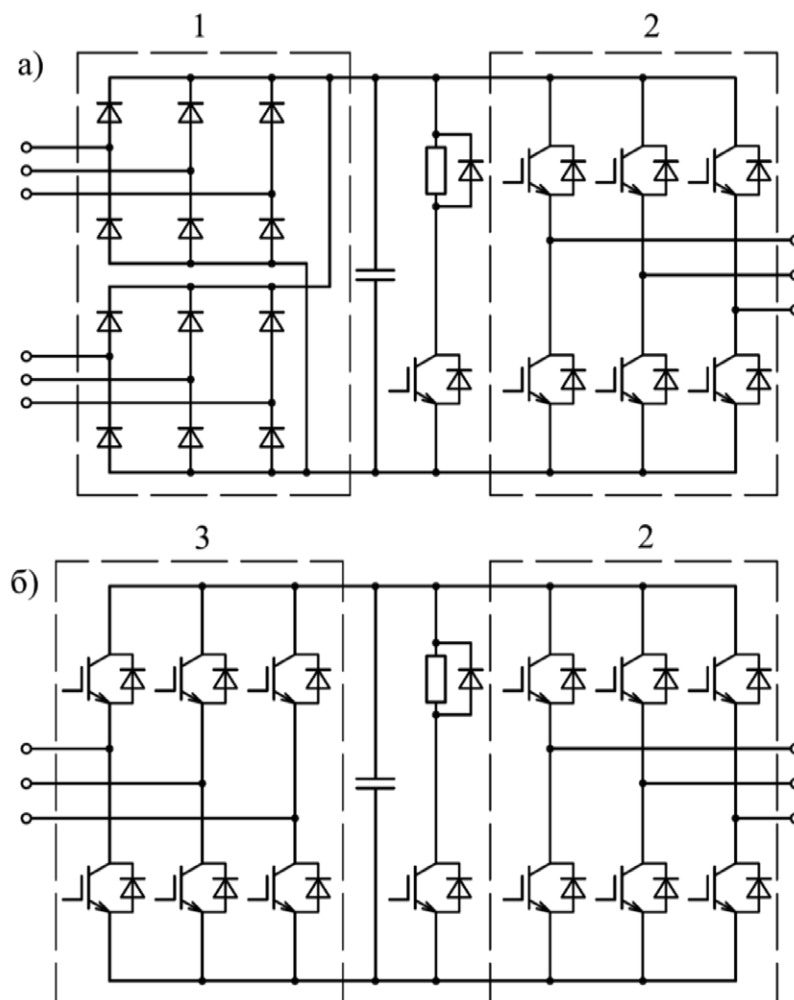


Рис. 4. Полупроводниковый преобразователь частоты:

необратимый ППЧ на базе 12-пульсного НВ (а); обратимый ППЧ на базе АВ (б):

1 — НВ; 2 — АИ; 3 — АВ

Устранить недостатки традиционных преобразователей возможно при использовании в составе ППЧ активных выпрямителей (АВ) (рис. 4, б). К достоинствам ППЧ на базе АВ следует отнести:

- минимальное влияние на качество электроэнергии в судовой сети;
- активная мощность может протекать в обоих направлениях, что позволяет дополнительно осуществлять рекуперативное торможение СЭД;
- минимальное потребление из судовой сети реактивной мощности, что позволяет работать с коэффициентом мощности, близким к единице;
- стабилизация напряжения в звене постоянного тока обеспечивает отсутствие влияния процессов, протекающих в судовой сети, на качество работы ГЭД.

Структурная схемы СЭД и подруливающих устройств нового поколения [8], [9] на базе ДДС КК и обратимых ППЧ на базе АВ представлена на рис. 5.

СЭД и ПУ на базе ДДС КК обладает следующими существенными преимуществами:

- минимальные виброшумовые характеристики;
- минимальные массогабаритные показатели;
- высокий суммарный КПД пропульсивного комплекса.

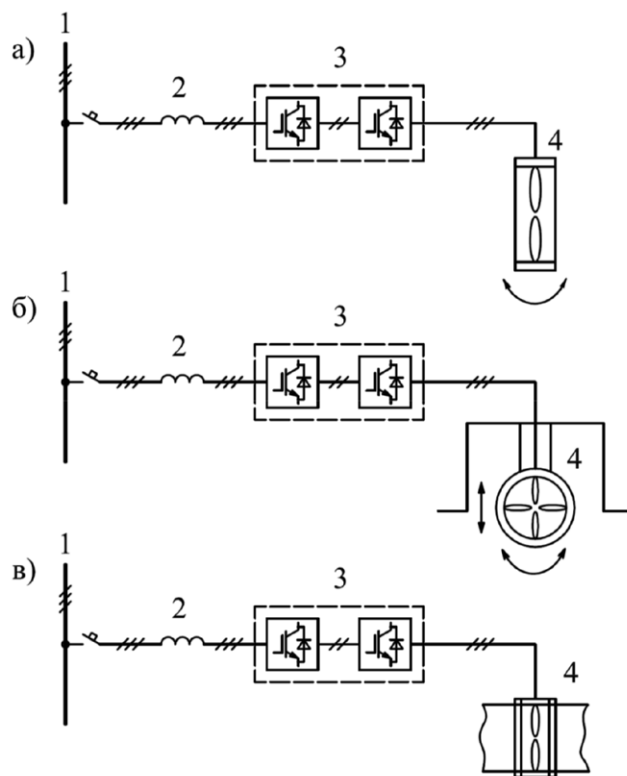


Рис. 5. СЭД и ПУ на базе ДДС КК:

СЭД на базе ДДС КК (а); СЭД с выдвижной ВРК на базе ДДС КК (б);

туннельное ПУ на базе ДДС КК (в);

1 — РЩ; 2 — реактор; 3 — ППЧ; 4 — кольцевой ГЭД

Благодаря значительному снижению массогабаритных показателей ДДС КК [10] целесообразно использовать в составе выдвижных ВРК вспомогательных СЭД и ПУ туннельного типа. СЭД с ДДС КК имеют более высокие технико-экономические показатели по сравнению с традиционными установками и могут применяться на современных судах различного назначения.

Список литературы

1. Григорьев А. В. Перспективная судовая единая электроэнергетическая установка / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер // Эксплуатация морского транспорта. — 2008. — № 3 (53). — С. 68–70.
2. Григорьев А. Судовой полупроводниковый преобразователь нового поколения / А. Григорьев, А. Колпаков, Ю. Кулагин [и др.] // Силовая электроника. — 2010. — № 4. — С. 47–50.
3. Григорьев А. В. Схемные решения перспективных низковольтных судовых систем электродвижения / А. В. Григорьев, В. В. Романовский, Р. Р. Зайнуллин // Эксплуатация морского транспорта. — 2010. — № 4 (62). — С. 76–78.
4. Григорьев А. В. Современные и перспективные судовые подруливающие устройства / А. В. Григорьев // Судостроение. — 2012. — № 1. — С. 42–45.
5. Григорьев А. В. Сравнительный анализ современных и перспективных судовых подруливающих устройств / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 4 (66). — С. 57–61.
6. Григорьев А. В. Частотно-регулируемый электропривод судового подруливающего устройства на базе обратимого преобразователя / А. В. Григорьев, Ю. А. Кулагин, Р. В. Митрофанов // Эксплуатация морского транспорта. — 2012. — № 1 (67). — С. 50–54.
7. Григорьев А. В. Судовая система электродвижения нового поколения / А. В. Григорьев // Морской флот. — 2012. — № 2. — С. 38–40.
8. Григорьев А. В. Судовые подруливающие устройства нового поколения / А. В. Григорьев // Судостроение. — 2012. — № 3. — С. 52–55.
9. Григорьев А. В. Судовые подруливающие устройства / А. В. Григорьев // Морской флот. — 2012. — № 5. — С. 32–34.
10. Григорьев А. В. Судовые системы электродвижения на базе кольцевых электродвигателей / А. В. Григорьев, Ю. А. Кулагин, С. М. Малышев // Морской вестник. Спецвыпуск. — 2013. — № 2 (11). — С. 60–61.

УДК 621.311, 537.67

Н. В. Родимов,
асп.;

А. С. Сероветников,
науч. сотр.;

В. П. Сивоконь,
д-р техн. наук, проф.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МОРСКОЙ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ПРИПОЛЯРНОМ РАЙОНЕ

INVESTIGATION OF RELIABILITY FACTOR OF POWER SUPPLY OF PORT'S INFRASTRUCTURE IN SUBPOLAR AREAS

В полярных и приполярных районах велика вероятность деструктивного проявления геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ), которые могут привести к коллапсу энергосистемы, как это было в Канаде в 1989 г. Следовательно, имеется необходимость мониторинга ГИТ и принятия мер по снижению его влияния на надёжность функционирования энергосистем. Для мониторинга ГИТ авторы используют вариации гармоник напряжения сети в сопоставлении с индексами магнитного поля Земли. На примере Петропавловск-Камчатского морского порта приводятся результаты наблюдений, в ходе которых зафиксировано увеличение уровня гармоник напряжения как следствие магнитной бури. Сопутствующим фактором проявления ГИТ является