



УДК 629.12

Попов Сергей Васильевич, доцент, к.т.н., доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Бурмакин Олег Анатольевич, доцент, к.т.н., доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СУДОВЫХ ПОДРУЛИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Ключевые слова: подруливающее устройство, упор винта, регулирование скорости вращения винта, пуск и реверс электродвигателя, качество электроэнергии генератора, сверхсинхронная скорость.

Аннотация. Проблемы, связанные с пуском и реверсом электродвигателей с короткозамкнутым ротором подруливающих устройств с винтом фиксированного шага давно известны. Приводится способ регулирования скорости вращения электродвигателя подруливающего устройства с ограничением пускового тока. Показаны расширенные возможности частотного электропривода и приведены результаты опытных судовых испытаний.

Многие суда 60х – 80х годов постройки оснащались подруливающими устройствами фиксированного шага. Приводом винтов являлись асинхронные машины, как с короткозамкнутым, так и фазным ротором. Большим разнообразием отличались и силовые схемы электроприводов [1]. Опыт эксплуатации подруливающих устройств с винтом фиксированного шага с приводом от асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором показывает, что пуск таких устройств и особенно реверс, сопровождается значительными бросками тока, который оказывает влияние на судовую электростанцию. Учитывая тот факт, что за многолетнюю эксплуатацию дизель-генераторные установки имеют значительный износ, влияние работы подруливающих устройств также возросло. Для пуска подруливающего устройства, которое имеет соизмеримую мощность с генератором, приходилось повышать запас мощности электростанции путем введения на параллельную работу до трех генераторов. По причине износа механических регуляторов дизельных двигателей, а также изменения параметров систем возбуждения генераторов, длительная параллельная работа генераторов не представляется возможным. Исходя из этого, значительная часть судовых электростанций была реконструирована для обеспечения раздельной работы одного из дизель-генераторов на подруливающее устройство. Установка систем регулирования напряжения возбуждения генератора для плавного разгона подруливающего устройства сильно затягивает его разгон во времени, особенно при реверсе. Наиболее частым способом пуска подруливающих устройств являлось переключение обмоток статора со схемы «звезда» в схему «треугольник».

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Секция VI Электрооборудование объектов водного транспорта

Исходя из анализа пуска, разгона и реверса электродвигателей, указанных подруливающих устройств, можно сформировать следующие недостатки:

1. Значительные пусковые токи, оказывающие отрицательное влияние на работу генератора и дизеля;
2. Тяжелые режимы работы двигателя ПУ и ДГ при выполнении реверса;
3. Нет возможности регулирования скорости вращения гребного винта для изменения упора (за исключением ЭП с АД с ФР);
4. Повышенный расход топлива при активной работе ПУ;
5. Снижение ресурса ЭД ПУ и дизеля при разгоне и реверсе ЭД.

Эффективным средством регулирования скорости является частотный электропривод со звеном постоянного тока. Применение современного средства регулирования скорости вращения асинхронного двигателя за счет изменения частоты питающего напряжения позволяет плавно повышать и ограничивать пусковой ток на заданной величине. Использование закона частотного управления $U/f=const$, позволяет выполнять плавное регулирование скорости вращения подруливающего устройства от минимальных до номинальных и сверхсинхронных оборотов [2,3].

На рис. 1 показана структурная схема электростанции судна 588 проекта, которая включает в себя четыре дизеля (Д1-Д4) вращающих синхронные генераторы (СГ1-СГ4), главный распределительный щит (ГРЩ) и автоматические выключатели (QF1-QF4). Для пуска и работы подруливающего устройства выделяется один дизель-генераторный агрегат, работающий отдельно от шин ГРЩ. Выбор генератора для питания ПУ выполняется ключами К1 и К2, которые обеспечивают электропитание силового щита (СЩ). В этом щите расположены силовые элементы цепи питания ПУ: контактор (КМ) и автоматический выключатель (QF). Частотный преобразователь (ПЧ) фирмы Schneider Electric [4] устанавливается за ГРЩ и подключается к существующему экранированному кабелю питания электродвигателя (М). Обмотки электродвигателя ПУ собираются по схеме «треугольник» в щите, расположенном в носовом баке судна. Управление скоростью вращения винта ПУ выполняется с центрального пульта (ПУ), установленного

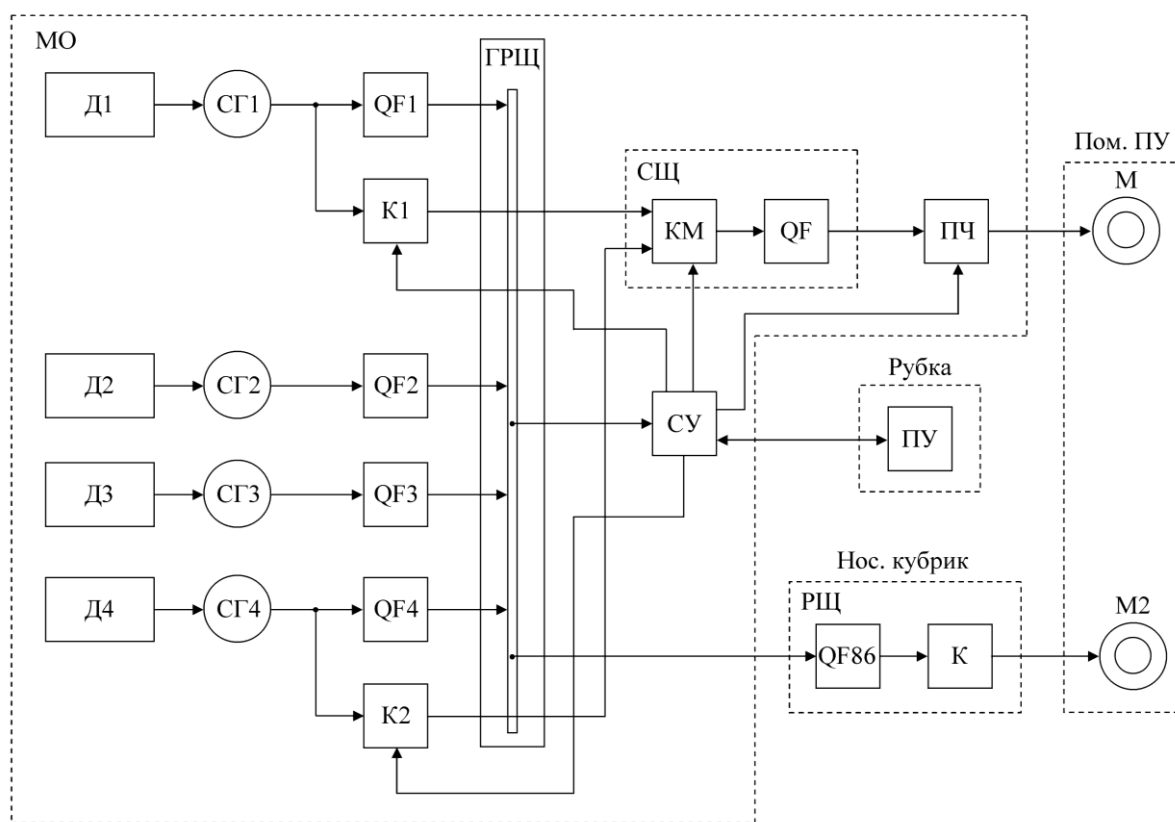


Рис. 1. Структурная схема судовой электростанции

в ходовой рубке, через систему управления (СУ). Для нормальной работы ПУ необходимо запускать электродвигатель масляного насоса М2.

Следует отметить, что решение выбора генератора для питания ПУ, работающего отдельно от энергетической системы судна, связано с исключением влияния на судовые потребители со стороны качества электроэнергии, поскольку мощность электродвигателя ПУ (75 кВт) соизмерима с мощностью генератора (100 кВт). К тому же, при работе ПУ от ПЧ возможны искажения формы напряжения, которая также могла бы привести к сбоям в работе электропотребителей.

Для удобства работы судоводителей частотный преобразователь был запрограммирован на четыре скорости с плавным переходом от одной к другой. Также выполняется автоматическое переключение порядка чередования фаз при выполнении реверса электродвигателя для перекладки упора винта ПУ с борта на борт. Управление может осуществляться как с центрального пульта, так и с выносных пультов, установленных на правом и левом мостиках.

При испытаниях работы ПУ были получены экспериментальные данные, по которым были построены характеристики, показанные на рис. 2.

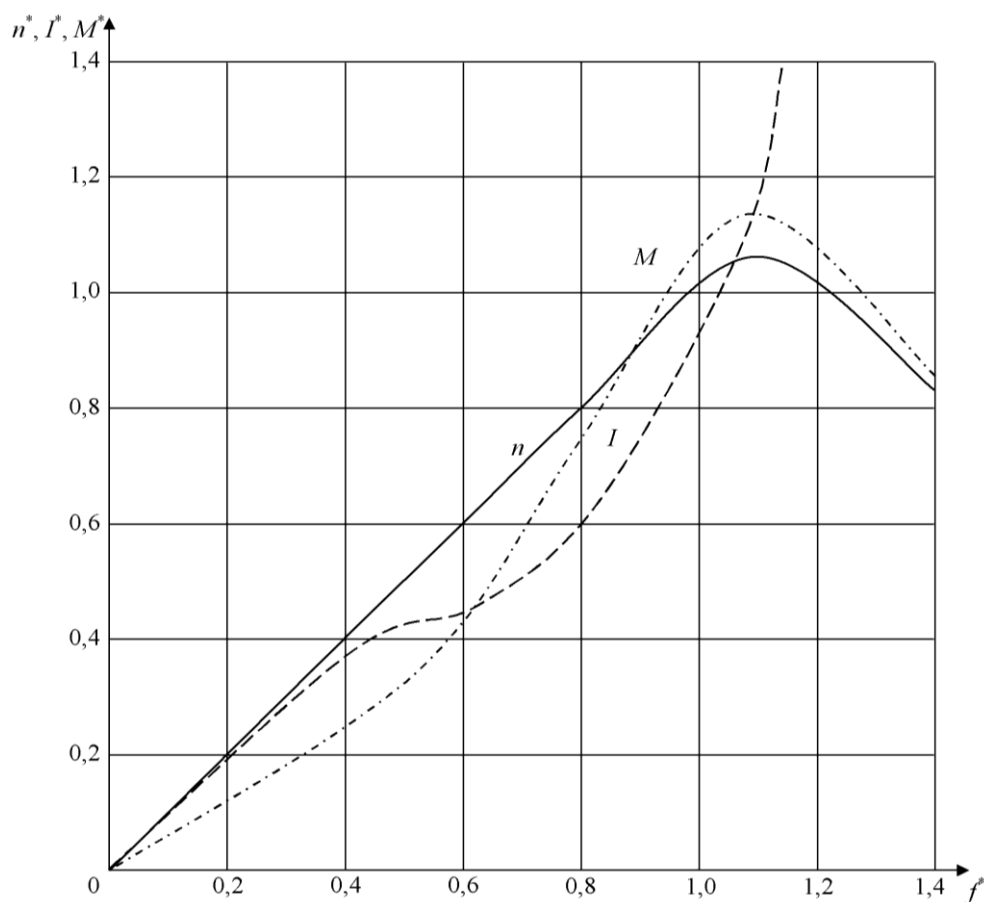


Рис. 2. Экспериментальные характеристики

Все параметры, приведенные на рис. 2, указаны в относительных единицах: f – частота напряжения на выходе ПЧ, n – скорость вращения электродвигателя, M – момент на валу электродвигателя, I – ток обмотки статора. Запуск ПУ выполняется с плавным повышением частоты и, соответственно, тока и скорости вращения двигателя по закону регулирования $U/f = const$. При увеличении частоты выше синхронной, закон регулирования выходных параметров ПЧ изменяется на регулирование частоты при постоянстве напряжения. При значении частоты около 59 Гц момент электродвигателя начинает падать и, как результат, наблюдается снижение скорости, при этом ток статора продолжает увеличиваться.

На рис. 3 показаны построенные по опытным данным искусственные механические характеристики электропривода с частотным регулированием и механическая характеристика гребного винта ПУ [5]. Механические характеристики построены таким образом, что их точки пересечения с характеристикой винта ПУ происходят в значениях скоростей, полученных экспериментально. Из характеристик следует, что крайняя точка пересечения характеристик двигателя и винта возможна при частоте напряжения на статоре около 59 Гц. Отсюда следует, что при этом значении частоты и момента будет получена максимальная скорость винта ПУ. В случае дальнейшего повышения значения частоты напряжения ток будет продолжать увеличиваться, а момент и скорость снижаться вплоть до остановки электродвигателя. При этом двигатель будет находиться в режиме стоянки под током, а значение тока будет равно пусковому.

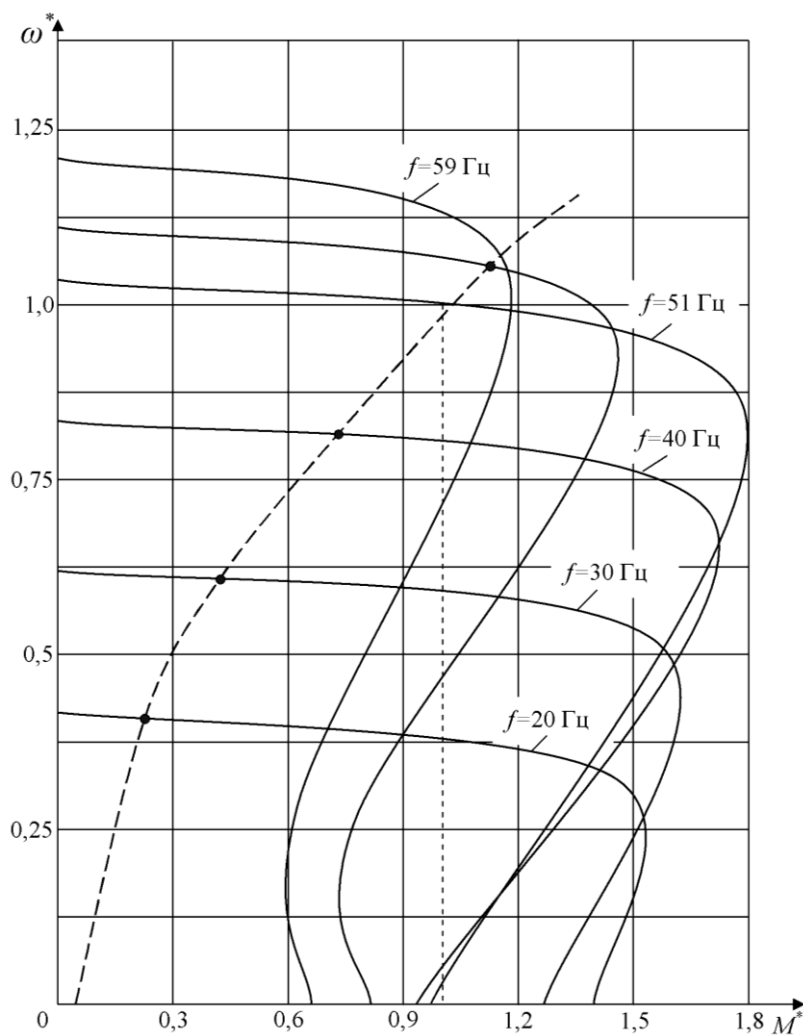


Рис. 3. Механические характеристики

Эксперимент показал, что ПЧ позволяет выполнять плавное регулирование частоты вращения электродвигателя ПУ как в первой зоне регулирования, так и во второй, хотя и в ограниченном диапазоне. Понятно, что работа ЭД ПУ происходит в режиме перегрузки, но для рассмотренного типа ПУ с погружным электродвигателем, когда обмотки статора находятся в воде, такой режим работы возможен. В связи с периодичностью использования ПУ и эффективным охлаждением обмоток режим перегрузки не приводит к перегреву электродвигателя.

Отсюда следует, что для рассмотренного типа ПУ возможно повышение эффективности его работы до 10% по скорости, которая существенным образом влияет на упор винта, а, следовательно, и на маневренность судна. Значение максимальной скорости

вращения винта напрямую связано с его механической характеристикой, а определение диапазона сверхсинхронных скоростей носит экспериментальный характер.

Список литературы:

- [1] Осокин Б.В., Хайдуков О.П. Электрооборудование судов. М.: Транспорт, 2-е изд., перераб. и дополн. 1982. – 353 с.
- [2] Damir Radan. POWER ELECTRONIC CONVERTERS FOR SHIP PROPULSION ELECTRIC MOTORS. Режим доступа: <https://studylib.net/doc/18070218/power-electronic-converters-for-ship-propulsion>.
- [3] Electrical Machines for Shipbuilding Industry. Режим доступа: https://www.vem-group.com/fileadmin/content/pdf/Produkte_Komponente/Mittel_und_Hochspannung/Schiffbau/schiffbau_0908_e.pdf.
- [4] Schneider Electric. Режим доступа: <https://www.se.com/ru/ru/all-products/>.
- [5] Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: 3-е перераб. изд. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 216 с.

THE RATIONALE OF INCREASING THE EFFICIENCY OF MARINE THRUSTERS

Sergey.V. Popov, Oleg.A. Burmakin

Keywords: thruster, the emphasis of the screw, the adjustment screw rotation speed, start and reverse the motor, the power quality of the generator, super synchronous speed.

Problems associated with the start and reverse of electric motors with squirrel cage rotor thrusters with a fixed pitch screw have long been known. A method for regulating the speed of rotation of the electric motor of the thruster with a limit of the starting current is given. The expanded possibilities of the frequency electric drive are shown and the results of experimental ship tests are given.