

Оценка эффективности электромеханического преобразования в синхронных реактивных машинах

ГОРОЖАНКИН А.Н., КУШНАРЁВ В.А., ГРЫЗЛОВ А.А.

Выполнено сопоставление различных синхронных реактивных машин по эффективности электромеханического преобразования. За критерии эффективности приняты удельный электромагнитный момент, потребляемые активная и полная мощности, коэффициент мощности. Предложена обобщенная математическая модель, в основу которой положен принцип электромеханического преобразования, как изменение магнитной энергии всех обмоток в функции угла поворота ротора. Допущения модели – электрическая машина не насыщена, магнитная проводимость стали равна бесконечности, отсутствуют потоки рассеяния. Такая модель позволила получить показатели эффективности электрических машин с установленной погрешностью при любых управляющих воздействиях и для различных конфигураций магнитных систем активной части до номинальных значений скоростей и моментов. Выполнен расчет показателей эффективности синхронной реактивной машины с зубчатым ротором в предположении, что ток статорной обмотки распределен вдоль воздушного зазора по гармоническому закону, зубчатость статора не учитывается, а средняя проводимость ротора принята единичной. Показано что безредукторный электропривод целесообразно выполнять на базе синхронной реактивной машины с двойной зубчатостью, что обусловлено высоким удельным моментом, однако диапазон регулирования такого электропривода по скорости во второй зоне ограничен из-за малого коэффициента мощности.

Ключевые слова: синхронные реактивные машины, показатели эффективности, математическое моделирование.

The comparison of various synchronous reactive machines according to the efficiency of electromechanical conversion is performed. The efficiency criteria are the specific electromagnetic moment, the active and total power consumed, and the power factor. A generalized mathematical model is proposed, which is based on the principle of electromechanical transformation, as a change in the magnetic energy of all windings as a function of the rotation angle of the rotor. Model assumptions – the electric machine is not saturated, the magnetic conductivity of the steel is equal to infinity, there are no scattering fluxes. This model made it possible to obtain performance indicators of electric machines with an established error under any control actions and for various configurations of magnetic systems

of the active part up to the nominal values of speeds and torques. The calculation of the efficiency indicators of a synchronous reactive machine with a toothed rotor is carried out under the assumption that the current of the stator winding is distributed along the air gap according to the harmonic law, the toothiness of the stator is not taken into account, and the average conductivity of the rotor is assumed to be a single one. It is shown that it is advisable to perform a gearless electric drive on the basis of a synchronous jet machine with a double gear, which is due to the high specific moment, but the range of regulation of such an electric drive in terms of speed in the second zone is limited due to the small power factor.

Key words: synchronous jet machines, performance indicators, mathematical modeling.

Электротехника, 2021, №5, стр. 7-13

Структурные схемы дифференциальных электроприводов с улучшенными массогабаритными показателями

УСЫНИН Ю.С., САВОСТЕЕНКО Н.В., ГРИГОРЬЕВ М.А.

Приведены примеры реализации однодвигательных и двухдвигательных дифференциальных электроприводов. Обоснован выбор дифференциального электропривода для внедрения в современных электротехнических комплексах и системах и выбор планетарного редуктора с изменяемой кинематической схемой в качестве дифференциального звена. Приведены функциональные и кинематические схемы дифференциальных электроприводов с подробным описанием принципа работы и системы управления. Рассмотрены варианты стартер-генератора на базе двухдвигательного и однодвигательного дифференциальных электроприводов и кинематические схемы включения дифференциальных электроприводов, обеспечивающие основные режимы работы стартер-генератора. Предложено математическое описание электропривода с дифференциальным планетарным редуктором. Дано математическое описание основных звеньев дифференциального электропривода (уравнение скоростей, уравнение моментов, уравнение электрического двигателя, уравнение связей). Показано, что в рамках многосвязных систем управления на базе дифференциальных электроприводов целесообразно выполнять генератор и стартер промышленного транспортного средства в одном электромеханическом преобразователе, что позволяет снизить уровень форсировки параметров электрических машин, источников питания или механических ветвей комплекса.

Ключевые слова: дифференциальный электропривод, дифференциальный планетарный

редуктор, математические модели, структурные схемы, стартер-генератор, буровая установка.

The examples of implementation of single- and double-engine differential electric drives are given. The choice of a differential electric drive for inoculation in modern electrical complexes and systems has been substantiated. The choice of a planetary gear with a variable kinematic diagram as a differential section has been justified. The article contains functional and kinematic diagrams of the differential electric drives implementation, with the detailed description of their operating principle and control system. Variants of implementation of a starter-generator based on single- and double-engine differential electric drives are given. Kinematic diagrams of switching on the given variants of differential electric drivers, providing the basic modes of operation of the starter-generator are considered. The mathematical description of the differential planetary gear and of the main links of the differential electric drive are given (the equation of speeds, the equation of moments, the equation of the electric motor, constraint equation). Shown that within multiply connected control systems based on differential electric drives, it is advisable to implement the generator and starter of an industrial vehicle in one of the electromechanical converters, therefore there is no need to force the parameters of electrical machines, power supplies or mechanical branches of the complex.

Key words: differential electric drive, differential planetary gear, the mathematical modeling, functional diagram, a starter-generator, the drilling rig.

Электротехника, 2021, №5, стр. 13-19

Влияние параметров наблюдателя потока статора асинхронного двигателя на точность поддержания электромагнитного момента

ХРЮКИН Д.Ю., КОРЖАВИН М.Е., ГРИГОРЬЕВ М.А.

Рассмотрено влияние коэффициента усиления в контуре оценки потока наблюдателя, выполненного по Г-образной схеме замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Модель наблюдателя описана уравнениями и структурной схемой. Вычисление крутящего момента наблюдателем основано на определении потока статора в неподвижной системе координат. Для определения потока статора измерялись действующее напряжение и ток статора. Поток и ток ротора определялись косвенно по приведенным уравнениям. Рассмотрено влияние коэффициента усиления контура оценки

потока статора при разных частотах и крутящих моментах, в том числе в области низких частот и двукратном крутящем моменте, где наблюдаются основные проблемы бездатчиковых систем управления. Исследования выполнены в среде MATLAB Simulink на базовой модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Анализ технологического процесса показал, что современные системы электроприводов переменного тока требуют построения структур, обеспечивающих высокие показатели точности регулирования частоты вращения без установки датчиков положения ротора. Показано, что эта проблема может быть решена применением наблюдателей компенсационного типа, в которых коррекция ошибочного определения параметров электромеханического преобразователя может быть решена за счет математических операций сопоставления расчетных (оценочных) и фактических значений переменной тока. Установлено, что с увеличением масштабирующего коэффициента компенсации точность работы наблюдателя увеличивается, однако верхняя граница этого коэффициента ограничена уровнем помех измеряемой переменной.

Ключевые слова: бездатчиковое управление, асинхронный электропривод, наблюдатель потока статора, управление крутящим моментом.

The influence of the gain factor in the observer flow estimation circuit made according to the L-shaped substitution scheme of an asynchronous motor with a short-circuited rotor is considered. The observer model is described by equations and a structural diagram. The observer's calculation of the torque is based on the determination of the stator flow in a fixed coordinate system. To determine the stator flow, the effective voltage and current of the stator were measured. The flow and current of the rotor were determined indirectly by the above equations. The influence of the gain of the stator flow estimation circuit at different frequencies and torques, including in the low-frequency region and double-torque, where the main problems of sensorless control systems are observed, is considered. The research was carried out in the MATLAB Simulink environment on a basic model of an asynchronous motor with a closed-loop rotor. The analysis of the technological process showed that modern systems of AC electric drives require the construction of structures that provide high accuracy indicators without the installation of rotor position sensors. It is shown that this problem can be solved by using compensation-type observers, in which the correction of the erroneous determination of the parameters of an electromechanical converter can be solved by mathematical operations of comparing the calculated (estimated) and actual values of the current variable. It is found that with an increase in the scale compensation coefficient, the accuracy of the observer's work

increases, but the upper limit of this coefficient is limited by the level of interference of the measured variable.

Key words: sensorless control, asynchronous electric drive, stator flow observer, torque control.

Электротехника, 2021, №5, стр. 19-23

Инновационные решения в области сетевых накопителей энергии

ЧУПИН С.А., ОСТРОУХОВ В.В., ГРИГОРЬЕВ М.А., КУШНАРЕВ В.А.

Показано, что для расчета установленной мощности сетевого накопителя для объектов буровых установок требуется построение графика нагрузки – зависимости напряжения питающей сети в функции времени. Этот график предложено рассчитывать на основании статистических данных возможных и допустимых провалов напряжения по времени и глубине. Предлагаемая структура сетевого накопителя может работать как в составе дизель-генераторных, так и газопоршневых установок. Структура сетевого накопителя электрической энергии представлена на примере, который содержал следующие укрупненные узлы: шкафы с коммутационной аппаратурой, шкафы сетевых фильтров, шкаф полупроводниковых активных выпрямителей, накопители электрической энергии на базе суперконденсаторов и литиевых аккумуляторных батарей, шкаф микропроцессорного управления. Предложена структура сетевых накопителей энергии, содержащая активный выпрямитель, в которой появляется возможность регулировать коэффициент мощности системы путем воздействия задающих сигналов на активную и реактивную составляющие токов. Показано, что предложенный накопитель позволяет поддерживать провал питающего напряжения в течение 10 с при условии выбора установленной мощности накопителя, равной половине суммарной мощности установки. Разработанная структура может быть включена параллельно с возобновляемыми источниками энергии, а также может применяться в качестве быстрых зарядных станций для электромобилей.

Ключевые слова: буровые установки, сетевые накопители электрической энергии, активные выпрямители.

It is shown that to calculate the installed capacity of a network storage device for drilling rig objects, it is necessary to build a load graph-the dependence of the supply network voltage as a function of time. This graph can be calculated on the basis of statistical data of possible and

permissible voltage dips in time and depth. The proposed structure of the network drive can work both as a part of diesel-generator and gas-piston installations. The structure of the network storage of electric energy is presented on the example, which contained the following enlarged nodes: cabinets with switching equipment, cabinets of network filters, a cabinet of semiconductor active rectifiers, electric energy storage devices based on supercapacitors and lithium batteries, a microprocessor control cabinet. The structure of network energy storage devices containing an active rectifier is proposed, in which it becomes possible to adjust the power factor of the system by influencing the control signals on the active and reactive components of the currents. It is shown that the proposed drive allows you to maintain the supply voltage failure for 10 seconds, provided that the installed power of the drive is selected, equal to half of the total power of the installation. The developed structure can be turned on in parallel with renewable energy sources, and can also be used as fast charging stations for electric vehicles.

Key words: drilling rigs, network storage of electric energy, active rectifiers.

Электротехника, 2021, №5, стр. 24-28

Повышение надежности синхронизации активных выпрямителей с питающей сетью
КУРНАЕВ А.В., ГАВРИТУХИН Г.А., ГРИГОРЬЕВ М.А.

Рассмотрен принцип работы узла синхронизации, основанный на принципе фазовой автоподстройки частоты. Классическая методика измерения напряжения питания, реализованная на основе фазовой автоподстройки частоты, является более актуальной по сравнению с методом симметричных составляющих – более сложным в проектировании, эксплуатации и наладке. Метод фазовой автоподстройки частоты успешно применяется в узлах синхронизации для вентильных преобразователей частоты при условии, что амплитуда обратной последовательности фаз составляет более 20 %. Получена зависимость времени переходного процесса измеряемой переменной напряжения в устройстве синхронизации от уровня несимметрии питающего напряжения, которое оценивалось по амплитудному значению составляющей напряжения обратной последовательности фаз. Расширение области применения системы с фазовой автоподстройкой частоты возможно за счет применения избирательного фильтра Баттерворта и корректного выбора его добротности.

Ключевые слова: активные выпрямители, питающая сеть, устройство синхронизации, фазовая автоподстройки частоты, надежность.

The principle of operation of the synchronization node, based on the principle of phase-locked frequency, is considered. The classical method of measuring the supply voltage, implemented on the basis of phase-locked frequency tuning, is more relevant than the method of symmetric components – more complex in design, operation and commissioning. The phase-locked frequency method is successfully used in synchronization nodes for gate frequency converters, provided that the amplitude of the reverse phase sequence is more than 20 %. The dependence of the time of the transient process of the measured voltage variable in the synchronization device on the level of the supply voltage asymmetry, which was estimated from the amplitude value of the voltage component of the reverse phase sequence, is obtained. Expanding the scope of the system with phase-locked frequency is possible due to the use of the selective Butterworth filter and the correct choice of its Q-factor.

Key words: active rectifiers, power supply network, synchronization device, phase-locked frequency, reliability.

Электротехника, 2021, №5, стр. 29-33

Оптимизация систем управления полупроводниковыми преобразователями частоты для объектов цветной металлургии

ФЕДЯКОВ В.В., КУШНАРЕВ В.А., ГРИГОРЬЕВ М.А.

Рассмотрена оптимизация систем управления полупроводниковыми преобразователями частоты для объектов цветной металлургии, а именно оптимизация подсистем измерения входных, внутренних и выходных напряжений в силовых преобразователях на системном уровне, позволяющая снизить стоимость преобразователя, упростить его систему управления и улучшить метрологические характеристики устройств измерения.

Оптимизация достигается путем интеграции делителей напряжения, входных фильтров, аналого-цифровых преобразователей и системы передачи измерительных данных по оптической линии связи в один функциональный узел, который устанавливается непосредственно вблизи точки измерения напряжений. Сопоставление данных моделирования одноканальной и многоканальной оптимизированных подсистем измерения напряжения с экспериментальными данными подтвердило результаты оптимизации. Показано, что стоимость системы управления снижается за счет уменьшения количества функциональных блоков, межблочных соединений и упрощения

монтажа. Упрощение системы управления достигается уменьшением количества аналоговых входов, и связанного с ним снижения требований к элементной базе системы управления. Установлено, что метрологические характеристики подсистемы измерения напряжений могут быть улучшены, если в основу выбора компонентной базы будет положен критерий принятой модели преобразования измеряемой переменной.

Ключевые слова: система управления преобразователями частоты, преобразователь напряжения, силовой преобразователь, оптическая передача измерительных данных.

This article presents the optimization of the elements of control systems for semiconductor frequency converters for nonferrous metallurgy objects, namely, optimization of subsystems for measuring input, internal and output voltages in power converters at the system level, which allows at the same time: to reduce the cost of the converter, to simplify the converter control system, and to improve metrological characteristics of the converter. Optimization is achieved by integrating voltage sensors (voltage divider), input filters, analog-to-digital converters and a measurement data transmission system via an optical communication line into one functional unit, which is installed directly near the voltage measurement point. The description of single-channel and multichannel classical subsystem of voltage measurement with indication of disadvantages is given. A description of a single-channel and multichannel optimized voltage measurement subsystem is given with simulation results and experimental data that successfully confirm the results of this optimization. The cost is reduced by reducing the number of functional blocks and inter-block connections, as well as by simplifying installation. The converter control system is simplified by reducing the number of analog inputs, which reduces the requirement for the element base of the control system. The metrological characteristics of the voltage measurement subsystem are improved by replacing analog communication lines with digital ones, as well as the choice of the component base for the required measurement accuracy is carried out in accordance with the conversion model, which eliminates the need for calibration.

Key words: control system of frequency converters, voltage converter, power converter, optical transmission of measurement data.

необитаемых подводных аппаратов на основе химических источников тока

НОВИКОВ А.В., ЖИЛЕНКОВ А.А., МАРКОВКИНА Н.Н., ИВАНОВ А.И.

Рассмотрена схема электроэнергетической установки необитаемого подводного аппарата на базе химического источника тока типа алюминий – вода с щелочным электролитом.

Приведены массообъемные и энергетические характеристики источников энергии на основе системы алюминий – вода с щелочным электролитом и характеристики основной и вспомогательной батарей источников энергии. Показано, что по запасаемой энергии установки с химическими источниками тока системы алюминий – кислород равноценны установкам с источниками тока алюминий – вода в щелочном электролите, имеют примерно в шесть раз большую энергию, чем аккумуляторная батарея СП-200 и в два раза большую, чем установки с источниками тока магний – морская вода. Приведённые характеристики энергетических установок показывают, что гидронные химические источники тока на базе алюминия перспективны, имеют конкурентные показатели, но требуют освоения производства соответствующих материалов для электродов.

Ключевые слова: необитаемый подводный аппарат, электроэнергетическая установка, химический источник тока, гидронные батареи.

The scheme of an electric power installation of an uninhabited underwater vehicle based on a chemical current source of the aluminum – water type with an alkaline electrolyte is considered. The mass – volume and energy characteristics of energy sources based on the aluminum-water system with an alkaline electrolyte and the characteristics of the main and auxiliary batteries of energy sources are given. It is shown that in terms of stored energy, installations with chemical current sources of the aluminum – oxygen system are equivalent to installations with aluminum – water current sources in an alkaline electrolyte, have about six times more energy than the SP-200 battery and twice as much as installations with magnesium – seawater current sources. The given characteristics of power plants show that hydronic chemical current sources based on aluminum are promising, have competitive indicators, but require the development of the production of appropriate materials for electrodes.

Key words: uninhabited underwater vehicle, electric power plant, chemical current source, hydronic batteries.

Перспективы совершенствования единых электроэнергетических систем с цифровым управлением на судах с электродвижением

СЕНЬКОВ А.П., НИКУЩЕНКО Д.В., КУЗНЕЦОВ В.И.

Судовые движительные установки на основе систем электродвижения (СЭД) характеризуются высокой надежностью и повышают безопасность плавания судов. Однако СЭД, мощность которой близка к мощности судовой электростанции, потребляет токи, содержащие высшие гармоники и создает искажения напряжения судовой сети. По требованиям International Association of Classification Societies суммарный коэффициент гармонических составляющих кривой напряжения судовой сети не должен превышать 8 %. В широко применяемой структуре единой электроэнергетической системы судна, разработанной фирмой «Siemens AG», требуемое качество напряжения достигается путем включения в состав СЭД трансформаторов большой мощности. В статье показано, как можно обеспечить такое же качество напряжения судовой сети за счет применения в судовой электростанции многофазных генераторов. В этом случае трансформаторы из состава СЭД можно исключить, что позволяет снизить массу, габариты и стоимость электрооборудования. Многофазные генераторы также дают возможность применить в составе преобразователей частоты трехуровневые инверторы и уменьшить содержание высших гармоник в фазных токах гребного электродвигателя, что приведет к снижению пульсаций момента и повышению коэффициента полезного действия двигателя.

Ключевые слова: судовая единая электроэнергетическая система, система электродвижения судов, преобразователь частоты, качество напряжения, многофазные генераторы.

Ship propulsion systems based on electric propulsion systems (EPS) are characterized by high reliability and increase the safety of navigation of ships. However, the EPS, whose power is close to the power of the ship's power plant, consumes currents containing higher harmonics and creates distortions of the ship's network voltage. According to the requirements of the International Association of Classification Societies, the total coefficient of harmonic components of the voltage curve of the ship's network should not exceed 8 %. In the widely used structure of the ship's unified electric power system, developed by Siemens AG, the required voltage quality is achieved by including high-power transformers in the EPS. The article shows how it is possible to ensure the same quality of the ship's network voltage by using multiphase generators in a ship's power plant. In this case, transformers can be excluded from the EPS,

which reduces the weight, size and cost of electrical equipment. Multiphase generators also make it possible to use three-level inverters as part of frequency converters and reduce the content of higher harmonics in the phase currents of the propeller motor, which will lead to a decrease in torque ripples and an increase in the efficiency of the engine.

Key words: ship unified electric power system, ship electric propulsion system, frequency converter, voltage quality, multiphase generators.

Электротехника, 2021, №5, стр. 47-52

Формирование воздушного электростатического разряда и его влияние на цифровое промышленное оборудование

ВОРШЕВСКИЙ А.А., ГРИШАКОВ Е.С., ЖИЛЕНКОВ А.А.

Электростатический разряд (ЭСР) может привести к сбою или даже к выходу из строя цифрового промышленного оборудования. Для оценки влияния ЭСР важно знать статистические характеристики параметров тока и напряжения на корпусе испытуемого оборудования. Предложена установка, позволяющая получить такие параметры.

Экспериментальные данные параметров тока и напряжения ЭСР измерены при различных значениях емкости корпуса оборудования, различных сопротивлениях заземления при напряжениях от 2 до 25 кВ. Полученные данные о времени нарастания напряжения, максимальной и средней скорости изменения напряжения, скорости изменения тока при воздушном ЭСР могут быть использованы для прогнозирования воздействия ЭСР на оборудование.

Ключевые слова: электростатический разряд, воздушный разряд, цифровое оборудование, электромагнитная совместимость, импульсные помехи.

Electrostatic discharge (ESD) can cause digital industrial equipment to failure or even damage. To assess the impact of ESD, it is important to know the statistical characteristics of the current and voltage parameters on the housing of the equipment under test. An installation is proposed that allows you to get such parameters. Experimental data of the current and voltage parameters of the ESD were measured at different values of the capacitance of the equipment housing, different ground resistances at voltages from 2 to 25 kV. The obtained data on the time of voltage rise, the maximum and average rate of voltage change, and the rate of current change during air ESD can be used to predict the effect of ESD on the equipment.

Key words: electrostatic discharge, air discharge, digital equipment, electromagnetic compatibility, pulse interference.

Электротехника, 2021, №5, стр. 53-57

Обеспечение высокой маневренности и безопасности движения судов ледового класса с применением гребных электрических установок

КУЗНЕЦОВ В.И., НИКУЩЕНКО Д.В., СЕНЬКОВ А.П., ФРУМЕН А.И.

Гребные электрические установки (ГЭУ) «Азипод» обладают высокой надежностью, позволяют изменять направление тяги гребного винта, допускают частые реверсы. Благодаря этим качествам ГЭУ «Азипод» применяются на судах ледовых классов и ледоколах. Суда, оснащенные ГЭУ «Азипод», позволяют продлить навигацию по Северному морскому пути, что может дать большой экономический эффект. Однако при плавании судов в ледовых условиях опора вращения движительного модуля ГЭУ, с помощью которой модуль присоединен к корпусу судна, подвергается воздействию больших нагрузок, что может привести к повреждению ГЭУ. На опору вращения движительного модуля большие механические нагрузки действуют даже при плавании в открытой воде, поскольку через эту опору к корпусу судна приложено тяговое усилие гребного винта. При плавании судов в ледовых условиях на опору вращения будут дополнительно воздействовать удары льдин о гребной винт и движительный модуль. Причиной высоких нагрузок, действующих на опору вращения, является консольный способ присоединения движительного модуля к корпусу судна – на одной опоре вращения. Значительно снизить нагрузки на опору можно, если закрепить нижнюю часть движительного модуля в дополнительной опоре вращения, способной работать в морской воде и имеющей большой ресурс. Такая опора может быть изготовлена с использованием углепластиков или металлофторопластовых вкладышей.

Ключевые слова: судно ледового класса, система электродвижения судов, гребная электрическая установка «Азипод».

The «Azipod» rowing electric installations have high reliability, allow changing the direction of the propeller thrust, and allow frequent reversals. Thanks to these qualities, the Azipod GEU is used on ice-class vessels and icebreakers. Vessels equipped with the «Azipod» GEU can extend navigation along the Northern Sea Route, which can give a great economic effect. However,

when sailing ships in ice conditions, the rotation support of the propulsion module of the GEU, with which the module is attached to the hull of the vessel, is exposed to heavy loads, which can lead to damage to the GEU. Large mechanical loads act on the rotation support of the propulsion module even when swimming in open water, since the propeller's traction force is applied to the vessel's hull through this support. When sailing ships in ice conditions, the rotation support will be additionally affected by the impact of ice floes on the propeller and propulsion module. The reason for the high loads acting on the rotation support is the cantilever method of attaching the propulsion module to the hull of the vessel-on one rotation support. It is possible to significantly reduce the load on the support if you fix the lower part of the propulsion module in an additional rotation support that can work in seawater and has a large resource. Such a support can be made using carbon fiber or metal-fluoroplast inserts.

Key words: ice-class vessel, electric propulsion system of vessels, rowing electric installation «Azipod».

Электротехника, 2021, №5, стр. 57-63

**Интеллектуальное управление качеством энергии в автономных
электроэнергетических системах транспортных объектов**

ЖИЛЕНКОВ А.А., АБРАМКИНА К.В., ЕПИФАНЦЕВ И.Р., ЧЕРНЫЙ С.Г.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований качества электроэнергии на судне с электродвижением, где управление гребными двигателями (ГЭД) постоянного тока осуществляется с помощью тиристорных преобразователей большой мощности. Показано, что эффективное управление качеством электроэнергии в такой нестационарной системе как судовая электроэнергетическая система, возможно с применением интеллектуальных систем поддержки принятия решений, осуществляющих поиск решений задачи многокритериальной оптимизации.

Ключевые слова: автономные энергосистемы, качество электроэнергии, искусственный интеллект, коэффициент мощности.

The article presents the results of experimental studies of the quality of electricity on a ship with electric propulsion, where the control of DC rowing motors is carried out using high-power thyristor converters. It is shown that effective management of the quality of electricity in such a non-stationary system as the ship's electric power system is possible with the use of intelligent

decision support systems that search for solutions to the problem of multi-criteria optimization.

Key words: autonomous power systems, power quality, artificial intelligence, power factor.

Электротехника, 2021, №5, стр. 64-65

Авторы номера