

Электротехника, 2017, №12, стр.2

Уважаемые читатели журнала «Электротехника»!

ТУРИЧИН Г.А.

Электротехника, 2017, №12, стр.3-7

**Методы повышения качества электроэнергии в единых судовых
электроэнергетических системах**

ЯСАКОВ Г.С., ДМИТРИЕВ Б.Ф., КАЛМЫКОВ А.Н., ЛЕБЕДЕВ В.М.

В настоящее время широкое распространение получили современные единые электроэнергетические системы с применением многоуровневых преобразователей, систем типа «Азипод», различных видов винторулевых колонок, новых типов электродвигателей. Такие электроэнергетические системы позволяют обеспечивать высокое качество потребляемой энергии, а также повысить надежность и маневренность судов. В статье рассматриваются требования к современным единым электроэнергетическим системам, способы управления параметрами электроэнергии.

Ключевые слова: единые судовые электроэнергетические системы, качество электроэнергии, преобразователи, гребной электродвигатель, широтно-импульсная модуляция.

The modern unified electric power systems are spreading worldwide, especially such systems using multilevel converters, “Azipod” type systems, various types of screw-rotor columns, and some new types of electric motors. Also unified electric power systems allow to provide the high quality of consumed energy, and to increase the reliability and maneuverability of the marine vehicles. The article examines the requirements for the modern unified electric power systems, and methods for managing electricity parameters.

Word key: marine unified power systems, quality of the electric power, converters, the rowing electric motor, pulse-width modulation.

Электротехника, 2017, №12, стр.8-13

Стирлинг-генераторы: проблемы и перспективы

СТОЛЯРОВ С.П., СТОЛЯРОВ А.С.

Современное состояние рынка стирлинг-генераторов свидетельствует, что в конкурентной борьбе побеждают высокотехнологичные двигатели, которые длительно доводились в процессе совместной работы или конкуренции сильных корпораций. Основные преимущества двигателей Стирлинга: возможность использовать различные источники теплоты и камеры сгорания, отвечающие экологическим требованиям; низкие уровни шума и вибрации; благоприятные характеристики, как для транспортных средств, так и для стационарных электрогенераторов; хорошая согласованность с линейной электрической машиной. Среди факторов, сдерживающих развитие стирлинг-генераторов, выделены: высокая стоимость и массогабаритные показатели, ограниченная агрегатная мощность, сложность удовлетворения требованиям к ресурсу. Особенность системы управления двигателем Стирлинга состоит в необходимости контролировать параметры в рабочем контуре, генераторе и камере сгорания. С учетом требований к обеспечению пусковых режимов система управления должна быть интеллектуальной. Управление мощностью свободнопоршневого двигателя Стирлинга обычно осуществляется изменением хода поршня, что реализуется электронным блоком управления линейным генератором. В настоящее время в связи с развитием альтернативной энергетики и распределенного электроснабжения растёт потенциальная ниша для применения Стирлинг-генераторов.

Ключевые слова: двигатель Стирлинга, свободнопоршневой двигатель, когенерационная установка, линейная электрическая машина, система управления.

An analysis of the current state of the market of Stirling generators is given in this article. It is shown that in the competitive struggle, high-tech engines win, which have long been brought about in the process of joint work or competition of strong corporations. There are the main advantages of Stirling engines: the ability to use various heat sources and combustion chambers that meet environmental requirements; low noise and vibration levels; favorable characteristics, both for vehicles and stationary electric generators; good consistency with a linear electric machine. There are disadvantages of Stirling engines: high cost, weight and dimensions, limited aggregate capacity, the problem of service life. The Stirling engine control system controls the working circuit, generator and combustion chamber. The control system must be intelligent to provide startup modes. The control of the power of a free-piston Stirling engine is usually made easier by controlling the stroke of the piston. At present, alternative energy and distributed electricity are being developed. For this reason, the potential for the use of Stirling generators is

growing.

Key words: Stirling engine, free piston engine, cogeneration unit, uneven torque, linear electric machine, control system.

Электротехника, 2017, №12, стр.13-18

О перспективных вариантах волновых электростанций

СЕНЬКОВ А.П., КАЛМЫКОВ А.Н., СЕНЬКОВ А.А., МАКИН П.В.

Современная электроэнергетика, основу которой составляют тепловые электростанции, создает тяжелые экологические проблемы планетарного масштаба. Ведущие промышленные страны активно развивают электроэнергетику на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – солнца, рек, океана, ветра и геотермальной энергии. Плотность энергии морских волн намного выше, чем плотность энергии солнечного излучения и ветра. Однако солнечные и ветроэлектростанции получили более широкое применение, чем волновые. Причина – отсутствие дешевого и эффективного способа преобразования энергии морских волн в электрическую энергию. Существующие волновые электростанции по массе и габаритам, а значит, и по стоимости электроэнергии, уступают другим видам электростанций, использующих ВИЭ. В статье рассмотрена схема, позволяющая существенно сократить массу и размеры волновой электростанции. Электростанция размещается в корпусе катамарана, установленного на якорю. С помощью тросов и вертикального маятника энергия волны преобразуется сначала в механическую энергию вращения вала, а затем – в электрическую энергию. Применение полиспада позволяет повысить частоту вращения генератора до сотен оборотов в минуту и снизить массу маятника. Все электрооборудование электростанции размещается во внутренних помещениях катамарана. Приведены результаты испытания модели волновой электростанции в экспериментальном бассейне.

Ключевые слова: волновая электростанция, катамаран, вертикальный маятник, генератор с постоянными магнитами на роторе.

Modern electric power industry, based on thermal power plants, creates severe environmental problems of a planetary scale. Leading industrial countries are actively developing electricity based on renewable energy sources (RES) – the sun, rivers, the ocean, wind and geothermal energy. The energy density of sea waves is much higher than the energy density of solar

radiation and wind. However, solar and wind power stations have received much wider application than wave ones. The reason is the absence of a cheap and effective way of converting the energy of sea waves into electrical energy. Existing wave power stations by mass and size, the cost of electricity is inferior to other types of power plants using RES. In the article the scheme is considered, which allows to significantly increase the parameters of the wave power station. The power station is located on a catamaran, anchored. All electrical equipment of the power plant is located inside the catamaran. With the help of cables and a vertical pendulum, the energy of the wave is converted first into mechanical energy of shaft rotation, and then the generator is converted into electrical energy. The use of a pulley allows increasing the rotor speed of the generator to hundreds of revolutions per minute and reducing the mass of the pendulum. All electrical equipment of the power plant is located in the interior of the catamaran. The results of model testing of a wave power plant in an experimental basin are included in this article.

Key words: wave power station, catamaran, vertical pendulum, generator with permanent magnets on the rotor.

Электротехника, 2017, №12, стр.18-24

Оценка качества напряжения питания в судовой электроэнергетической системе методом компьютерного моделирования

БАТРАК Д.В., КАЛИНИН И.М., КУЗНЕЦОВ В.И., СЕНЬКОВ А.П.

Судовая электроэнергетическая система (СЭЭС) обеспечивает надежное функционирование судовых систем, безопасность плавания, условия жизни и работы экипажа. На судах большого водоизмещения мощность СЭЭС может достигать 100 МВт. Она содержит тысячи взаимосвязанных компонентов и систем. На судах с системой электродвижения (СЭД) СЭЭС обеспечивает питание и систему электродвижения, потребляющую большую часть мощности судовой электростанции, и многочисленные общесудовые потребители. В составе СЭД используются преобразователи частоты со звеном постоянного тока, которые являются для судовой электростанции нелинейной нагрузкой большой мощности, создающей существенные искажения напряжения судовой сети. При проектировании судна уже на этапе выбора структуры и компонентов СЭЭС встает задача обеспечения электромагнитной совместимости СЭД и общесудовых потребителей. По требованию Российского морского регистра судоходства коэффициент несинусоидальности напряжения судовой электрической сети не должен превышать 10%.

Единственным эффективным инструментом для оценки качества напряжения судовой сети на начальных этапах проектирования является компьютерное моделирование. В статье приведены результаты оценки двух альтернативных вариантов СЭЭС с помощью пакета MATLAB Simulink. Показано, что без существенного ухудшения качества напряжения сети из состава СЭД можно исключить трансформаторы большой мощности и снизить стоимость, массу и габариты электрооборудования.

Ключевые слова: судовая электроэнергетическая система, система электродвижения, электромагнитная совместимость, качество напряжения питания, компьютерное моделирование.

The ship electric power system (SEPS) ensures the reliable functioning of ship systems, safety of navigation, living conditions and crew work. SEPS in large displacement vessels can have a capacity of more than 100 MW and includes thousands of interconnected components and systems. On ships with an propulsion system (PS), SEPS provides power to the ERMS, consuming most of the capacity of the ship power station, and numerous general ship users. As part of the ES, frequency converters with a DC link are used, which are for a ship power plant a nonlinear load of high power, creating significant distortions in the voltage of the ship's network. When designing a vessel, at the stage of selecting the structure and components of the SEPS, the task is to ensure the electromagnetic compatibility of the PS and general vessel users. At the request of the Russian Maritime Register of Shipping, the non-sinusoidal voltage of the ship's electrical network should not exceed 10%. The only effective tool for assessing the quality of the ship network voltage at the initial design stages is computer simulation. In the article results of an estimation of two alternative variants of SEPS by means of MATLAB Simulink package are resulted. It is shown that without significant deterioration of the network voltage quality from the PS, it is possible to exclude high power transformers and reduce the cost, weight and dimensions of electrical equipment.

Key words: ship electric power system, propulsion system, electromagnetic compatibility, voltage supply quality, computer simulation.

Электротехника, 2017, №12, стр.24-29

Методы и средства обеспечения электромагнитной совместимости в судовых системах электропитания

ДМИТРИЕВ Б.Ф., ВОРШЕВСКИЙ П.А., РЕЗНИЧЕНКО В.В.

Проблема электромагнитной совместимости при работе электронных судовых систем стоит достаточно остро в связи с наличием на судне большого количества мощных полупроводниковых преобразователей и другого электрооборудования, создающего высокий уровень помех. С другой стороны, средства связи, навигации и автоматизации для своей работы используют низкие уровни полезных сигналов. Полупроводниковые преобразователи генерируют импульсные помехи в сеть электропитания из-за процесса коммутации. Спектр создаваемых помех распространяется до радиочастотного диапазона. Требования по электромагнитной совместимости ограничивают уровни возможных кондуктивных и излучаемых радиопомех. Для соответствия требованиям разработчикам необходимо внедрять новые решения для подавления радиопомех. В статье предложен метод уменьшения радиопомех путем сдвига частоты коммутации преобразователя. Изменение частоты работы преобразователя на 30 % может обеспечить снижение уровня помех более чем на 20 дБ. Экспериментальные исследования показывают, что уровень шума снижается на 10 дБ для 20% частотных сдвигов.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, источник питания, помехоподавление.

The problem of electromagnetic compatibility on the ship is quite acute. On the ship a large number of power semiconductor converters and other electrical equipment that generates high noise level. Semiconductor converters generate pulse voltages in electrical mains due to switching process. The spectrum of pulse perturbations spreads up to radio frequencies. Electromagnetic compatibility norms have to reduce conducted and radiated noise. Emission requirements oblige designers to implement solutions for noise suppression. Emission requirements oblige constructors to implement solutions for noise suppression. Emission reduction by switching frequency shifts is proposed. Frequency shifts up to 30% can give more than 20 dB noise reduction in theory. Experiments show 10 dB noise reduction for 20% frequency shifts.

Key words: electromagnetic compatibility, power supply, noise suppression.

Электротехника, 2017, №12, стр.30-35

Особенности управления электропитанием морских транспортных средств с энергетической установкой на базе топливных элементов

ГАЛУШИН С.Я.

В настоящее время большое распространение получают морские транспортные средства, использующие экологически чистые энергоустановки на возобновляемом топливе. Одним из таких направлений воспроизводства электрической энергии являются водород-кислородные электрохимические генераторы (ЭХГ) с твердополимерным электролитом. Преимуществом такой энергоустановки являются отсутствие вредных выбросов, невысокая рабочая температура, большой диапазон мощности, выдаваемой ЭХГ в зависимости от нагрузки. В то же время наибольший коэффициент полезного действия системы достигается на максимальной мощности и оптимальной температуре (порядка 80°C). При этом необходимо отметить, что при «холодном» старте батарея не выдает полной мощности. Таким образом, для обеспечения необходимых маневренных характеристик морских транспортных средств целесообразно применять батарею топливных элементов в составе гибридной энергетической установки, в которую также входят литий-ионные аккумуляторы и другие устройства хранения электроэнергии. В этом случае актуальной становится задача управления электропитанием в гибридных энергетических установках в переходных и установившихся режимах маневрирования судна.

Ключевые слова: топливные элементы, аккумуляторная батарея, гибридная энергетическая установка, преобразователь, система управления, суперконденсатор

Nowadays the marine vehicles, using the environmentally friendly renewable energy power plants are worldwide increasingly spreading. The hydrogen-oxygen electrochemical generators (ECH) with a solid polymer electrolyte are one of such directions of the electric energy reproduction. The main advantage of this power plant is the absence of harmful emissions, a low operating temperature and a large range of power output by ECG, depending on the load. At the same time, the maximum efficiency of the system is achieved at the maximum power and the optimal temperature (of the order of 80°C). It should be also noted that the "cold" start does not give the battery full power. Thus, it is advisable to use a battery of fuel cells in a hybrid power plant, which also includes lithium-ion batteries and other power storage devices to ensure the necessary maneuverability of marine vehicles. In this case, the problem of the power management in the hybrid power plants in transient and steady modes of the ship maneuvering becomes topical.

Key words: fuel cells, battery, hybrid power plant, converter, control system, superconductor.

Электротехника, 2017, №12, стр.35-39

Влияние электростатического заряда на устойчивость электронного и электротехнического оборудования

ВОРШЕВСКИЙ А.А., ГРИШАКОВ Е.С.

При разряде статического электричества, обусловленного трением, напряжение может достигать 25 кВ, а ток разряда – десятков ампер с временем нарастания от долей наносекунд. Электростатический разряд может привести к сбоям электронного оборудования и даже к выходу его из строя. Нормативные документы требуют проверки функционирования электронного оборудования при воздействии электростатических разрядов. Испытания на устойчивость к таким разрядам могут быть проведены с помощью специально разработанных испытательных генераторов (имитаторов) электростатических разрядов. Во время испытаний имитируется воздействие разряда, параметры которого регламентированы базовыми стандартами на методы испытаний. На стадии проектирования электронного оборудования предлагается использовать модель имитатора электростатического разряда для оценки ожидаемых напряжений на корпусе оборудования и его элементах для прогнозирования результатов испытаний.

Ключевые слова: электростатический разряд, помехоустойчивость, электромагнитная совместимость, испытательный генератор, расчетная модель.

Electrostatic discharge is the discharge of static electrical charge, generated by friction, voltage level can be up to 25 kV, discharge current is up to 80 A with rise time less than 1 ns.

Electrostatic discharge leads to malfunction of electronic equipment or even to its damage. Standards require to check equipment function under electrostatic discharge. Immunity tests can be performed with electrostatic discharge simulators. Electrostatic discharge test parameters must be in accordance with basic immunity standards. Proposed model of electrostatic discharge simulator give possibility to estimate pulse voltage on the equipment case and its elements during equipment design before tests in laboratory.

Key words: electrostatic discharge, immunity, electromagnetic compatibility, test generator, estimated model.

Электротехника, 2017, №12, стр.40-44

Алгоритм определения технического состояния электрической машины

МАКСИМОВА М.А., ХРУЦКИЙ О.В.

Одним из основных факторов, определяющих эффективность эксплуатации современного судна является техническое состояние электрических машин, используемых в качестве привода различных механизмов судового оборудования. Оценка текущего технического состояния электрических машин является одной из важных задач в общей проблеме управления процессами в системе технического обслуживания и ремонта судового оборудования, решение которой связано с выявлением факта частичной неисправности оборудования и возможного последующего функционального отказа. В статье рассматривается один из вариантов алгоритмов обработки временных рядов контролируемых параметров электрических машин, позволяющий прогнозировать сроки их технического обслуживания по фактическому состоянию для предотвращения функционального отказа. Актуальность такого подхода обусловлена тем, что эффективным путем обеспечения надежности эксплуатации судового оборудования является переход на технологию его обслуживания по фактическому состоянию с учетом системного наблюдения и прогнозирования работоспособности, которые реализуются автоматизированными контрольно-измерительными бортовыми системами, в том числе системами диагностирования.

Ключевые слова: судовое энергетическое оборудование, электромашинны, техническое состояние, работоспособность, временной ряд, алгоритм, диагностирование, прогнозирование.

One of the main factors determining the efficiency of modern vessel operation is the technical condition of electrical machines using to drive the various mechanisms of marine equipment. The assessment of the current technical state of electric machines is an important task in the overall problem management processes in the technical maintenance and repair system of marine equipment. The solution of this problem entails the determination of the fact of partial equipment failure and possible subsequent functional failure. The article discusses the time-series data processing algorithm of the electrical machines controlled parameters. This algorithm enables to organize the maintenance run-time prediction procedure of electrical machines on the actual technical state and to prevent the occurrence of functional failure. The relevance of the algorithm considered in this paper due to the fact that the effective way to ensure the reliability of the ship equipment is the transition to the technology of maintenance of the actual condition. In this case, the system observation and performance prediction, implemented by automated on-Board systems, including diagnosis.

Key words: ship's power equipment, electric machines, technical state, functionality, time-series data, algorithm, diagnosis, prediction.

Электротехника, 2017, №12, стр.45-49

Применение вентильных электрических машин в судовых электротехнических системах

МИХАЙЛОВ В.М., СЕНЬКОВ А.П.

Суда являются автономными объектами, у которых мощность электростанции и объем помещений ограничены. Вентильные электрические машины, имеющие максимальный КПД и минимальные массу и габариты, могут найти на судах широкое применение, прежде всего в судовых системах большой мощности – генераторных агрегатах, гребных установках и подруливающих устройствах. Однако у вентильных электрических машин существует опасность возгорания при межвитковых замыканиях в обмотке статора. Если такое замыкание произойдет в рабочем режиме, то при вращении ротора по инерции или под действием набегающего на гребной винт потока воды в замкнутом контуре обмотки статора будет индуцироваться ЭДС, поскольку магнитное поле ротора сохраняется. Эта ЭДС создаст ток в замкнутом контуре и в зоне замыкания витков будет выделяться большое количество тепла, которое может привести к пожару на судне. В статье рассмотрен способ «гашения» магнитного поля ротора в аварийной ситуации. В соответствии с этим способом магнитная система ротора выполняется из двух частей, одна из которых неподвижно закреплена на роторе, а вторая установлена на поворотной втулке. В нормальном состоянии машины угловые положения одноименных полюсов, закрепленных на роторе и установленных на поворотной втулке, совпадают. В аварийном состоянии машины поворотная втулка разворачивается так, чтобы угловые положения разноименных полюсов ротора и втулки совпадали. В результате индукция магнитного поля в зазоре и ЭДС в обмотках статора в аварийном состоянии машины будут близки к нулю.

Ключевые слова: гребные электрические установки, генераторные агрегаты, вентильные электродвигатели, ротор с постоянными магнитами, междувитковое замыкание.

Vessels are autonomous objects, in which the capacity of the power plant and the volume of premises are limited. Permanent magnet machines are having the maximum efficiency and minimum weight and dimensions can be widely used on ships, primarily in ship systems with high power – generator sets, propulsion systems and thrusters. However, in permanent magnet

machines, there is a danger of fire of the machine during inter-turn closures in the stator winding. If the interturn closure occurs on the machine's run, when the machine rotates by inertia or under the action of water flowing on the propeller of the water in the closed loop of the stator winding, the EMF will be induced, since the magnetic field of the rotor remains. The EMF will create a current in a closed loop, and a large amount of heat will be released in the winding closure area, which can lead to a fire on the ship. The article considers the method of "damping" the magnetic field of the rotor in an emergency situation. The magnetic system of the rotor is made of two parts, one of which is fixedly fixed to the rotor, and the second is mounted on the rotary sleeve. In the normal state of the machine, the angular position of the poles of the same name fixed on the rotor and mounted on the rotary brushing coincides. In the emergency condition of the machine, the rotary bushing turns so that the angular position of the opposite poles of the rotor and the bushing will be in the same position. As a result, the induction of the magnetic field in the gap and EMF in the stator windings in the emergency state of the machine will be close to zero.

Key words: propulsion systems, generator sets, permanent magnet machines, rotor with permanent magnets, interturn closure.

Электротехника, 2017, №12, стр.49-54

Система управления рециркуляцией газов в батарее топливных элементов

ГАЛУШИН С.Я., ШАМАНОВ Д.Н.

Энергетические установки на водород-кислородных топливных элементах получают все более широкое распространение. Преимуществом таких электрохимических генераторов являются экологичность, экономичность и широкий диапазон мощностей. Некоторые компоненты таких установок еще находятся в развитии. Одним из таких компонентов является система рециркуляции рабочих газов, позволяющая повысить КПД установки.

Кроме того, данная система позволяет поддерживать водный баланс в батарее топливных элементов, удаляя воду, которая образуется в полостях мембранно-электродного блока в результате электрохимической реакции. Учитывая сложность происходящих в установке реакций, необходима автоматическая система управления системой рециркуляции газов.

В статье рассматривается такая система на базе микропроцессорного контроллера, датчиков и исполнительных механизмов, которая реализует алгоритмы управления компонентами системы рециркуляции газов.

Ключевые слова: топливные элементы, система управления, микроконтроллер, датчики, исполнительные механизмы.

Currently, power plants, working on the hydrogen-oxygen fuel cells are widely distributing. The advantage of such electrochemical generators is environmental friendliness, efficiency and a wide range of power output from the plants. Given the novelty of such engines, some components are still being developed. One of these components is a system for working gases recirculating, which increases the efficiency of the installation. In addition, this system allows supporting the water balance in the fuel cell stack, removing the water that forms in the cavities of the membrane-electrode block because of an electrochemical reaction. Noticing the complexity of the reactions that are taking place in the installation, an automatic control system (ACS) is necessary for the gas recirculation system. The article deals with the organization of automated control systems based on a microprocessor controller, sensors and actuators, which implements control algorithms for the components of the gas recirculation system.

Word key: fuel cells, control system, microcontroller, sensors, actuators.

Электротехника, 2017, №12, стр.54-57

Расчетное определение параметров электролизной ячейки

ДЯДИК А.Н., КУЧИНСКИЙ Д.М., ДОВЫДОВСКАЯ Н.Н., ВАХРУШИНА Н.С.,
ДОВЫДОВСКИЙ В.А.

Приведены результаты расчетного определения параметров электролизной ячейки. Показано, что параметром, требующим оптимального выбора в процессе проектирования электролизных батарей, является плотность тока. Показано также, что с уменьшением угла наклона вольтамперной характеристики электролизера улучшаются его габаритные показатели. В результате теоретического анализа получена зависимость для расчета оптимальной плотности тока, позволившая найти пути улучшения массогабаритных и энергетических характеристик электролизеров.

Ключевые слова: электролизер, электролизная ячейка, плотность тока, вольтамперная характеристика.

The results of calculation the parameters of the electrolysis cell are presented. It is shown that a parameter that requires an optimal choice in the design process of electrolysis batteries is the

current density. Also, found that with decreasing angle of inclination of the current-voltage characteristics of the cell improve its overall performance. As a result, of theoretical analysis of the received dependence for calculation of optimal current density enabled to find ways to improve mass-dimension and the current characteristics of the electrolyzer.

Key words: the electrolyser, electrolysis cell, current density, volt-ampere characteristic.

Электротехника, 2017, №12, стр.57-62

Метод декомпозиции в задачах исследования электроэнергетических систем с сухим трением

КАМАЧКИН А.М., СОГОНОВ С.А., ШАМБЕРОВ В.Н.

Электрические машины широко применяются для решения задач автоматизации технических средств в качестве двигателя исполнительного механизма, управляющего рабочими органами машин различного назначения. Повышенные требования к точности перестановки рабочих органов делают необходимым учет сухого трения в механизме, что значительно усложняет аналитическое исследование математической модели автоматической системы. В известных практических случаях исследование подобных задач проводилось либо средствами вычислительного эксперимента, либо аналитически при значительно упрощенной модели закона сухого трения (не учитывалось превышение сил трения покоя над силами трения движения, наличие падающего участка в характеристике трения, пренебрегалось массой подвижной части механизма и пр.). Упрощенное представление не позволяло выявлять и понимать истинные причины потери устойчивости системой, сопровождающейся фрикционными автоколебаниями различного рода (периодическими, хаотическими и др.). В статье представлен метод декомпозиции пространства параметров, который позволяет в определенных случаях исследовать неавтономные многомерные нелинейные системы с помощью базовых подсистем, имеющих меньшую размерность фазового пространства и доступных строгому анализу.

Ключевые слова: многомерная нелинейная динамическая система, пространство состояний, пространство параметров, неособенное линейное преобразование, декомпозиция системы, базовые подсистемы.

Electrical engine is nowadays mostly spread in all spheres of industry and technology. Electrical actuator is widely used as an actuating motors ruling interconnected controls of different

machines. Heightened demands of precision in interconnected controls urgently request dry frictions consideration in executive mechanism. Dry friction's consideration in an automatic system's mathematical model considerably complicates its analytical research. In all known practical cases of research into such tasks the research is carried out by means of computing or analytically, but using considerably simplified dry friction's law model. The simplified presentation does not allow to expose and understand the true (or apparent) reasons of system's stability losses? Accompanied by friction self-oscillations of different kind (periodical, chaotic etc.). The decomposition method of parameter space presented in the current work allows investigation of non-autonomous non-linear multivariable systems through the basic subsystems (both linear and non-linear) that have a lower order state-space and are accessible to strict analysis.

Key words: many-dimensional nonlinear dynamical system, state space, state variables, nonsingular linear transformation, decomposition of the system, basic subsystems.

Электротехника, 2017, №12, стр.65-72

О координации функционирования трансформаторов тока и устройств релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем в переходных режимах коротких замыканий

КУЖЕКОВ С.Л., ДЕГТЯРЕВ А.А.

В связи с увеличением числа неправильных действий устройств релейной защиты при переходных процессах, сопровождаемых насыщением сердечников защитных трансформаторов тока (ТТ), отмечена необходимость разработки отечественного стандарта требований к защитным ТТ, предназначенным для работы в переходных режимах. Рассмотрены способы обеспечения правильного функционирования устройств релейной защиты в переходных режимах, сопровождающихся насыщением эксплуатируемых ТТ:

- снижение нагрузки на ТТ, в том числе, путем увеличения сечения жил контрольных кабелей;
- разработка алгоритмов функционирования устройств РЗА, базирующихся на распознавании аварийного режима на интервале достаточно точной трансформации ТТ (2-3 мс);
- разработка алгоритмов функционирования устройств РЗА с виртуальной компенсацией погрешностей ТТ;

– освоение производства и внедрение в эксплуатацию новых преобразователей первичного тока.

Сделан вывод, что для действующих крупных электростанций с установленными на них ТТ класса ТРХ в микропроцессорных защитах целесообразно использовать усовершенствованные алгоритмы обработки информации, получаемой от ТТ, например, по способам 2 и/или 3.

Ключевые слова: релейная защита, трансформатор тока, переходный режим, , интервал насыщенного состояния, погрешность.

In connection with the increase in the number of incorrect actions of relay protection during transient processes, followed by saturation of cores protective current transformers (CTs) it is noted the need to develop national standard requirements for protective CTs, intended for operation in transient modes. The ways to ensure the proper functioning of the relay protection devices in transient conditions accompanied by CT saturation exploited have been considered:

- reducing the load on CT, including the increase of the cross-section of connecting cables cores;
- development of algorithms of functioning of devices of relay protection based on the recognition of emergency mode on an interval of sufficiently accurate transformation CT (2-3 ms);
- development of algorithms of functioning of devices of relay protection with the virtual compensation of errors CT;
- the manufacture and introduction in operation of new converters of the primary current.

It is concluded that for existing large power plants with installed on them CT class ТРХ in microprocessor-based protection it is advisable to use advanced algorithms for processing information derived from CT, for example, by the methods 2 or/and 3.

Key words: relay protection, current transformer, transient regimes, the interval of the saturated state, the error.

Электротехника, 2017, №12, стр.73-76

Планирование обслуживания электроподвижного состава в условиях ограниченных ресурсов

СИДОРЕНКО В.Г., ЧЖО МИН АУНГ, АЛЕКСЕЕВ В.М., РОЗЕНБЕРГ Е.Н., УМАНСКИЙ В.И.

Планирование технического обслуживания (ТО) электроподвижного состава (ЭПС) в условиях ограниченных ресурсов может осуществляться на основе следующих критериев эффективности построения графика оборота (ГО) ЭПС:

- удовлетворение требований безопасности движения, обеспечиваемое путем коррекции планируемого времени движения ЭПС с целью недопустимости превышения времени между ТО над допустимым;
- равномерность проведения ТО.

Решение поставленной задачи с использованием теории графов дает возможность получить всё множество допустимых назначений обслуживаний и выбрать то, которое, с одной стороны, соответствует плановому графику движения поездов (ПГД), а с другой – минимально отличается от оптимального по выбранному критерию. Такой требует значительных затрат времени. Использование генетического алгоритма позволяет решить задачу быстро. Ввод нового критерия – суммарного превышения времени между ТО над допустимым интервалом между двумя обслуживаниями – позволяет получить решение при любых исходных данных, что не всегда достижимо при использовании критерия равномерного обслуживания. Выполнена адаптация алгоритмов кроссинговера и мутации, реализуемых в рамках генетического алгоритма, с учетом особенностей агентов, задействованных в решении поставленной задачи. Исследованы возможность применения для построения ГО различных типов кроссинговера, мутации и влияние параметров генетического алгоритма на результаты. Полученные аналитические результаты апробированы для условий Московского метрополитена.

Ключевые слова: электроподвижной состав, оптимизация, планирование, техническое обслуживание, комбинаторика, теория графов, генетический алгоритм.

This article discusses the planning of electric rolling stock (ERS) maintenance: to implement all maintenance requirements under limited resources. In this case, several effective criteria can be considered for the planning of turn over schedule:

- satisfaction of traffic safety requirements, provided by correcting the estimated train movement time which should not exceed limited time between maintenances;
- uniformity of maintenance.

The solution by using graph theory allows to get the whole set of reasonable maintenances schedule and to choose which maintenance corresponds to the train movement schedule and minimum differs from the optimal by selected criteria. It takes a significant amount of time. The discussed task can be solved quickly by using genetic algorithm. New criterion – total exceeded

time over permissible interval time between maintenances –allows to get a solution for any initial data. It is not always available when using the criterion of uniform maintenance. In this article developed mathematical tool is based on combinatorics, graph theory, and genetic algorithms. The authors executed the adaptation of crossover algorithms and mutations, implemented in the framework of the genetic algorithm, with the features of the agent involved in the solution. The authors investigated the possibility of using various crossover types, mutations and the parameters' influence of the genetic algorithm on the obtained results for turnover schedule planning. The obtained results have been tested for the conditions of the Moscow subway.

Key words: electric rolling stock, optimization, planning, maintenance, combinatorics, graph theory, genetic algorithm

Электротехника, 2017, №12, стр.76-79

Метод исследования электротехнических систем с периодически изменяющимися параметрами

ГОРЕЛИК А.В., ГОРЕЛИК В.Ю., АПАТЦЕВ В.И., БАТУРИН А.П., КОБЗЕВ В.А.,
ЖУРАВЛЕВ И.А.

Предлагается метод исследования устойчивости импульсной переходной функции электротехнических систем с периодически изменяющимися во времени параметрами. Метод использует аппарат преобразования Лапласа и определителей Хилла, носит общий характер и предполагает минимальные ограничения на вид дифференциального уравнения. Получены выражения для характеристического уравнения импульсной переходной характеристики. Дан пример расчета для дифференциального уравнения второго порядка.

Ключевые слова: системы управления, параметрические усилители, переменные параметры, определители Хилла, переходные процессы.

The research method of the impulse response function stability of electrical systems with periodically time-varying parameters. The method uses the Laplace transformation and the Hill's determinants and involves the minimum restriction on the form of the differential equation. Expressions for the characteristic equation of the impulse response function are received. The

example of calculation for the differential equation of the 2nd order is given.

Key words: control systems, parametric amplifiers, variables, determinants of the hill, transients.

Электротехника, 2017, №12, стр.79-83

Способы повышения отказоустойчивости баз данных автоматизированных систем управления производством

ИСМАИЛОВ О.М.

В современных промышленных объектах в целях автоматического управления производственными системами необходим своевременный и точный анализ технологических процессов, который сопровождается сбором, хранением и обработкой данных о состоянии и работе всех исполнительных устройств (программируемых логических контроллеров, модулей ввода/вывода, сетевого оборудования и приложений HMI) в момент производства. Адаптивное и своевременное реагирование на ход технологических процессов промышленного объекта в режиме реального времени невозможно без обеспечения отказоустойчивости, своевременного и надежного доступа к данным в системах хранения. В статье исследуются методы и технологии повышения отказоустойчивости обработки информации в БД АСУП в целях обеспечения своевременности и надёжности доступа к данным находящейся в БД системы.

Ключевые слова: база данных, системы управления базами данных, отказоустойчивость.

In modern industrial facilities, in order to automatically manage production systems, a timely and accurate analysis of technological processes is required, which is accompanied by the collection, storage and processing of data on the status and performance of all executors (PLCs, I / O modules, network equipment and HMI applications) in The moment of production. Adaptive and timely response to technological processes of an industrial facility in real time is impossible without solving the problems of providing fault tolerance, timely and reliable access to data in storage systems. In this paper, we investigate methods and technologies for increasing the fault tolerance of information processing in the database of automated control systems, in order to ensure the timeliness and reliability of access to data information located in the OBD system.

Key words: database, database management system, fault-tolerance.

К определению параметров эквивалентной схемы замещения трехфазных асинхронных электродвигателей

ОСИПОВ В.С.

Рассматривается задача определения параметров схем замещения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым и фазным ротором по каталожным данным с целью построения их механических характеристик. В известных источниках определение параметров производится либо методом подбора, когда в широких пределах изменяют отношение параметров, либо некоторые параметры принимаются равными нулю. В схеме замещения асинхронного электродвигателя содержится шесть неизвестных параметров сопротивлений, известен только номинальный ток статора и его активная и реактивная составляющие, поэтому расчёт параметров проводится с использованием известных формул, отражающих характеристики двигателя. В статье, задаваясь крайними значениями отношения номинального напряжения к ЭДС цепи намагничивания в режиме идеального холостого хода, которое может изменяться в пределах $\pm 2,0\%$, определяются параметры соответствия этим коэффициентам и тем самым определяется область изменения параметров схемы замещения при их линейно интерполируемой зависимости. Расчёт проводится с использованием уравнений второго порядка, исходя из постоянства электромагнитной мощности электродвигателя и баланса активных и реактивных мощностей. Определение области параметров соответствия позволяет сделать предварительный, а затем уточняющий расчёты с последующей оценкой сходимости результатов решения. В результате получена методика аналитического определения параметров схем замещения асинхронных электродвигателей. Такой метод расчета может использоваться в инженерной практике не только для расчёта параметров по каталожным данным, но и для определения соответствия параметров, которые в этих данных не определены.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, эквивалентная схема замещения, параметры.

We consider the problem of determining the parameters of equivalent circuits of asynchronous motors with squirrel-cage and wound rotor by catalogue information to build their mechanical characteristics. In the known sources of determination of the parameters is carried out either by selection method when the varied by the ratio of the parameters that can vary widely, either

accepted some of the parameters to zero and expressions are simplified. In the equivalent circuit of the asynchronous motor contains six unknown parameters of the resistance, known only to the nominal stator current and its active and reactive components, so the calculation of parameters is performed using well known formulas describing the characteristics of the engine. In this work, giving extreme values of the ratio nominal voltage to the EMF of the magnetization chain in the regime of perfect idling, which can vary within $\pm 2,0\%$, determined are the parameters of compliance to these coefficients and thus determined the area varying the parameters of the equivalent circuit when the linearly interpolated dependence. The calculation is made using equations of the second order based on the constancy of the power of electric motor, balance, active and reactive power. Definition of region of conformity of parameters allows make preliminary, and then specific the calculations, followed by assessment of the results of the convergence solutions. The resulting analytical method of determination of equivalent circuit parameters of induction motors.

Key words: induction motor, equivalent circuit, parameters.

Электротехника, 2017, №12, стр.88-91

Применение программного комплекса GMSH+GetDP для расчета нестационарных магнитных полей электромеханических преобразователей

ЩУЧКИН Д.А., ПАВЛЕНКО А.В., ПУЗИН В.С., БАТИЩЕВ Д.В., ХОРОШЕВ А.С.

Выполнено краткое сравнение подходов к созданию программного обеспечения для решения численных задач с использованием метода конечных элементов и определены их концептуальные достоинства и недостатки. Представлен пример расчета нестационарного магнитного поля намагничивающего устройства магнитного дефектоскопа стальных канатов, равномерно движущегося вдоль каната открытой конструкции, линейные размеры отдельных частей которого отличаются на несколько порядков. Рассмотрены вопросы адаптации и применения программного комплекса GMSH+GetDP для расчета нестационарных магнитных полей электротехнических устройств. Отмечены особенности формирования сетки конечных элементов, ее оптимизации и последующего решения систем линейных алгебраических уравнений больших порядков. Показана важность выбора необходимой конфигурации программного комплекса GMSH + GetDP на примере сравнения эффективности применения разных алгоритмов упорядочения матриц и целесообразности учета особенностей аппаратной части вычислительной машины. Получены результаты моделирования нестационарного электромагнитного поля в

условиях равномерного движения и выполнено сравнение с результатами моделирования электромагнитного поля объектов без движения. Проведен анализ полученных результатов сравнения, выявлены области наибольших изменений распределения электромагнитного поля, расположенные у полюсов намагничивающего устройства и в области расположения локального дефекта каната.

Ключевые слова: стальные канаты, математическое моделирование, электромеханические преобразователи, gmsh+getdp, нестационарное поле.

A brief comparison of the approaches to creating software for solving numerical problems using the finite element method was made and their conceptual merits and demerits were determined. An example is given of the problem of calculating the non-stationary magnetic field of a magnetizing device of magnetic flaw detector of steel ropes uniformly moving along a rope of an open structure that are objects of complex geometry with linear dimensions of individual parts that differ of several orders of magnitude. The issues of adaptation and application of the GMSH + GetDP software package for the calculation of non-stationary magnetic fields of electrical devices are considered. Features of the finite element mesh formation, its optimization and the subsequent solution of systems of linear algebraic equations of higher orders are noted. The importance of choosing the necessary configuration of the GMSH + GetDP software complex is demonstrated by the example of comparing the efficiency of application of different algorithms of matrix ordering and the appropriateness of taking into account the features of the hardware of the computer. The results of modeling the non-stationary electromagnetic field under conditions of uniform motion are obtained and a comparison with the results of simulation of the electromagnetic field of objects without motion is performed. The analysis of the obtained comparison results is carried out, the areas of the greatest changes in the distribution of the electromagnetic field located at the poles of the magnetizing device and in the region of location of the defect of rope are revealed.

Key words: steel wire rope, numerical simulation, electromechanical transducers, gmsh+getdp, non-stationary electromagnetic field.

Электротехника, 2017, №12, стр.92-97

Список статей, опубликованных в журнале «Электротехника» в 2017 г.