

Содержание

Электротехника, 2023, №3, стр. 2-7

Компьютерное моделирование и электротехнические расчеты автономной электростанции со статическими источниками электроэнергии

ГРИГОРЬЕВ А.В., УЛИТОВСКИЙ Д.И., МАЛЫШЕВ С.М.

Предложена компьютерная модель автономной ЭЭС, на которой рассчитаны основные режимы эксплуатации статических источников электроэнергии в том числе буферный и автономный режимы; режим параллельной работы статических источников и генераторных агрегатов; режим параллельной работы статических источников с береговой сетью; нормальный и ускоренный заряд аккумуляторных батарей и суперконденсаторов, аварийные режимы эксплуатации. При разработке модели судовой электростанции со статическими источниками применялись математические модели статических элементов, реализующие их типовые вольт-амперные зарядно-разрядные характеристики.

Ключевые слова: электроэнергетические системы, статические источники электроэнергии, аккумуляторные батареи, суперконденсаторы, компьютерные модели, вычислительный эксперимент.

A computer model of an autonomous power plant is proposed, on which the main operating conditions of static power sources are calculated, including buffer and autonomous modes; the mode of parallel operation of static sources and generator units; the mode of parallel operation of static sources with onshore power; normal and accelerated charging of batteries and supercapacitors, emergency modes operation. When developing a model of a ship power plant with static sources, mathematical models of static elements were used, realizing their typical volt-ampere charge-discharge characteristics.

Key words: electric power systems, static sources of electricity, batteries, supercapacitors, computer models, computational experiment.

Исследование метода исключения гармоник для управления каскадным автономным инвертором напряжения

ДОБРОСКОК Н.А., БЕЛЬСКИЙ Г.В., МИГРАНОВ Р.М., ЛАВРИНОВСКИЙ В.С., ТАРАН А.В.

Исследованы возможности применения метода избирательного исключения гармоник для управления одиннадцатилеveled каскадным автономным инвертором напряжения при регулировании амплитуды первой гармоники напряжения на выходе в широком диапазоне. Для этого сформирован набор возможных форм ступенчатого напряжения при ограниченном числе углов коммутации за четверть периода формируемого напряжения, равном числу однофазных мостовых ячеек, для которых численно получено решение задачи избирательного исключения гармоник, обеспечивающее возможность регулирования амплитуды первой гармоники напряжения. Средствами моделирования в пакете MATLAB/Simulink выполнена проверка адекватности решения задачи избирательного исключения гармоник, а также исследованы значения коэффициента несинусоидальности при различных формах напряжения.

Ключевые слова: каскадный автономный инвертор напряжения, избирательное исключение гармоник, коэффициент несинусоидальности, ряд Фурье, трансцендентное уравнение.

The possibilities of using the method of selective elimination of harmonics for controlling an eleven-level cascade autonomous voltage inverter when regulating the amplitude of the first harmonic of the output voltage in a wide range are investigated. For this purpose, a set of possible forms of step voltage has been formed with a limited number of switching angles for a quarter of the period of the generated voltage, equal to the number of single-phase bridge cells, for which a solution to the problem of selective exclusion of harmonics has been numerically obtained, providing the possibility of regulating the amplitude of the first harmonic of the voltage. By means of modeling in the MATLAB/Simulink package, the adequacy of solving the problem of selective elimination of harmonics was verified, and the values of the non-sinusoidal coefficient for various forms of voltage were studied.

Key words: cascade autonomous voltage inverter, selective elimination of harmonics, non-sinusoidal coefficient, Fourier series, transcendental equation.

Расширение диапазона регулирования синхронного электропривода с адаптивным регулятором в области малых сигналов с учетом нелинейного трения

КУЗНЕЦОВ В.Е., ЛУКИЧЕВ А.Н., БОГДАНОВА С.М., ФИЛАТОВ Д.М.

При проектировании рулевых электроприводов автономных объектов, как правило, требуется разработка новых алгоритмов управления с расширенным диапазоном и качеством управления. Рассмотрены возможности улучшения динамических характеристик электропривода при работе в области малых заданий скорости, когда существенно влияние нелинейных характеристик сил трения. Рассмотрен подход к построению адаптивного алгоритма с помощью методов малого параметра и разделения движений. Исследована энергоэффективность адаптивного управления при формировании требуемых динамических характеристик синхронного электропривода с учетом влияния нелинейного трения, выражающимся в прерывистом колебательном движении выходного вала. На физическом макете электропривода с электродвигателем НРМ3000В выполнено сравнение предлагаемого способа управления с существующими. Приведены результаты исследования расширения и улучшения динамических свойств электропривода в области номинальных значений скорости и момента, а также при малых заданиях, когда трение принимает срывной характер.

Ключевые слова: электропривод, синхронный двигатель с постоянными магнитами, адаптивное управление, нелинейное трение.

When designing steering electric drives of autonomous objects, as a rule, it is required to develop new control algorithms with an extended range and control quality. The possibilities of improving the dynamic characteristics of the electric drive when working in the field of small speed tasks, when the influence of nonlinear characteristics of friction forces is significant, are considered. An approach to the construction of an adaptive algorithm using the methods of small parameter and motion separation is considered. The energy efficiency of adaptive control is investigated when forming the required dynamic characteristics of a synchronous electric drive, taking into account the influence of nonlinear friction, expressed in intermittent oscillatory motion of the output shaft. On the physical layout of an electric drive with an HPM3000B electric motor, the proposed control method is compared with existing ones. The results of the study of the expansion and improvement of the dynamic properties of the electric drive in the

range of nominal values of speed and torque, as well as for small tasks when friction takes a disruptive character are presented.

Key words: electric drive, synchronous motor with permanent magnets, adaptive control, nonlinear friction.

Электротехника, 2023, №3, стр. 21-27

Алгоритм синхронизации многоканального рулевого привода с адаптивным регулятором

НГУЕН ДИНЬ ХАНЬ, КУЗНЕЦОВ В.Е.

Представлены алгоритмы синхронизации положения и выходной силы нагружения системы многоканального резервированного рулевого привода. Система состоит из нескольких гидравлических приводов, управляющих общей рулевой поверхностью.

Представлены структура рулевой системы и математическая модель электрогидравлического привода, включающего в себя нелинейные расходно-перепадные характеристики гидрораспределительного клапана. Представлен алгоритм синхронизации сил, основанный на перепаде гидравлического давления между каналами. В сравнении с алгоритмом по перепаду давления представлен алгоритм адаптивной синхронизации для улучшения качества синхронизации системы. Приведен пример синхронизации двухканальных рулевых систем управления при сравнении реакций выходных сил между каналами с разными алгоритмами синхронизации.

Ключевые слова: рулевой привод, резервированная система, алгоритмы синхронизации, адаптивный алгоритм управления.

Algorithms for synchronizing the position and output loading force of a multichannel redundant steering drive system are presented. The system consists of several hydraulic drives that control a common steering surface. The structure of the steering system and a mathematical model of an electrohydraulic drive, including nonlinear flow-differential characteristics of a hydraulic valve, are presented. An algorithm for synchronizing forces based on the hydraulic pressure difference between the channels is presented. In comparison with the pressure drop algorithm, an adaptive synchronization algorithm is presented to improve the synchronization quality of the system. An example of synchronization of two-channel steering control systems is given when comparing the reactions of output forces between channels with different synchronization algorithms.

Key words: steering drive, redundant system, synchronization algorithms, adaptive control algorithm.

Электротехника, 2023, №3, стр. 28-32

Численное исследование процессов в индукционной печи с холодным тиглем для остекловывания высокоактивных отходов, содержащих благородные металлы
ЛОПУХ Д.Б., СКРИГАН И.Н., ВАВИЛОВ А.В., МАРТЫНОВ А.П.

Представлены результаты численного исследования печи индукционной плавки с холодным тиглем конусной формы для остекловывания высокоактивных отходов, содержащих благородные металлы. Исследование проведено на электрогидродинамической двухчастотной 2D-модели с учетом движения частиц благородных металлов в расплаве боросиликатного стекла. На основе результатов математического моделирования разработана печь с индукционным сливным устройством, обеспечивающим полное удаление благородных металлов со сливаемым расплавом стекла. Представлены направления дальнейших численных и экспериментальных исследований.

Ключевые слова: индукционная печь, холодный тигель, благородные металлы, высокоактивные отходы, остекловывание, численное моделирование.

The results of a numerical study of an induction melting furnace with a cone-shaped cold crucible for vitrification of highly active waste containing precious metals are presented. The study was carried out on an electrohydrodynamic two-frequency 2D model taking into account the movement of noble metal particles in a borosilicate glass melt. Based on the results of mathematical modeling, a furnace with an induction drain device has been developed that provides complete removal of precious metals with a drained glass melt. The directions of further numerical and experimental studies are presented.

Key words: induction furnace, cold crucible, precious metals, highly active waste, glazing, numerical modeling.

Использование электрической схемы замещения для описания электромагнитных процессов в тканях живых организмов на клеточном уровне

ГОНЧАРОВ В.Д., ГОРЕЛИКОВА М.А., ЕВДАКОВА Е.Г., ЯШКАРДИН Р.В.

Статья посвящена разработке и численной реализации математической модели для исследования электромагнитных процессов в тканях тела на клеточном уровне при действии синусоидального напряжения разных частот. Основой модели является электрическая схема замещения, в которой учитываются особенности структуры для одной из наиболее сложно организованных тканей тела – ткани скелетной мышцы. Модель позволяет описывать электромагнитные процессы, происходящие в мышечной ткани на уровне отдельных её клеток при действии на неё синусоидального напряжения разных частот. Адекватность модели подтверждена путём сравнения результатов расчётов частотной зависимости модуля комплексной диэлектрической проницаемости и экспериментальных данных. Результаты расчётов при расположении электродов вдоль мышечных тканей позволяют судить о проводимости эпимизия и самих мышечных клеток, что, в свою очередь, свидетельствует об уровне «активности» мышечной ткани.

Ключевые слова: биологическая ткань, электромагнитные процессы, электрические схемы замещения, электрический импеданс, частотные характеристики.

The article is devoted to the development and numerical implementation of a mathematical model for the study of electromagnetic processes in body tissues at the cellular level under the action of sinusoidal voltage of different frequencies. The basis of the model is an electrical replacement circuit, which takes into account the structural features for one of the most complexly organized body tissues – skeletal muscle tissue. The model allows describing electromagnetic processes occurring in muscle tissue at the level of its individual cells under the action of sinusoidal voltage of different frequencies on it. The adequacy of the model was confirmed by comparing the results of calculations of the frequency dependence of the complex dielectric constant modulus and experimental data. The results of calculations with the location of the electrodes along the muscle tissues allow us to judge the conductivity of the epimysium and the muscle cells themselves, which, in turn, indicates the level of «activity» of the muscle tissue.

Key words: biological tissue, electromagnetic processes, electrical replacement circuits, electrical impedance, frequency characteristics.

Определение электромагнитных параметров группы датчиков, предназначенных для измерений в активных средах или труднодоступных частях устройств и сооружений

КОРОВКИН Н.В., МИНЕВИЧ Т.Г., СОЛОВЬЕВА Е.Б.

Задачи измерения электромагнитных параметров датчиков физических величин различной природы, таких как температура, влажность, интенсивность радиационного излучения и т.п. хорошо известны. В ряде случаев, например, при измерении криогенных температур принципиально важно минимизировать число кабелей, соединяющих датчик с измерительным устройством. В статье предлагается метод определения электромагнитных параметров группы четырех датчиков, с использованием только четырех кабелей связи датчиков с измерительным устройством. Для различных конфигураций соединения датчиков в группу получены связи сопротивлений каждого датчика с измеряемыми А-параметрами четырехполюсников, а также тождества, связывающие между собой элементы матриц А-параметров группы датчиков при различных способах подключения измерителя. Предложенный метод позволяет, выполняя многократные независимые измерения, повысить точность определения искомых электромагнитных параметров.

Ключевые слова: электромагнитные параметры, датчики, группы разнородных объединенных датчиков, А-параметры, параметры цепи, четырехполюсник, сетевой анализатор.

The tasks of measuring electromagnetic parameters of sensors of physical quantities of various nature, such as temperature, humidity, radiation intensity, etc. are well known. In some cases, for example, when measuring cryogenic temperatures, it is fundamentally important to minimize the number of cables connecting the sensor to the measuring device. The article proposes a method for determining the electromagnetic parameters of a group of four sensors, using only four sensor communication cables with a measuring device. For various configurations of connecting sensors to a group, the connections of the resistances of each sensor with the measured A-parameters of the quadrupole are obtained, as well as the identities connecting the elements of the A-parameter matrices of the sensor group with different methods of connecting the meter. The proposed method allows, by performing multiple independent measurements, to increase the accuracy of determining the desired electromagnetic parameters.

Key words: electromagnetic parameters, sensors, groups of heterogeneous combined sensors, A-parameters, circuit parameters, four-pole, network analyzer.

Электротехника, 2023, №3, стр. 45-49

Терминальный скользящий режим с нейронной сетью для системы электроприводов экзоскелета

КОЗЛОВА Л.П., ЧЫОНГ Д.Д.

Предложен алгоритм управления скользящим режимом модели нижних конечностей экзоскелета с нейронной сетью для устранения внешних возмущений и неопределенностей. Скользящее управление быстрого действия используется для достижения быстрой сходимости за конечное время, отсутствия сингулярности и подавления колебаний. Нейронная сеть позволяет повысить эффективность регулятора внутри пограничного слоя. Анализ асимптотической устойчивости замкнутой системы подтверждается критерием устойчивости Ляпунова, гарантирующим условие скольжения. Доказана эффективность предложенного метода управления на основе моделирования в программе MATLAB с построением пятисуставной математической модели нижней конечности экзоскелета.

Ключевые слова: экзоскелет, электропривод, алгоритм управления, терминальный скользящий режим, нейронная сеть.

An algorithm for controlling the sliding mode of the lower extremity model of an exoskeleton with a neural network is proposed to eliminate external disturbances and uncertainties. Fast-acting sliding control is used to achieve rapid convergence in finite time, absence of singularity and suppression of oscillations. The neural network makes it possible to increase the efficiency of the regulator inside the boundary layer. The analysis of the asymptotic stability of a closed system is confirmed by the Lyapunov stability criterion, which guarantees the slip condition. The effectiveness of the proposed control method based on modeling in the MATLAB program with the construction of a five-jointed mathematical model of the lower limb of the exoskeleton is proved.

Key words: exoskeleton, electric drive, control algorithm, terminal sliding mode, neural network.

Электротехника, 2023, №3, стр. 50-57

Синтез нейросетевых регуляторов системы электроприводов оптико-механического

комплекса

БЕЛОВ А.М., НГУЕН ВАН ЛАНЬ, БЕЛОВ М.П.

Изложены результаты исследования работы нейросетевых регуляторов на основе эталонной модели и ПИД-регулятора системы электроприводов оптико-механического комплекса в виде трехмассовой системы с учетом упругости, зазора и сухого трения при влиянии внешних возмущений. Настройка параметров регуляторов выполнена с использованием метода градиента спуска. Для обеспечения устойчивости и быстрой сходимости коэффициент скорости обучения настроен на основе метода функций Ляпунова. Использована нейросетевая модель на основе радиально-базисных функций для идентификации динамической системы с целью реализации синтезированных регуляторов. Исследование и сравнение эффективности регуляторов выполнено в MATLAB Simulink. Результаты показывают, что нейросетевой регулятор на основе эталонной модели эффективнее чем ПИД-регулятор.

Ключевые слова: оптико-механический комплекс, следящий электропривод, трехмассовая система, нейросетевой ПИД-регулятор, нейросетевой регулятор, эталонная модель.

The results of the study of neural network regulators based on a reference model and a PID controller of an electric drive system of an optical-mechanical complex in the form of a three-mass system, taking into account elasticity, gap and dry friction under the influence of external disturbances, are presented. Adjustment of the parameters of the regulators is performed using the descent gradient method. To ensure stability and rapid convergence, the learning rate coefficient is configured based on the Lyapunov function method. A neural network model based on radial-basis functions is used to identify a dynamic system in order to implement synthesized regulators. The study and comparison of the efficiency of regulators was carried out in MATLAB Simulink. The results show that a neural network controller based on a reference model is more efficient than a PID controller.

Key words: optical-mechanical complex, tracking electric drive, three-mass system, neural network PID controller, neural network controller, reference model.

Электротехника, 2023, №3, стр. 57-62

Исследование плавки вулканической породы в индукционной печи с холодным тиглем

ВАВИЛОВ А.В., ОЗЕРОВ А.Ю., ЛОПУХ Д.Б., СКРИГАН И.Н., МАРТЫНОВ А.П.,
КУЗНЕЦОВ Р.А., ДЯДИН В.И.

Статья посвящена исследованию процессов плавки вулканической породы в индукционной печи с холодным тиглем с целью получения высокой ванны расплава и изучения его дегазации. Представлены результаты экспериментов, проведённых для оценки тепловой устойчивости плавки, определения ее энергетических характеристик и изучения поведения расплава при частоте тока 5,28 МГц с использованием холодного тигля с внутренним диаметром 114 мм. В результате исследования получена ванна расплава вулканической породы высотой 0,64 м при сверхфорсированной работе лампового генератора с штатной колебательной мощностью 60 кВт и частотой тока 5,28 МГц. Полученные результаты открывают новые возможности для изучения дегазации и реологических свойств расплавов природных вулканических пород.

Ключевые слова: индукционная плавка, холодный тигель, магматическая порода, расплав, дегазация, моделирование.

The article is devoted to the study of the processes of melting volcanic rock in an induction furnace with a cold crucible in order to obtain a high melt bath and study its degassing. The results of experiments conducted to assess the thermal stability of melting, determine the energy characteristics of melting and study the behavior of the melt at a current frequency of 5.28 MHz using a cold crucible with an internal diameter of 114 mm are presented. As a result of the study, a volcanic rock melt bath with a height of 0.64 m was obtained with super-forced operation of a lamp generator with a standard oscillatory power of 60 kW and a current frequency of 5.28 MHz. The obtained results open up new possibilities for studying degassing and rheological properties of melts of natural volcanic rocks.

Key words: induction melting, cold crucible, igneous rock, melt, degassing, modeling.

Электротехника, 2023, №3, стр. 63-64

Авторы номера

Электротехника, 2023, №3, стр. 65-65

Виктор Дмитриевич Ковалев (Некролог)

Электротехника, 2023, №3, стр. 66-67

Анатолий Евтихievич Козярук (Некролог)