

Содержание

Идентификация параметров схем замещения четырехполюсников по измерениям на границах их каскадного соединения

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

Представлен метод идентификации внутренних параметров составных четырехполюсников по измерениям только со стороны входных и выходных зажимов в режимах холостого хода и короткого замыкания. Метод позволяет определять параметры каскадно соединенных звеньев четырехполюсника с использованием только линейных процедур. Приведены результаты исследования точности метода при использовании экспериментальных данных. Показано, что точность определения внутренних параметров четырехполюсников может быть существенно повышена при использовании для расчетов усредненных экспериментальных данных. Показана возможность значительного увеличения точности определения внутренних параметров четырехполюсников за счет выбора частоты, на которой производятся измерения.

Ключевые слова: четырехполюсники, каскадное соединение, схемы замещения, идентификация параметров, измерение параметров.

A method is presented for identifying the internal parameters of composite four-terminal blocks by measurements only from the input and output terminals in idle and short-circuit modes. The method makes it possible to determine the parameters of cascaded four-pole links using only linear procedures. The results of the study of the accuracy of the method using experimental data are presented. It is shown that the accuracy of determining the internal parameters of the quadrupole can be significantly increased when using averaged experimental data for calculations. The possibility of a significant increase in the accuracy of determining the internal parameters of the four-pole devices due to the choice of the frequency at which measurements are made is shown.

Key words: quadpolars, cascade connection, substitution circuits, parameter identification, parameter measurement.

Электротехника, 2022, №3, стр. 9-16

Бездатчиковое векторное управление вентильным электроприводом на основе адаптивного расширенного фильтра Калмана

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

Рассмотрено применение адаптивного расширенного фильтра Калмана в качестве оптимального наблюдателя для восстановления электромеханических координат в системе бездатчикового векторного управления вентильным электроприводом.

Приводится математическое описание в виде дискретной векторно-матричной модели вентильного электропривода на основе синхронного двигателя с постоянными магнитами, представленного во вращающейся синхронной системе координат ротора. Предлагается подход к синтезу алгоритма адаптивного расширенного фильтра Калмана при использовании расширенной линеаризации и последовательного рекурсивного метода. С целью проверки работоспособности адаптивного расширенного фильтра Калмана для оценки угловой скорости и углового положения ротора при различных режимах работы вентильного двигателя выполнено моделирование в среде MATLAB/Simulink.

Ключевые слова: вентильный электропривод, адаптивный расширенный фильтр Калмана, бездатчиковая система, векторное управление.

The paper deals with the application of optimal state observer based adaptive extended Kalman filter to estimate electromechanical coordinates in the sensorless vector control of permanent magnet synchronous motor (PMSM motor). The mathematical state space model of PMSM motor is represented in rotating synchronous rotor coordinate. The next section describes mathematical approach to synthesis adaptive extended Kalman filter using extended linearization and sequential recursive method. In this work, designing and testing of adaptive extended Kalman filter are implemented on Matlab/ SIMULINK environment to estimate the rotor velocity and position of PMSM motor under different working mode.

Key words: permanent magnet synchronous motor, adaptive extended Kalman filter, sensorless system, vector control.

Электротехника, 2022, №3, стр. 17-23

Повышение динамической точности и энергоэффективности синхронного электропривода средствами адаптивного управления

КУЗНЕЦОВ В.Е., ЛУКИЧЕВ А.Н.

Исследованы алгоритмы адаптивного управления для улучшения динамических

показателей качества переходных процессов электропривода в условиях нелинейности электромеханической характеристики синхронного двигателя с постоянными магнитами при векторном управлении, изменении параметров и действии внешней нагрузки.

Улучшение динамических характеристик электропривода совмещается с решением задачи снижения перенапряжений на зажимах синхронного электропривода при его работе в области, близкой к номинальным значениям скорости и нагрузки за счет действия адаптивного управления по двум токовым каналам. Снижение перенапряжений благодаря адаптивному алгоритму только в динамическом режиме позволяет говорить о способе повышения энергоэффективности электропривода в области максимальных значений скорости и момента за счет снижения бросков напряжения инвертора. Приведены результаты компьютерного моделирования в среде MATLAB Simulink, которые свидетельствуют не только об улучшении динамических свойств электропривода по скорости, но и об уменьшении уровня напряжения на статоре при разгоне и торможении двигателя в условиях ограничения напряжения инвертора и момента, что улучшает энергоэффективность управления.

Ключевые слова: синхронный двигатель с постоянными магнитами, адаптивное управление, динамическая точность, энергоэффективность, перенапряжения.

Adaptive control algorithms have been studied to improve the dynamic indicators of the quality of electric drive transients under the conditions of non-linearity of the electromechanical characteristics of a synchronous motor with permanent magnets under vector control, parameter changes and the action of an external load. Improving the dynamic characteristics of the electric drive is combined with solving the problem of reducing overvoltages at the terminals of a synchronous electric drive when it operates in an area close to the nominal values of speed and load due to the action of adaptive control over two current channels. The reduction of overvoltages due to the adaptive algorithm only in dynamic mode allows us to talk about a way to increase the energy efficiency of the electric drive in the area of maximum values of speed and torque by reducing the voltage surges of the inverter. The results of computer simulation in the MATLAB Simulink environment are presented, which indicate not only an improvement in the dynamic properties of the electric drive in terms of speed, but also a decrease in the voltage level on the stator during acceleration and braking of the motor under conditions of limiting the voltage of the inverter and torque, which improves the energy efficiency of control.

Key words: synchronous motor with permanent magnets, adaptive control, dynamic accuracy, energy efficiency, overvoltage.

Электротехника, 2022, №3, стр. 23-28

Численное исследование седиментации благородных металлов при остекловывании высокоактивных отходов в индукционной печи с холодным тиглем

СКРИГАН И.Н., ЛОПУХ Д.Б., ВАВИЛОВ А.В., МАРТЫНОВ А.П.

Представлена математическая модель движения твердых частиц в расплаве боросиликатного стекла при индукционной плавке в холодном тигле. Исследовано пространственное распределение и осаждение частиц благородных металлов в промышленных индукционных печах с коническим и плоским дном. Показано преимущество печи с коническим дном для удержания дисперсных частиц в расплаве во взвешенном состоянии и удаления их со сливаемым стеклом. Полученные результаты подтверждены экспериментально.

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

A mathematical model of the motion of solid particles in a borosilicate glass melt during induction melting in a cold crucible is presented. The spatial distribution and deposition of noble metal particles in industrial induction furnaces with conical and flat bottoms has been investigated. The advantage of a furnace with a conical bottom for holding dispersed particles in the melt in a suspended state and removing them with drained glass is shown. The results obtained have been confirmed experimentally.

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

Электротехника, 2022, №3, стр. 29-34

Программный комплекс для исследования электромагнитного поля при транскраниальной магнитной стимуляции

ГОНЧАРОВ В.Д., ЕВДАКОВА Е.Г., ЯШКАРДИН Р.В.

Разработан программный комплекс для исследования распределения электромагнитного поля терапевтического индуктора при проведении импульсной транскраниальной магнитной стимуляции. Основа программного комплекса – математическая модель

электромагнитных процессов, происходящих в импульсной системе (источник энергии – система согласования – токовый контур или индуктор – биологический объект).

Геометрия модели головного мозга определяется с помощью математической обработки снимков магнитно-резонансной томографии. Численная реализация математической модели позволила получить распределение индукции магнитного поля и плотности тока в модели тканей серого и белого вещества мозга при произвольной форме импульсного тока индуктора. Результаты, полученные для определённого типа индуктора, формы и длительности импульса тока, позволяют определить области, в которых будут наблюдаться максимальные значения плотности тока в модели мозга.

Ключевые слова: транскраниальная магнитная стимуляция, терапевтический индуктор, численное моделирование.

A software package has been developed to study the distribution of the electromagnetic field of a therapeutic inductor during pulsed transcranial magnetic stimulation. The basis of the software package is a mathematical model of electromagnetic processes occurring in a pulsed system (energy source – matching system – current circuit or inductor – biological object). The geometry of the brain model is determined using mathematical processing of magnetic resonance imaging images. Numerical implementation of the mathematical model made it possible to obtain the distribution of magnetic field induction and current density in the model of gray and white matter tissues of the brain with an arbitrary shape of the pulse current of the inductor. The results obtained for a certain type of inductor, the shape and duration of the current pulse, allow us to determine the areas in which the maximum values of the current density in the brain model will be observed.

Key words: transcranial magnetic stimulation, therapeutic inductor, numerical simulation.

Электротехника, 2022, №3, стр. 35-40

Переходные и стационарные режимы работы источников питания для электротехнологических установок

БЛИНОВ К.Ю., БЛИНОВ Ю.И.

Рассматриваются нестационарные и периодические стационарные режимы работы источников питания (ИП). В первом случае решается начальная задача или задача Коши, во втором – краевая задача в классической постановке. Определены основные элементы силовых схем, которые приводят при анализе ИП к нелинейным системам дифференциальных уравнений и трудностям их решении. Показаны модели замещения

вентилей – диодов, тиристоров, транзисторов для различных базисов формирования систем уравнений – базиса переменных состояния и однородного базиса узловых потенциалов. Сформулированы условия получения системы нелинейных алгебраических уравнений для решения краевой задачи с целью обеспечения стационарных режимов работы ИП и последующего анализа устойчивости схем ИП. Предложено вводить в систему уравнений наряду с токами, напряжениями, потенциалами схемы также и заранее не известные времена коммутации вентилей. Приведены структуры матриц для решения краевых задач в упрощенном и предложенном подходах. Выполнено сравнение результатов решения начальной и краевой задач на примере расчета инвертора с удвоением частоты и диодами встречного тока, которое показало хорошую корреляцию обоих подходов.

Ключевые слова: электротехнологические установки, источники питания, нестационарный и стационарный режимы, задача Коши, краевая задача, модель вентилей, базис переменных состояния, однородный координатный базис.

Non-stationary and periodic stationary modes of operation of power supplies (IP) are considered. In the first case, the initial problem or the Cauchy problem is solved, in the second - the boundary value problem in the classical formulation. The main elements of power circuits that lead to nonlinear systems of differential equations and difficulties in solving them in the analysis of IP are determined. The models of substitution of gate – diodes, thyristors, transistors for various bases of formation of systems of equations – the basis of state variables and the homogeneous basis of nodal potentials are shown. The conditions for obtaining a system of nonlinear algebraic equations for solving a boundary value problem in order to ensure stationary modes of operation of the IP and subsequent analysis of the stability of the IP circuits are formulated. It is proposed to introduce into the system of equations, along with currents, voltages, potentials of the circuit, also unknown switching times of the valves. The structures of matrices for solving boundary value problems in the simplified and proposed approaches are given. The results of solving the initial and boundary value problems are compared using the example of calculating an inverter with frequency doubling and counter-current diodes, which showed a good correlation of both approaches.

Key words: electrotechnological installations, power supplies, non-stationary and stationary modes, Cauchy problem, boundary value problem, valve model, basis of state variables, homogeneous coordinate basis.

Применение нейронной сети управления следящими электроприводами движения нижних конечностей экзоскелета

КОЗЛОВА Л.П., БЕЛОВ М.П., ЧЬОНГ Д.Д.

Представлен алгоритм управления следящими электроприводами движения углового положения суставов нижних конечностей экзоскелета с применением нейронной сети для компенсации воздействий стохастических внешних возмущений, неопределенных параметров динамической модели и нелинейных элементов в виде трения и упругости. Способ управления с использованием нейронной сети, обладающий возможностями обучения и адаптации, позволяет по новому подойти к исследованию, а также позволяет адаптировать модель с любыми ошибками без информации о структуре нелинейного объекта. Построена математическая модель динамики движения экзоскелета (две ноги с пятью звеньями) с учетом нелинейных электроприводов. Результаты эксперимента получены для иллюстрации эффективности предложенной стратегии управления в программе MATLAB Simulink, в том числе по сравнению с обычным ПИД-регулятором.

Ключевые слова: экзоскелет, нейронная сеть, нелинейный электропривод, нижние конечности.

An algorithm is presented for controlling the tracking electric drives of the angular position of the joints of the lower extremities of the exoskeleton using a neural network to compensate for the effects of stochastic external disturbances, uncertain parameters of the dynamic model and nonlinear elements in the form of friction and elasticity. The control method using a neural network, which has learning and adaptation capabilities, allows a new approach to the study, and also allows you to adapt the model with any errors without information about the structure of a nonlinear object. A mathematical model of the dynamics of the exoskeleton movement (two legs with five links) is constructed taking into account nonlinear electric drives. The experimental results were obtained to illustrate the effectiveness of the proposed control strategy in the MATLAB Simulink program, including in comparison with a conventional PID controller.

Key words: exoskeleton, neural network, nonlinear electric drive, lower limbs.

Расчет токов короткого замыкания в судовых электроэнергетических системах с распределением электроэнергии на постоянном токе

ГРИГОРЬЕВ А.В., ВАСИЛЬЕВ А.Ю., МАЛЫШЕВ С.М.

Приведена методика расчета ударных токов короткого замыкания в судовых электроэнергетических системах с распределением электроэнергии на постоянном токе. В таких системах генерирование и потребление электроэнергии осуществляется на переменном токе, в то время как распределение – на постоянном токе. Действующие стандарты для расчетов токов короткого замыкания в системах постоянного и переменного тока в этом случае не могут быть использованы по ряду причин. В этих стандартах не учитываются специфические источники подпитки точек короткого замыкания и переменная частота вращения вентильных генераторов при различных режимах работы. Электрические двигатели переменного тока при питании от сети с распределением электроэнергии на постоянном токе через автономные инверторы осуществляют подпитку точки короткого замыкания на стороне постоянного тока. Конденсаторные и аккумуляторные батареи, подключенные к системе с распределением электроэнергии на постоянном токе, являются дополнительными источниками подпитки места короткого замыкания. В статье предложены элементы методики расчета токов короткого замыкания в судовых системах с распределением электроэнергии на постоянном токе, учитывающие все режимы эксплуатации и дополнительные источники подпитки точки короткого замыкания. Предложен способ определения максимального значения ударного тока в расчетной точке короткого замыкания судовой электроэнергетической системы.

Ключевые слова: судовые электроэнергетические системы, системы электродвижения, гребные электрические установки, полупроводниковые преобразователи, токи короткого замыкания, расчет.

The method of calculation of shock short-circuit currents in marine electric power systems with direct current distribution of electricity is given. In such systems, the generation and consumption of electricity is carried out on alternating current, while the distribution is carried out on direct current. The current standards for calculating short-circuit currents in DC and AC systems in this case cannot be used for a number of reasons. These standards do not take into account specific sources of short-circuit points recharge and variable rotational speed of valve generators in different operating modes. AC electric motors, when powered from the mains with direct current electricity distribution through autonomous inverters, supply the short circuit point on the DC side. Capacitor banks and accumulator batteries connected to a system with direct current power distribution are additional sources of recharge of the short circuit site. The article proposes elements of a methodology for calculating short-circuit currents in ship systems with direct current electricity distribution, taking into account all operating modes and additional

sources of short-circuit point recharge. A method is proposed for determining the maximum value of the shock current at the calculated short-circuit point of the ship's electric power system.

Key words: marine electric power systems, electric propulsion systems, rowing electrical installations, semiconductor converters, short-circuit currents, calculation.

Электротехника, 2022, №3, стр. 53-57

Типовая магнитная характеристика электрических машин

ГАЛУНИН С.А., СИТНИКОВ М.А., ЛОБОВИЧ А.З.

К недостаткам современных пакетов моделирования, таких как MATLAB Simulink, можно отнести невозможность расчета магнитной характеристики электрической машины на основе паспортных данных. Отсутствие этой функции негативно сказывается на точности модели в целом. В статье описан простой и эффективный метод расчета магнитной характеристики любой электрической машины на основе универсальной магнитной характеристики. Приведены результаты сравнительного анализа полученной методики, позволяющие судить о ее точности и достоверности.

Ключевые слова: электрические машины, магнитная характеристика, моделирование, MATLAB Simulink.

The disadvantages of modern modeling packages, such as MATLAB Simulink, include the inability to calculate the magnetic characteristics of an electric machine based on passport data. The absence of this function negatively affects the accuracy of the model as a whole. The article describes a simple and effective method for calculating the magnetic characteristic of any electric machine based on a universal magnetic characteristic. The results of a comparative analysis of the obtained methodology are presented, allowing us to judge its accuracy and reliability.

Key words: electric machines, magnetic characteristic, modeling, MATLAB Simulink.

Электротехника, 2022, №3, стр. 58-63

Исследование системы управления трёхфазным активным выпрямителем напряжения

ЛИЛЛО А.В., СКАКУН А.Д.

В пакете MATLAB Simulink рассмотрена модель трёхфазного промышленного активного выпрямителя напряжения с системой векторного управления. В этой системе

используется двухкоординатная ортогональная система координат, а также оригинальный блок выделения несущей частоты, построение которого основано на замене дифференцирования интегрированием и тригонометрическими преобразованиями, что положительно влияет при аппаратной реализации. Приведены результаты компьютерного моделирования, свидетельствующие о работоспособности синтезированной системы.

Ключевые слова: активный выпрямитель напряжения, система управления, векторное управление, MATLAB Simulink, ПИД-регулятор, преобразователь частоты.

In the MATLAB Simulink package, a model of a three-phase industrial active voltage rectifier with a vector control system is considered. This system uses a two-coordinate orthogonal coordinate system, as well as an original carrier frequency allocation unit, the construction of which is based on replacing differentiation with integration and trigonometric transformations, which has a positive effect on hardware implementation. The results of computer modeling are presented, indicating the operability of the synthesized system.

Key words: active voltage rectifier, control system, vector control, MATLAB Simulink, PID controller, frequency converter.

Электротехника, 2022, №3, стр.

Авторы номера

Электротехника, 2022, №3, стр. 66-66

Беспалов Виктор Яковлевич

(К 85-летию со дня рождения)

Электротехника, 2022, №3, стр. 67-67

Изяслав Борисович Пешков

(Некролог)

Электротехника, 2022, №3, стр. 68-69

Исаак Яковлевич Браславский

(Некролог)