

Содержание

Бездатчиковое управление синхронным двигателем с постоянными магнитами на основе прямой компенсации в контуре тока

СОЛОДКИЙ Е. М., САВЕНКО Д.О.

Статья посвящена разработке метода оценки углового положения ротора синхронного двигателя с постоянными магнитами. Рассмотрена векторная система управления с настройкой контура тока на желаемую передаточную функцию с линеаризацией и активным демпфированием. Описан адаптивный наблюдатель состояния, адаптивная модель которого получает сигналы с внутренних переменных регулятора тока векторной системы управления синхронного двигателя с постоянными магнитами. Описана специфика реализации бездатчиковых систем управления. Приведены результаты имитационного моделирования.

Ключевые слова: синхронный двигатель с постоянными магнитами, адаптивная модель, векторная система управления, наблюдатель состояния.

The paper is devoted to the development of an original method for estimating the permanent magnet synchronous motor rotor angular position. The study considers a vector control system with tuning of the current loop to the desired transfer function with linearization and active damping. An adaptive state observer whose adaptive model receives signals from the internal variables of the vector control system current regulator of permanent magnet synchronous motor is described. The specifics of sensorless control systems realization are described. The results of system simulation are given.

Key words: permanent magnet synchronous motor, adaptive model, vector control system, state observer.

Адаптация наблюдателя скользящего режима к изменяющимся условиям эксплуатации синхронного двигателя с постоянными магнитами

НИКУЛИН В.С., СТОРОЖЕВ С.А., ХИЖНЯКОВ Ю.Н., ЮЖАКОВ А.А.

Предложен алгоритм адаптации наблюдателя скользящего режима к изменяющимся условиям эксплуатации синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ). Проведена компьютерная апробация наблюдателя в составе системы автоматического управления (САУ) СДПМ с учетом изменяющейся нагрузки с помощью пакета прикладных программ MATLAB Simulink. Приведены результаты реализации САУ СДПМ. Результаты экспериментальных исследований подтверждают работоспособность адаптивного наблюдателя скользящего режима.

Ключевые слова: синхронный двигатель с постоянными магнитами, адаптивный наблюдатель скользящего режима, изменяющиеся условия эксплуатации, MATLAB Simulink.

An algorithm for adapting a sliding mode observer to the changing operating conditions of a permanent magnet synchronous motor (SDPM) is proposed. The computer testing of the observer as part of the automatic control system (ACS) of the SDPM, taking into account the changing load, was carried out using the MATLAB Simulink application software package. The results of the implementation of the ACS SDAM are presented. The results of experimental studies confirm the operability of the adaptive observer of the sliding mode.

Key words: synchronous motor with permanent magnets, adaptive sliding mode observer, changing operating conditions, MATLAB Simulink.

Электротехника, 2024, №11, стр. 13-18

Численное исследование температурных полей кабелей для подключения электродвигателей, управляемых преобразователем частоты, при различных способах прокладки

ШИШКИН Д.А., ЩЕРБИНИН А.Г., ТЕРЛЫЧ А.Е.

В нефтегазовой отрасли нашли широкое применение частотно-регулируемые электродвигатели с широтно-импульсной модуляцией, для подключения которых используются специальные экранированные кабели с расщепленной жилой заземления. Число таких кабелей в лотке буровых установок эшелонного типа может достигать двадцати. При плотной укладке кабелей, нагруженных номинальным током, температура токопроводящих жил может существенно превышать допустимые значения. Предложена математическая модель определения температурного поля таких кабелей при различных

способах их прокладки в условиях конвективного теплообмена с окружающей воздушной средой с учетом токовых нагрузок. Уравнения тепловой конвекции воздуха рассмотрены в приближении Буссинеска в двухмерной постановке. Поставленная задача решена методом конечных объемов с помощью программного комплекса ANSYS Fluent. Проведена верификация математической модели путем сравнения результатов численного и натурного экспериментов для одиночного кабеля, проложенного в воздушной среде при номинальном токе нагрузки. Исследован экспериментальный способ прокладки кабелей в три слоя; получено, что при таком расположении температура токопроводящих жил не превышает 90°C . Определены поправочные коэффициенты снижения токовой нагрузки кабелей для рассмотренных способов прокладки.

Ключевые слова: силовой экранированный кабель с расщепленной жилой заземления, частотно-регулируемый электродвигатель, температурное поле, токовая нагрузка кабелей, математическое моделирование, численные исследования.

In the oil and gas industry, frequency-controlled electric motors with pulse width modulation have been widely used, for which special shielded cables with a split grounding conductor are used. The number of such cables in the tray of tier-type drilling rigs can reach twenty. With dense laying of cables loaded with rated current, the temperature of the conductive conductors can significantly exceed the permissible values. A mathematical model is proposed for determining the temperature field of such cables with various methods of laying them under conditions of convective heat exchange with the surrounding air, taking into account current loads. The equations of thermal convection of air are considered in the Boussinesq approximation in a two-dimensional formulation. The problem was solved by the finite volume method using the ANSYS Fluent software package. The verification of the mathematical model was carried out by comparing the results of numerical and field experiments for a single cable laid in an air environment at rated load current. An experimental method of laying cables in three layers was investigated; it was found that with this arrangement, the temperature of the conductive cores does not exceed 90°C . Correction factors for reducing the current load of cables for the considered laying methods have been determined.

Key words: power shielded cable with split grounding core, frequency-controlled electric motor, temperature field, current load of cables, mathematical modeling, numerical studies.

Модернизация линейного двигателя с коротким ходом штока

ОПАРИН Д.А.

Представлены результаты модернизации конструкции короткоходового линейного двигателя. Предложен ряд конструктивных изменений, нацеленных на уменьшение габаритов двигателя, упрощение технологии изготовления и выбор наиболее распространенной системы управления. Приведены данные, подтверждающие сохранение необходимых параметров и расширение возможностей практического применения модернизированного двигателя. На основе полученных результатов определены дальнейшие пути совершенствования конструкции двигателя.

Ключевые слова цилиндрический линейный вентильный двигатель, линейный двигатель с коротким ходом штока, мембранный насос, проектирование.

The results of the modernization of the design of a short-stroke linear motor are presented. A number of design changes are proposed aimed at reducing the size of the engine, simplifying manufacturing technology and choosing the most common control system. The data confirming the preservation of the necessary parameters and the expansion of the possibilities of practical application of the upgraded engine are presented. Based on the results obtained, further ways to improve the design of motor are determined.

Key words: cylindrical linear valve motor, linear motor with short stroke, diaphragm pump, design.

Использование искусственной нейронной сети в электромеханической системе регулирования скорости двигателя постоянного тока

ШМИДТ И.А., ДАДЕНКОВ Д.А.

Рассмотрен синтез нейрорегулятора с обучением искусственной нейронной сети на модели объекта управления с подменой метода вычисления функции потерь. В качестве объекта управления рассмотрена электромеханическая система с двигателем постоянного тока. Определены гиперпараметры нейронной сети и критерии управления для синтеза регулятора угловой скорости двигателя. Для реализации нейрорегулятора используется библиотека глубокого обучения DeepLearning4j (DL4j) на языке Java. Выполнено обучение нейронной сети и представлены результаты моделирования системы

регулирования скорости, подтверждающие работоспособность нейрорегулятора. Обученный на одной заданной последовательности, нейрорегулятор тестировался и на других последовательностях; качество регулирования при этом не снижалось. Для проверки возможности применения регулятора в реальных условиях на измеренное состояние объекта управления накладывался случайный шум, при этом регулятор, обученный на модели без шума, успешно справляется с регулированием скорости и на зашумленном объекте управления. Предложенный подход предоставляет разработчику практически неограниченные возможности по тонкой настройке регулятора под требуемое качество переходных процессов. В отличие от традиционных регуляторов, нейрорегулятор обладает также предикативными свойствами и превентивно выдает управляющее воздействие, предотвращающее появление ошибки.

Ключевые слова: электромеханическая система, двигатель постоянного тока, искусственная нейронная сеть, нейрорегулятор, модель объекта управления, функция потерь.

The synthesis of a neuroregulator with training of an artificial neural network on a model of a control object with substitution of the method of calculating the loss function is considered. An electromechanical system with a DC motor is considered as an object of control.

Hyperparameters of the neural network and control criteria for the synthesis of the angular velocity regulator of the engine are determined. The deep learning library DeepLearning4j (DL4j) in Java is used to implement the neuroregulator. The training of the neural network was performed and the results of modeling the speed control system were presented, confirming the operability of the neuroregulator. Trained on one set sequence, the neuroregulator was tested on other sequences; the quality of regulation did not decrease. To test the possibility of using the controller in real conditions, random noise was superimposed on the measured state of the control object, while the controller, trained on a noise-free model, successfully copes with speed control on a noisy control object. The proposed approach provides the developer with almost unlimited possibilities for fine-tuning the regulator to the required quality of transients. Unlike traditional regulators, the neuroregulator also has predicative properties and proactively issues a control action that prevents the occurrence of an error.

Key words: electromechanical system, DC motor, artificial neural network, neuroregulator, control object model, loss function.

Определение токовых нагрузок кабельных линий, проложенных в земле и пересекающих внешние источники тепла, с помощью математического моделирования процессов стационарной теплопроводности

ЩЕРБИНИН А.Г., СКРЯБИН А.А., НЕДЮДИНА Е.П., СУББОТИН Е.В.

На пропускную способность силовых кабельных линий в городской черте существенное влияние оказывают рядом расположенные кабельные линии, кабельные блоки, теплотрассы и прочие внешние источники теплового воздействия, которые могут быть проложены как параллельно, так и под углом к кабельной линии. Наиболее эффективным и универсальным способом определения номинальных токовых нагрузок в этом случае является математическое моделирование с помощью современных программных комплексов. В статье выполнено исследование стационарной теплопроводности силовой кабельной линии, проложенной в массиве земли с внешним источником теплового воздействия, который расположен перпендикулярно или параллельно кабельной линии. Задача решалась в трехмерной постановке. Кабельная линия, проложенная в горизонтальной плоскости в однородном массиве земли на глубине 1,2 м, состоит из трех одножильных кабелей на напряжение 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Внешним источником тепла является однородное цилиндрическое тело. При построении геометрической модели слои поверх токопроводящей жилы заменены эквивалентным слоем, у которого коэффициент теплопроводности определен с учетом геометрии, коэффициентов теплопроводности основных элементов конструкции, а также тепловых потерь в экране. Поставленная задача решена с помощью программного комплекса Ansys. Исследовано влияние внешнего источника теплового воздействия на снижение номинальной токовой нагрузки и увеличение температуры кабеля при заданном токе.

Ключевые слова: силовая кабельная линия; номинальная токовая нагрузка; внешний источник тепла; математическое моделирование.

The capacity of power cable lines in the urban area is significantly influenced by nearby cable lines, cable blocks, heating mains and other external sources of thermal influence, which can be laid both parallel and at an angle to the cable line. The most effective and universal way to determine the rated current loads in this case is mathematical modeling using modern software systems. The article studies the stationary thermal conductivity of a power cable line laid in an earth massif with an external source of thermal influence, which is located perpendicular or parallel to the cable line. The problem was solved in a three-dimensional setting. The cable line, laid in a horizontal plane in a homogeneous mass of earth at a depth of 1.2 m, consists of three

single-core cables with a voltage of 10 kV with insulation made of cross-linked polyethylene. The external heat source is a homogeneous cylindrical body. When constructing a geometric model, the layers on top of the conductive core are replaced by an equivalent layer, in which the thermal conductivity coefficient is determined taking into account the geometry, thermal conductivity coefficients of the main structural elements, as well as thermal losses in the screen. The task was solved using the Ansys software package. The influence of an external heat source on the reduction of the rated current load and an increase in cable temperature at a given current is investigated.

Key words: power cable line; rated current load; external heat source; mathematical modeling.

Электротехника, 2024, №11, стр. 38-42

Малогабаритный линейный двигатель с гибким вторичным элементом

ПЛЮСНИН А.П., ОПАРИН Д.А.

Рассмотрены возможные варианты конструкции линейного двигателя с гибким вторичным элементом. Анализ конструкций осуществлялся путём моделирования в Ansys Maxwell. Проведено сравнение результатов моделирования, выявлен наиболее перспективный вариант конструкции.

Ключевые слова: цилиндрический линейный двигатель, малогабаритный линейный двигатель, гибкий вторичный элемент, моделирование.

Possible design options for a linear motor with a flexible secondary element are considered. The analysis of the structures was carried out by modeling in Ansys Maxwell. The simulation results were compared, and the most promising design option was identified.

Key words: cylindrical linear motor, small linear motor, flexible secondary element, modeling.

Электротехника, 2024, №11, стр. 43-51

Определение параметров оборудования нефтедобывающей скважины в условиях информационной неопределенности

ПЕТРОЧЕНКОВ А.Б., СЕМЕНОВ А.С., БАРТОВА Е.С.

Представлен метод определения параметров оборудования нефтедобывающего предприятия в условиях информационной неопределенности на основе кластерного анализа с применением метода K -средних. Кластерный анализ выполняется на базе выявления внутренних структур и закономерностей по данным установленного

электрооборудования. Исходя из этого, подбираются наиболее вероятные значения недостаточных параметров оборудования. На основе результатов кластерного анализа сформирован алгоритм определения параметров электро- и электромеханического оборудования установок электроприводного центробежного насоса с учетом факторов, которые влияют на ключевой параметр неизвестного оборудования. Разработанный метод позволит косвенно оценить энергетическую эффективность в любом режиме работы оборудования участков механизированной добычи нефти.

Ключевые слова: нефтедобывающая скважина, энергетическая эффективность, метод кластерного анализа, информационная неопределенность.

A method for determining the parameters of the equipment of an oil-producing enterprise in conditions of information uncertainty based on cluster analysis using the K-means method is presented. Cluster analysis is performed based on the identification of internal structures and patterns based on the data of installed electrical equipment. Based on this, the most likely values of insufficient equipment parameters are selected. Based on the results of the cluster analysis, an algorithm has been formed for determining the parameters of the electro- and electromechanical equipment of electric drive centrifugal pump installations, taking into account factors that affect the key parameter of unknown equipment. The developed method will make it possible to indirectly assess the energy efficiency in any mode of operation of equipment for mechanized oil production sites.

Key words: oil well, energy efficiency, cluster analysis method, information uncertainty.

Электротехника, 2024, №11, стр. 52-55

К оценке ударного тока мощного синхронного генератора по результатам опыта внезапного короткого замыкания

СУДАКОВ А.И., ЗИЯТДИНОВ И.Р., ФАЛАЛЕЕВ Д.В.

Стендовые испытания являются важной составляющей производства синхронных машин. В отечественных стандартах приемочные и приемо-сдаточные испытания включают важный опыт внезапного короткого замыкания. Основным методом получения параметров синхронных машин в соответствии с отечественными и зарубежными стандартами является графоаналитический метод. В статье предложен метод оценки фазных ударных токов по результатам осциллографирования переходных процессов в

опытах внезапного короткого замыкания. В соответствии с этим методом результирующий ударный ток определяется векторно-символическим способом с использованием фазных ударных токов. Выполнен сравнительный анализ этих двух методов.

Ключевые слова: синхронные турбомашин, переходный процесс, ударный ток, внезапное короткое замыкание.

Bench tests are an important component of the production of synchronous machines. In domestic standards, acceptance and acceptance tests include an important experience of sudden short circuit. The main method of obtaining the parameters of synchronous machines in accordance with domestic and foreign standards is the graphoanalytic method. The article proposes a method for estimating phase shock currents based on the results of oscillography of transients in experiments of sudden short circuit. According to this method, the resulting shock current is determined in a vector-symbolic way using phase shock currents. A comparative analysis of these two methods has been performed.

Key words: synchronous turbomachines, transient, shock current, sudden short circuit.

Электротехника, 2024, №11, стр. 56-60

Анализ температуры кабельных линий при распределении электроэнергии в условиях изменения нагрузки

КУХАРЧУК И.Б., ТРУФАНОВА Н.М.

В условиях постоянного роста потребления электроэнергии, уплотнения подземных кабельных коммуникаций, увеличения стоимости кабельной продукции при проектировании и эксплуатации кабельных линий характерно стремление к увеличению эффективности распределения электроэнергии. Определение длительно допустимого тока кабельной линии на основе анализа температуры кабеля с учетом неравномерной загрузки всего блока позволяет увеличить передаваемую мощность, сократив необходимость в строительстве новых линий. Увеличения эффективности кабельных линий при аварийном росте потребления электроэнергии также можно достичь заменой полного отключения линий частичным снижением нагрузки, однако для определения управляющих воздействий по регулированию нагрузочного режима требуется анализ большого количества вариантов комбинаций рабочих токов и соответствующих им температурных полей. С этой целью был разработан программный комплекс, позволяющий рассчитывать

большое количество вариантов нагрузки кабельных линий и выбирать из них оптимальный. Разработанная программа может использоваться для кабельных блоков с любым количеством линий, программа не требует больших ресурсных и временных затрат, что важно при использовании её в режиме реального времени и обслуживании существующих кабельных сооружений. Оптимальный режим выбирается из условия сохранения рабочей температуры изоляции кабелей в допустимых пределах и максимально возможного значения передаваемой по линиям мощности.

Ключевые слова: кабельные линии, кабельный блок, неравномерная загрузка, температура изоляции кабеля, длительно допустимый ток, программный комплекс.

In conditions of constant growth in electricity consumption, compaction of underground cable communications, and an increase in the cost of cable products, the desire to increase the efficiency of electricity distribution is characteristic in the design and operation of cable lines. Determining the long-term permissible current of a cable line based on an analysis of cable temperature, taking into account the uneven loading of the entire unit, allows you to increase the transmitted power, reducing the need for the construction of new lines. An increase in the efficiency of cable lines with an emergency increase in electricity consumption can also be achieved by replacing the complete shutdown of lines with a partial reduction in load, however, to determine the control actions for regulating the load regime, an analysis of a large number of combinations of operating currents and their corresponding temperature fields is required. For this purpose, a software package has been developed that allows you to calculate a large number of load options for cable lines and choose the optimal one. The developed program can be used for cable blocks with any number of lines, the program does not require large resource and time costs, which is important when using it in real time and maintaining existing cable structures. The optimal mode is selected from the condition of maintaining the operating temperature of the cable insulation within acceptable limits and the maximum possible value of the power transmitted over the lines.

Key words: cable lines, cable block, uneven loading, cable insulation temperature, long-term permissible current, software package.

Электротехника, 2024, №11, стр. 61-62

Авторы номера