

ИСТОРИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ НАУЧНОГО И ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

В.Б. Демидович

Показана эволюция научного и инженерного образования в СССР, США, Российской Федерации и ее связь с развитием технологий индукционного нагрева. Рассмотрены три периода в развитии и трансформации высшего образования в области индукционного нагрева на примере СПбГЭТУ (ЛЭТИ). Были разработаны междисциплинарные образовательные программы, которые включали предметы, связанные как с электротехникой и электроникой, так и теплофизикой и металловедением, что обеспечивало широкий кругозор и высокую квалификацию выпускников. Наряду с работой на стыке наук залогом успеха школы ЛЭТИ являлась глубокая связь науки и практики, которая строилась как цепочка «университет (вуз) – отраслевой институт – промышленные предприятия». Дается прогноз на сохранение в СПбГЭТУ (ЛЭТИ) ведущего положения научного и инженерного образования в области техники и технологий индукционного нагрева.

Ключевые слова: индукционный нагрев, высшее образование, междисциплинарные образовательные программы

HISTORY AND TRANSFORMATION OF SCIENCE AND ENGINEERING EDUCATION IN THE AREA OF INDUCTION HEATING TECHNOLOGY

V.B. Demidovich

The paper analyses the evolution of scientific and engineering education in the USSR, the USA, and the Russian Federation and its interconnection with the development of induction heating technology. Three periods in the development and transformation of higher education in the area of induction heating are considered based on the example of St. Petersburg Electrotechnical University (LETI). The designed interdisciplinary educational programs included the subjects related to electrical engineering and electronics, as well as thermal physics and metal science, which ensured a broad outlook and high qualification of the graduates. Alongside with the interdisciplinary research, the key to success of the LETI school was based on a deep interconnection between science and practice that presented a block chain, including "a university (higher educational institution) – a sectoral research institute – industrial enterprises". The author forecasts that LETI will maintain its leading position as a center for science and engineering education in the area of induction heating technology.

Keywords: induction heating, higher education, interdisciplinary educational programs

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИНДУКТОРА С ЗАГРУЗКОЙ В ВИДЕ СТАЛЬНЫХ ШАРОВ

В.Э. Фризен, А.С. Антипин, И.В. Черных

В статье изложена предлагаемая методика расчета электрических и энергетических параметров индуктора с дисперсной загрузкой в виде совокупности стальных шаров одинакового диаметра при отсутствии электрического контакта между ними. Единичная стальная сфера представлена в виде совокупности дисковых сегментов. С помощью численной модели определено распределение напряженности магнитного поля по поверхности шара, определена зависимость распределения объемной мощности тепловыделения по сечению шара. Произведено сравнение полученных распределений параметров сплошной и сегментированной сферы, определен коэффициент, учитывающий изменение интегральных электрических параметров при представлении сферы в виде отдельных сегментов. В статье приведены также результаты экспериментальных исследований по определению электрических параметров индуктора с загрузкой в виде стальных шаров при фиксированной температуре. Произведено сравнение результатов измерений с результатами, полученными при моделировании.

Ключевые слова: индукционный нагрев, дисперсная загрузка, электромагнитное поле в проводящей сфере, ферромагнитный материал, стальной шар

ELECTRICAL AND ENERGY PARAMETERS OF AN INDUCTOR LOADED WITH STEEL BALLS

V.E. Frizen, A.S. Antipin, I.V. Chernykh

The article presents a method for calculating electrical and energy parameters of an inductor with dispersed loading in the form of a set of steel balls of the same diameter in the absence of electrical contact between them. A single steel sphere is represented as a set of disk segments. A numerical model is used to determine distribution of the magnetic field strength over the surface of the ball and dependence of the distribution of the volumetric power of heat release over the cross section of the ball. The obtained distributions of the parameters for the solid and segmented spheres have been compared, and a coefficient has been determined which takes into account the changes in the integral electrical parameters when the sphere is represented as separate segments. The article also presents the results of experimental studies which can be used to determine electrical parameters of an inductor loaded with steel balls at a fixed temperature. The measurement results have been compared with the results obtained during the simulation procedure.

Keywords: induction heating, dispersed loading, electromagnetic field in the conducting sphere, ferromagnetic material, steel ball

БЫСТРЫЙ МЕТОД ПОЛНОЙ ДЕКОНТАМИНАЦИИ В СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.Б. Байбурин, М.И. Балакин, В.В. Комаров, И.О. Лунева, А.А. Никифоров, В.П. Мещанов
Приведена конструкция СВЧ устройства для стерилизации медицинских инструментов сложной формы. Рассмотрены результаты испытаний экспериментального образца стерилизатора на основе технологии применения электромагнитных полей СВЧ-излучения. Тесты проводились для типовых медицинских инструментов.

Ключевые слова: СВЧ-излучение, медицинские инструменты, стерилизация

A RAPID TECHNIQUE FOR COMPLETE DECONTAMINATION IN THE MICROWAVE ELECTROMAGNETIC FIELD

V.B. Bayburin, M.I. Balakin, V.V. Komarov, I.O. Luneva, A.A. Nikiforov, V.P. Meshchanov

The presented design for microwave devices can be used in sterilization of medical instruments with complex shape. The test results of an experimental sterilizer based on the technology of electromagnetic fields of micro-wave radiation are considered. The tests were carried out for standard medical instruments.

Keywords: microwave radiation, medical instruments, sterilization

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МЕЖДУ ПРОЕКТИРУЕМЫМИ МИКРОГРИД

Е.Е. Миргородская, Н.П. Митяшин, Ю.Б. Томашевский, С.Ф. Степанов, М.Н. Тимофеев

В статье приведена методика и реализующий ее алгоритм для определения оптимального распределения потребителей электроэнергии между проектируемыми автономными системами электроснабжения на основе источников генерации, получающих возобновляемую первичную энергию разной физической природы. Представлен пример решения задачи оптимального распределения 21 потребителя электроэнергии между 3 проектируемыми автономными системами электроснабжения с помощью разработанного алгоритма. Результаты работы могут быть полезны при определении оптимального расположения гибких автономных систем электроснабжения.

Ключевые слова: автономная система электроснабжения, возобновляемая энергия, оптимизация, стоимость линии электропередачи, задача о назначении, алгоритм, мощность

DETERMINATION OF OPTIMAL ALLOCATION OF ELECTRICITY CONSUMERS BETWEEN THE DESIGNED MICROGRIDS

E.E. Mirgorodskaya, N.P. Mityashin, Yu.B. Tomashevskiy, S.F. Stepanov, M.N. Timofeev

The paper presents a methodology and an algorithm developed to determine an optimal allocation of electricity consumers between the designed autonomous power supply systems based on the generation sources receiving primary renewable energy different in physical nature. The authors present an example of solving the problem related with optimal allocation of twenty one electricity consumers between three designed autonomous power supply systems using the developed algorithm. The results of research can be used in defining the optimal allocation of flexible autonomous power supply systems.

Keywords: autonomous power supply system, renewable energy, optimization, trans-mission line cost, assignment problem, algorithm, power

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СИЛА ОДНОСТОРОННЕГО ПРИТЯЖЕНИЯ РОТОРА К СТАТОРУ АВТОМОБИЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ

В.Н. Козловский, А.С. Саксонов

В работе приводятся результаты исследования влияния электромагнитной силы одностороннего притяжения ротора к статору, возникающей как следствие асимметрии магнитной цепи электромеханического преобразователя на вероятность отказа автомобильной генератор-ной установки.

Ключевые слова: автомобильная генераторная установка, несоосность, асимметрия магнитной цепи

ELECTROMAGNETIC FORCE OF UNILATERAL ATTRACTION OF A ROTOR TO A STATOR IN AN AUTOMOBILE GENERATOR AS A FACTOR DETERMINING ITS OPERATIONAL RELIABILITY

V.N. Kozlovskiy, A.S. Saksonov

The paper presents the results of research into the influence of electromagnetic force of unilateral attraction of a rotor to a stator which can be a consequence of asymmetry of the magnetic circuit of an electromechanical converter to the probability of failure of an automotive generator set.

Keywords: automotive generator set, misalignment, asymmetry of the magnetic circuit

НОВАЯ ТОПОЛОГИЯ ПОДСТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОЙ УСТАНОВКИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

С.В. Молот, Е.К. Пыльская, А.И. Земцов

Оснащение установок охлаждения газа частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов приводит к необходимости решения проблемы электромагнитной совместимости в системе электроснабжения компрессорной станции. В статье рассмотрены варианты решения этой проблемы, предложена и исследована схема подстанции, которая может быть применена при создании новых объектов магистрального транспорта и хранения газа.

Ключевые слова: система электроснабжения, подстанция, охлаждение газа, частотно-регулируемый электропривод, качество электроэнергии, имитационное моделирование

ADVANCED SUBSTATION TOPOLOGY FOR POWER SUPPLY OF A FREQUENCY CONTROLLED GAS COOLING UNIT

S.V. Molot, E.K. Pylskaya, A.I. Zemtsov

Equipment of gas cooling units with fans controlled by variable frequency drives leads to the need to solve the problem of electro-magnetic compatibility in the power supply system of a compressor station. The article considers solutions to the problem, including a substation scheme that can be used to create new facilities for trunk transport and gas storage.

Keywords: power supply system, substation, gas cooling, variable frequency drive, power quality, simulation

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

И.Ю. Рожнов

Предложен вариант системы автономного электроснабжения на базе газотурбинной установки с синхронным генератором на постоянных магнитах и преобразователем частоты для стабилизации выходного напряжения и частоты. Для исследования переходных процессов в системе электроснабжения построена имитационная модель в среде MATLAB с пакетом расширения Simulink. Приведены результаты исследования при изменении нагрузки и скорости вращения приводного вала генератора.

Ключевые слова: газотурбинная установка, система электроснабжения, синхронный генератор на постоянных магнитах, преобразователь частоты, имитационное моделирование

INVESTIGATING TRANSIENT PROCESSES IN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS BASED ON PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATORS

I.Yu. Rozhnov

A variant to an autonomous power supply system based on a gas turbine plant with a permanent magnet synchronous generator and a frequency converter for stabilizing the output voltage and frequency is proposed. To study transient processes in the power supply system, a simulation model was built in the MATLAB environment with the Simulink extension package. The results of research are given with a change in the load and rotation speed of the generator drive shaft.

Keywords: gas turbine compressor, power supply system, permanent magnets synchronous generator, frequency convertor, simulation

СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОЛНОПРИВОДНОГО АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

М.Е. Вильбергер, Н.С. Попов, Е.А. Домахин, М.Е. Мосин, В.И. Аниброев

На сегодняшний день наблюдается активный этап развития передовых энергосберегающих технологий в области автомобилестроения, в связи с чем, все большую популярность приобретают электромобили. Основными конструктивными составляющими электромобиля являются: аккумуляторная батарея, электрический двигатель, инвертор и система управления.

Одним из главных показателей эффективности автономного электрического транспорта является запас хода, увеличение которого можно добиться за счет снижения массы транспортного средства. В классических автомобилях крутящий момент от двигателя внутреннего сгорания передается на колеса посредством трансмиссии. В электромобилях за счет использования мотор-колес отпадает необходимость в трансмиссии, что существенно облегчает вес конструкции, а также снижаются затраты на обслуживание и ремонт. В статье рассмотрен вопрос распределения мощности двигателей автономного электрического транспортного средства на базе четырех мотор-колес. Также получено математическое описание электронного дифференциала для электромобиля на базе двух и четырёх мотор-колес по принципу управления Аккермана. В программном пакете MATLAB/Simulink проведено цифровое моделирование системы полноприводного электромобиля. Получены переходные процессы по скорости вращения вала двигателя и по моменту на валу двигателя, которые удовлетворяют предъявляемым к системе требованиям по перерегулированию и быстродействию.

Ключевые слова: электромобиль, мотор-колесо, электронный дифференциал, компоновка тяговой системы, математическое описание

AN ENGINE POWER DISTRIBUTION SYSTEM FOR ALL-WHEEL DRIVE AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLES

M.E. Vilberger, N.S. Popov, E.A. Domakhin, M.E. Mosin, V.I. Anibroev

To date, there is an active stage of development of advanced energy-saving technologies in the automotive industry, and therefore, electric vehicles are becoming increasingly popular. The main structural components of an electric vehicle are: a battery, an electric motor, an inverter and a control system.

One of the main indicators of the efficiency of autonomous electric transport is the power reserve, which can be increased by reducing the weight of the vehicle. In classic cars, the torque from the internal combustion engine is transmitted to the wheels via the transmission. In electric vehicles, due to the use of motor wheels, there is no need for a transmission, which significantly reduces the weight of the structure, as well as reduces maintenance and repair costs. The article deals with the issue of power distribution of the engines of an autonomous electric vehicle based on four motor wheels. A mathematical description of the electronic differential for an electric vehicle based on two and four motor wheels based on the Ackerman control principle is also obtained. In the MATLAB/Simulink software package, the all-wheel-drive electric vehicle system was digitally modeled. Transients are obtained in terms of the speed of rotation of the motor shaft and the torque on the motor shaft, which meet the requirements for the system for re-regulation and speed.

Keywords: electric car, motor-wheel, electronic differential, traction system layout, mathematical description

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА ОДНОКОНТУРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

А.В. Старилов, Е.В. Стрижакова, О.С. Беляева, Д.Ю. Рокало

Рассмотрен одноконтурный электропривод стабилизации скорости асинхронного двигателя со скалярным управлением. Разработана методика выбора параметров регулятора, обеспечивающего повышение быстродействия одноконтурного электропривода с асинхронным исполнительным двигателем. Методика включает в себя расчет параметров схемы замещения и моделирование асинхронного двигателя, определение начальных условий потокоцеплений, расчет уточненной передаточной функции двигателя, анализ корней ее числителя и знаменателя, вычисление коэффициентов передачи и постоянных времени элементов одноконтурного электропривода стабилизации скорости. Представлены аналитические зависимости для расчета параметров пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора скорости, полученные на основе анализа корней числителя и знаменателя уточненной передаточной функции асинхронного двигателя при скалярном управлении. Приведен пример расчета параметров регулятора скорости одноконтурного электропривода со скалярным управлением для конкретного типа асинхронного двигателя и частотного преобразователя.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, одноконтурный электропривод, регулятор, скалярное управление, параметрический синтез

PARAMETER SELECTION METHODOLOGY TO A SINGLE-LOOP ELECTRIC DRIVE CONTROLLER FOR SPEED STABILIZATION OF AN INDUCTION MOTOR WITH SCALAR CONTROL

A.V. Starikov, E.V. Strizhakova, O.S. Belyaeva, D.Yu. Rokalo

A single-loop electric drive for stabilizing the speed of an induction motor with scalar control is considered. A method for selecting parameters of the controller that provides an increase in the speed of a single-loop electric drive with an induction motor has been developed. The method enables calculation of the parameters of the equivalent circuit and simulation of the induction motor, de-termination of initial conditions of the flux linkages, calculation of the refined transfer function of the motor, analysis of the roots of its numerator and denominator, calculation of the transfer coefficients and time constants to the elements of a single-loop electric drive for speed stabilization. Analytical dependencies are presented for calculating the parameters of the

proportional-integral-differential speed controller, obtained on the basis of analysis of the roots of the numerator and denominator of the refined transfer function of an induction motor with scalar control. An example of calculating parameters of the speed controller of a single-loop electric drive with scalar control for a specific type of an induction motor and frequency converter is given.

Keywords: induction motor, single-loop electric drive, controller, scalar control, parametric synthesis

АДАПТИВНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, РЕАГИРУЮЩАЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

О.О. Ахмедова, А.Г. Сошинов, П.В. Дикарев

Параметры воздушных линий электропередачи используются алгоритмами многих устройств релейной защиты и автоматики, их правильное определение необходимо для обеспечения корректного функционирования систем релейной защиты и автоматики. При анализе линий электропередачи используются табличные приближенные значения продольных и поперечных параметров в схемах замещения, хотя решение задач в неупрощенном виде приводит к существенным уточнениям известных решений.

В данной работе описаны математические модели воздушной линии электропередачи для связи внешних климатических факторов и значений тока уставки системы релейной защиты. Разработан многопараметрический алгоритм функционирования релейной защиты с адаптивной уставкой, который основан на вычислении токов короткого замыкания на основе данных получаемых непосредственно от датчиков, установленных на воздушной линии электропередачи, и от трансформаторов тока. В соответствии с алгоритмом производится расчет несимметричных токов короткого замыкания и токов срабатывания защит. В случае аварийной ситуации ток, проходящий по устройству, сравнивается с током срабатывания для данного вида повреждения, вид короткого замыкания определяется путем опроса трансформаторов тока.

Ключевые слова: релейная защита, ток уставки, адаптивная уставка, продольные и поперечные параметры воздушной линии электропередачи, алгоритм функционирования релейной защиты

AN ADAPTIVE INFORMATION CONTROL SYSTEM OF RELAY PROTECTION, RESPONDING TO EFFECTS OF CLIMATE CHANGE

O.O. Akhmedova, A.G. Soshinov, P.V. Dikarev

Parameters of overhead power transmission lines are used for the algorithms of numerous relay protection and automation de-vices, whereas their precise determination is necessary to ensure correct operation of relay protection and automation systems. In the analysis of power transmission lines, tabular approximate values of longitudinal and transverse parameters are used in substitution schemes, although an unsimplified way of solving the problems leads to sufficient elaboration of the known solutions.

This paper describes mathematical models for overhead power transmission lines used in coupling external climatic factors and values of the setpoint current of the relay protection system. A multiparametric algorithm for the operation of relay protection with an adaptive setpoint has been developed, which is based on calculation of short-circuit currents based on the data received directly from the sensors installed on overhead power lines and current transformers. In accordance with the algorithm, calculation of asymmetric short-circuit currents and protection actuation currents is performed. In case of an emergency, the current passing through the device is compared with the tripping current for a given type of fault, and the type of short circuit is determined by recording the data from the current transformers.

Keywords: relay protection, setpoint current, adaptive setpoint, longitudinal and transverse parameters of an overhead power line, the algorithm of relay protection functioning

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВОГО СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ИНКОРПОРИРОВАННЫМИ В РОТОР МАГНИТАМИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Интенсивное развитие электротранспорта вызывает необходимость разработки и исследования высокоэффективных тяговых электродвигателей с повышенными удельными показателями, способных обеспечить в электромобиле режимы разгона, движения, реверса, электроторможения с рекуперацией энергии при работе в затрудненных условиях эксплуатации и широком температурном диапазоне. Показано, что в качестве тягового электродвигателя электромобиля целесообразно применение синхронных двигателей с инкорпорированными в ротор постоянными магнитами. Высокая стоимость магнитов вызывает необходимость применения рациональных размеров, формы и размещения магнитов. Модернизирована аналитическая методика проектных расчетов и определения характеристик таких электродвигателей. Выявлено, что при расчете угловых моментных характеристик тяговых синхронных двигателей с постоянными магнитами для электромобилей необходим учет тормозных электромагнитного и реактивного моментов. Приведены показатели разработанного тягового электродвигателя для электромобиля мощностью 30 кВт, угловые и рабочие характеристики. Выполнено численное моделирование электромагнитных полей двигателя, которое подтвердило корректность разработки конструкции и удовлетворительные пусковые свойства двигателя.

Ключевые слова: электромобиль, тяговый электродвигатель, синхронный двигатель с постоянными магнитами, разработка, конструкция ротора, электромагнитный анализ

Ю.Б. Казаков, А.В. Стулов, М.И. Никифоров, М.А. Киселев

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A TRACTION SYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR WITH MAGNETS INCORPORATED IN THE ROTOR FOR AN ELECTRIC VEHICLE

Yu.B. Kazakov, A.V. Stulov, M.I. Nikiforov, M.A. Kiselev

Intensive development of electric transport requires research and development of highly efficient traction motors with improved specific performance, capable of providing acceleration, movement, reverse and electric braking modes with energy recovery during operation under hard-to-operate conditions and a wide temperature range. It is shown that it is expedient to use synchronous motors with permanent magnets embedded into the rotor as traction motors of electric vehicles. High cost of magnets requires the use of rationally sized, shaped and placed magnets. Analytical methodology for design calculations and characterization of such electric motors has been modernized.

It has been revealed that when calculating the angular momentum characteristics of traction synchronous motors with permanent magnets for electric vehicles, it is necessary to take into account the braking electromagnetic and reactive torques. Characteristics of the developed traction motor for an electric vehicle with the power of 30 kW, angular and performance characteristics are given. Numerical modeling of electromagnetic fields of the engine was performed, which confirmed correctness of the developed design and satisfactory starting properties of the engine.

Keywords: electric vehicle, traction motor, permanent magnet synchronous motor, development, rotor design, electromagnetic analysis