

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ТИТАНОВЫХ ЗАГОТОВОК ПЕРЕД ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Ю.Ю. Перевалов, О.В. Демидович

В статье обсуждаются проблемы цифровизации технологий прецизионного индукционного нагрева заготовок из сплавов цветных металлов, таких как титан, цирконий, ниобий, тантал и некоторых других. Индукционный нагрев цветных сплавов имеет некоторые особенности, которые необходимо принимать во внимание при разработке такого оборудования. Низкая теплопроводность и высокие температурные потери с поверхности приводят к тому, что внутри заготовки достигается наибольшая температура, которая не может быть измерена при помощи пирометров. Но в то же время прецизионный нагрев с высокой степенью однородности температурного поля имеет существенное значение для термической обработки сплавов немагнитных металлов перед пластической деформацией. Численное моделирование является неотъемлемой частью цифровизации проектирования оборудования, разработки технологии и систем управления индукционным нагревом.

Ключевые слова: индукционный нагрев, цифровой двойник, оптимальное проектирование и управление, пластическая обработка титановых заготовок

DIGITALIZATION OF INDUCTION HEATING TECHNOLOGIES OF TITANIUM BILLETS BEFORE PLASTIC PROCESSING

Yu.Yu. Perevalov, O.V. Demidovich

The article discusses digitalization problems relating the technology of precision induction heating of workpieces from non-ferrous metal alloys such as titanium, zirconium, niobium, tantalum and several others. Induction heating of non-ferrous alloys has some features that must be taken into account when developing such equipment. Low thermal conductivity and high temperature losses from the surface result in the highest temperature being reached inside the workpiece, which cannot be measured with pyrometers. However, precision heating with a high degree of homogeneity of the temperature field is essential for heat treatment of non-magnetic metal alloys before plastic deformation. Numerical modeling is an integral part of equipment design, technology development and induction heating control systems.

Keywords: induction heating, digital twin, optimal design and control, shaping titanium blanks

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОЙ СЕРДЦЕВИНЫ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГОСЯ АЛЮМИНИЕВОГО СЛИТКА

М.Ю. Кучинский, М.В. Первухин, Э.Р. Винтер, С.П. Тимофеев

Статья посвящена моделированию электромагнитных, тепловых и гидродинамических процессов в системе «индуктор-слиток» при непрерывном литье алюминиевых слитков в кристаллизатор скольжения. Проведены исследования различных технологических режимов электромагнитного перемешивания, определены параметры питания индуктора, обеспечивающие создание интенсивных гидродинамических течений в области жидкой сердцевинки слитка. Сопоставлены результаты математического и физического моделирования, получены графики зависимостей, подтверждающие достоверность математической модели.

Ключевые слова: электромагнитное перемешивание, математическое моделирование, физическое моделирование, алюминиевые сплавы, кристаллизатор скольжения

INVESTIGATING TECHNOLOGICAL MODES OF ELECTROMAGNETIC STIRRING OF LIQUID CORES IN CRYSTALLIZING ALUMINUM INGOTS

M.Yu. Kuchinskii, M.V. Pervukhin, E.R. Vinter, S.P. Timofeev

The article is devoted to modeling electromagnetic, thermal and hydrodynamic processes in the “inductor-ingot” system during continuous casting of aluminum ingots into direct chill molds. Investigation of various technological modes of electromagnetic stirring have been carried out and inductor power supply parameters, which ensure intense hydrodynamic flows in the liquid core of an ingot, have been determined. The results of mathematical and physical modeling are compared and dependence diagrams confirming reliability of the mathematical model are obtained

Keywords: electromagnetic stirring, mathematical modeling, physical modeling, aluminum alloys, direct chill mold

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.С. Сивак, С.Г. Калганова, Ю.А. Кадыкова, Т.П. Чермашенцева

Целесообразность применения СВЧ электромагнитного поля для обработки композиционных материалов определяется диэлектрическими параметрами обрабатываемого материала. В связи с этим возникает необходимость исследования диэлектрической проницаемости ϵ' и тангенса угла диэлектрических потерь $\tan \delta$ композиционных материалов. В статье приводятся результаты исследования диэлектрической проницаемости ϵ' и тангенса угла диэлектрических потерь $\tan \delta$ композиционных материалов с эпоксидным связующим с помощью волноводного метода с полным заполнением сечения волновода.

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, композиционный материал, СВЧ электромагнитное поле, измерения

INVESTIGATION OF DIELECTRIC PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS

A.S. Sivak, S.G. Kalganova, Yu.A. Kadykova, T.P. Chermashentseva

Feasibility of using a microwave electromagnetic field for processing of composite materials is determined by dielectric parameters of the processed material. Therefore, it necessary to study the dielectric constant ϵ' and the dielectric loss tangent $\tan \delta$ of composite materials. The article presents the results of research into the dielectric constant ϵ' and the dielectric loss tangent $\tan \delta$ of composite materials with an epoxy binder using the waveguide technology under full cover of the waveguide cross section.

Keywords: dielectric constant, dielectric loss tangent, composite material, microwave electromagnetic field, measurements

СЭНДВИЧ-СТРУКТУРА «АЛЮМИНИЙ – УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ» И ВАРИАНТ ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ

А.А. Фомин, В.А. Кошуро, А. Аман, С. Палис

В исследовании показана возможность получения тонкослойных сэндвич-структур, содержащих слои алюминиевой фольги и межслоевой наполнитель из углеродных нанотрубок. Для получения однородной структуры композита использовалась индукционная термообработка в комбинации с приспособлением, обеспечивающим первичное сжатие сборки. Для определения функциональных характеристик сэндвич-структур изучались однородность их микроструктуры и поверхностная проводимость. Установлено, что использование УНТ позволило повысить поверхностную проводимость в 8,3-9,5 раза по сравнению с сэндвич-структурой без наполнителя.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, сэндвич-структура, алюминиевая фольга, индукционно-термическая обработка

«ALUMINUM – CARBON NANOTUBES» SANDWICH-STRUCTURE AND ITS ALTERNATIVE VERSION

A.A. Fomin, V.A. Koshuro, A. Aman, S. Palis

The research reveals a possibility to obtain thin-layer sandwich structures containing layers of aluminum foil and an interlayer filler of carbon nanotubes (CNTs). Induction heat treatment

using a device providing primary compression of the assembly was applied to produce a homogeneous structure of the composite. To determine functional specification of sandwich structures, homogeneity of their microstructure and surface conductivity were studied. It was found that the use of CNTs increases their surface conductivity to 8.3-9.5 times as compared to the sandwich structure applied without a filler.

Keywords: carbon nanotubes, sandwich structure, aluminum foil, induction heat treatment

НЕСИММЕТРИЧНАЯ ПЕРЕГРУЗКА СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КВАЗИПОСТОЯННЫХ ТОКОВ

В.В. Вахнина, А.А. Кувшинов, А.Н. Черненко, А.В. Бычков, Р.Н. Пудовинников, О.В. Федяй

Рассмотрены возможные воздействия квазипостоянных токов в периоды геомагнитных возмущений на блочный трансформатор и механизм их передачи на синхронный генератор электростанции. Обоснована возможность несимметричного режима и перегрузки токами обратной последовательности синхронных генераторов при насыщении магнитных систем блочных трансформаторов при воздействии квазипостоянных токов. Определены допустимые продолжительности несимметричных режимов и безопасная величина квазипостоянного тока для блока «синхронный генератор – трансформатор».

Ключевые слова: синхронный генератор, блочный трансформатор, квазипостоянный ток, токи обратной последовательности

UNBALANCED OVERLOADING ALGORITHM OF SYNCHRONOUS GENERATORS UNDER THE IMPACT OF QUASI-DC CURRENTS

V.V. Vakhnina, A.A. Kuvshinov, A.N. Chernenko, A.V. Bychkov, R.N. Pudovinnikov, O.V. Fedyay

The authors study the impact of quasi-direct currents caused by geomagnetic disturbances on unit transformers, including the mechanism of their transmission to synchronous generators of power plants. A possibility for asymmetrical operating conditions and overloading of synchronous generators by negative sequence currents at saturation of magnetic systems of unit transformers affected by quasi-direct currents has been substantiated. The optimal time asymmetrical conditions and safe level of quasi-direct currents in "synchronous generator - transformer" units are determined.

Keywords: synchronous generator, unit transformer, quasi-direct current, negative sequence currents

ВЫБОР СТРУКТУРЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ИЗМЕНЯЕМОЙ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА

И.И. Артюхов, И.Ю. Рожнов, Ш.А. Гайнуллин, С.В. Краснов

Современные средства силовой электроники позволяют преобразовывать параметры электрической энергии с минимальными потерями. Благодаря этому возникает возможность создания систем электроснабжения с использованием электрических машин, которые работают с изменяемой скоростью вращения вала. В статье рассматриваются вопросы построения таких систем на основе синхронных генераторов. Для выбранного варианта схемы разработана имитационная модель в среде MATLAB с пакетом расширения Simulink, с помощью которой проведено исследование автономной системы электроснабжения в различных режимах работы генератора.

Ключевые слова: система электроснабжения, синхронный генератор, преобразование энергии, выпрямитель, инвертор, имитационное моделирование

STRUCTURE SELECTION AND MODELING AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS BASED ON SYNCHRONOUS GENERATORS WITH VARIABLE SHAFT SPEED OPERATION

I.I. Artyukhov, I.Yu. Rozhnov, Sh.A. Gaynullin, S.V. Krasnov

Modern facilities of power electronics allow conversion of electric energy parameters with minimal losses. Thereby opportunities are provided to create power supply systems using electric machines that operate at a variable rotation speed of the turbine shaft. The article considers construction of these systems based on synchronous generators. A simulation model for the selected version of the block diagram was developed in the MATLAB environment with the Simulink enhancement package. This model was applied for the study of an autonomous power supply system based on various modes of generator operation.

Keywords: power supply system, synchronous generator, energy conversion, rectifier, inverter, simulation

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

В.М. Пиксаев, Г.А. Малыженков, Д.В. Пьянзин

В работе приведены результаты исследований различных алгоритмов заряда аккумуляторных батарей, на базе зарядного устройства, разработанного ПАО «Электровыпрямитель» (г. Саранск). Предложен адаптивный алгоритм заряда, позволяющий продлить ресурс аккумуляторных батарей, а также повысить безопасность их обслуживания.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, емкость аккумуляторной батареи, зарядное устройство, алгоритм заряда

STUDY OF BATTERY CHARGE ALGORITHMS

V.M. Piksaev, G.A. Malyzhenkov, D.V. Pyanzin

The paper presents the results of research into various algorithms applied in charging storage batteries, based on a charger developed by JSC Electrovipryamitel (Saransk). An adaptive charging algorithm is proposed, which makes it possible to extend the service life of storage batteries, as well as to improve the safety of their maintenance.

Keywords: battery, battery capacity, charger, charging algorithm

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н.А. Озеров, А.В. Кульбякина, А.И. Савельева, А.П. Муни

Статья посвящена анализу систем электроснабжения нефтеперерабатывающих предприятий. Приведены параметры питающих сетей различных технологических процессов. Установлены абсолютные и удельные показатели электропотребления основными технологическими процессами и установками. Предложена схема собственного источника энергообеспечения для покрытия собственных нужд предприятия по снабжению электроэнергией, позволяющая повысить надежность и бесперебойность электроснабжения.

Ключевые слова: нефтеперерабатывающие предприятия, энергетический комплекс, система электроснабжения, энергетические ресурсы, вторичные энергетические ресурсы, когенерация

ANALYSIS OF POWER SUPPLY SYSTEMS OF OIL REFINERIES

N.A. Ozerov, A.V. Kulbyakina, A.I. Savelyeva, A.P. Munin

The article provides the analysis of power supply systems at oil refineries. Parameters of power grids used in various technological processes are given. Absolute and specific indicators of power consumption required for the main technological processes and installations have been established. The proposed scheme of self-powered electrical system is developed to cover the power plant consumption needs, as well as increase reliability and continuity of electric power supply.

Keywords: oil refinery, energy complex, power supply system, energy resources, secondary energy resources, cogeneration

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В.Н. Аносов, Е.О. Орел, Н.С. Попов

В данной статье рассматриваются способы обеспечения безопасности движения автономного электрического транспортного средства при различных траекториях движения и манёврах в закрытом пространстве. Представлена структурная схема процесса взаимодействия системы навигации автономного транспортного средства и системы автоматического управления электроприводов колёс, а также описан принцип её действия. Приводится обзор сенсоров, удовлетворяющих требованиям безопасности движения автономного электрического транспортного средства в сложных и динамических средах. Представлен перечень способов планирования движения и обосновано применение метода искусственных силовых полей, приведено математическое описание данного метода.

Ключевые слова: автономное транспортное средство, безопасность движения, система управления электроприводом, методы планирования движения, сенсоры

METHODS OF ENSURING SAFETY OF AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLES

V.N. Anosov, E.O. Orel, N.S. Popov

The article discusses the ways to ensure safety of autonomous electric vehicles at various trajectories and maneuvers in an enclosed space. An overview of sensors that meet safety requirements of an autonomous electric vehicle in complex and dynamic environment is given. A block diagram of interaction between the navigation system of autonomous vehicles and the automatic control system of electric wheel drives, as well as the principle of its operation are presented. A review of the sensors satisfying safety requirements for autonomous electric vehicles in complex and dynamic environments is given. The authors provide a list of methods for planning vehicle traffic and application of the method of artificial force fields, including mathematical description of the given method.

Keywords: autonomous vehicle, traffic safety, planning vehicle traffic, electric drive control system, sensors

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА НА НЕФТЕПРОВОДЕ

А.А. Бельский, Д.Ю. Глуханич, Д.И. Иванченко

Для контролируемых телемеханических пунктов на нефтепроводах, располагаемых в районах, удаленных от сетей централизованного электроснабжения, необходимо применение автономных источников питания. Предложено в качестве автономного источника питания использовать термоэлектрические генераторы, устанавливаемые на внешнюю стенку нефтепровода. Разработана компьютерная модель термоэлектрического генератора для оценки эффективности его работы в произвольной координате нефтепровода. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании термоэлектрических генераторов, устанавливаемых нефтепроводе.

Ключевые слова: термоэлектрический генератор, контролируемый телемеханический пункт, автономный источник питания, автономное электроснабжение

DESCRIPTION OF THE THERMOELECTRIC GENERATOR MODEL ON AN OIL PIPELINE

A.A. Belsky, D.Yu. Glukhanich, D.I. Ivanchenko

Autonomous power sources are required for controlled telemechanical points on oil pipelines located in areas remote from central-ized power supply networks. Therefore, it is proposed to use thermoelectric generators in-stalled on the outer wall of a pipeline as an autonomous power source. A computer model of a thermoelectric generator has been devel-oped to estimate its performance efficiency in an arbitrary coordinate of an oil pipeline. The obtained results can be used in the design of thermoelectric generators to be installed in oil pipelines.

Keywords: thermoelectric generator, con-trolled telemechanic point, autonomous power source, autonomous power supply

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ФИНИТНОГО РЕГУЛЯТОРА

А.В. Стариков, С.Л. Лисин, В.А. Кирдяшев

Произведен синтез финитного регулятора для следящего электропривода с синхронным исполнительным двигателем. Найдены дискретные передаточные функции финитного регулятора и следящего электропривода. Построены графики переходных процессов по управляющему и возмущающему воздействиям, которые позволяют выявить недостатки следящего электропривода с финитным регулятором, связанные с большим перерегулированием и статической ошибкой. Предложено дополнить следящий электропривод еще одним контуром с интегральным регулятором. Разработана расчетная модель следящего электропривода с финитным регулятором во внутреннем контуре, которая учитывает дискретизацию и ограничение сигналов по уровню. Построены графики переходных процессов, доказывающие высокое быстродействие предлагаемого следящего электропривода. Определен алгоритм расчета выходного сигнала финитного регулятора.

Ключевые слова: следящий электропривод, финитный регулятор, дискретная передаточная функция, синхронный двигатель

IMPROVING THE SPEED OF RESPONSE OF THE ELECTRIC SERVO DRIVE USING A FINITE CONTROLLER

A.V. Starikov, S.L. Lisin, V.A. Kirdyashev

Synthesis of a finite controller for a servo drive provided with a synchronous motor has been made. Discrete transfer functions of a finite controller and electric servo drive are found. The graphs of transient processes for the control and disturbing influences are plotted, which make it possible to identify the shortcomings of the electric servo drive with a finite controller, associated with large overshoot and static error. It is proposed to supplement electric servo drive with one more closed loop of an integral controller. A computational model of the servo drive with a finite controller in the internal loop is developed, which takes into account quantization and signal limitation by level. The graphs of transient processes are plotted, proving high speed of response of the proposed servo drive. An algorithm for calculating the output signal of a finite controller is determined.

Keywords: electric servo drive, finite controller, discrete transfer function, synchronous motor