

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМООБРАБОТКИ ЛИСТОВЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СВЧ УСТРОЙСТВАХ НА ОСНОВЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА

В.А. Коломейцев, П.В. Ковряков, О.В. Дрогайцева

На основе аналитического решения задачи электродинамики с использованием продольной Х-поляризации электромагнитного поля проведено исследование влияния трансформации электромагнитного (ЭМ) поля в воздушной прослойке прямоугольного волновода (ПрВ) с диэлектрической пластинкой в Е-плоскости на распределение энергии электрического поля в пластине в доминантном диапазоне длин волн и установлено, что максимум данной энергии достигается на длине волны $\lambda_{тр.1}$ на которой происходит переход быстрой волны, фазовая скорость которой больше скорости света – $v_f < c$ в медленную – $v_f > c$. Показано, что равенство рабочей длины и $\lambda_{тр.1}$ является основным критерием оптимизации конструкции рабочей камеры на основе ПрВ, в которой достигается предельно допустимый уровень интенсификации СВЧ нагрева листового материала.

Ключевые слова: прямоугольный волновод; энергия электрического поля; доминантный диапазон длин волн; продольная Х-поляризация поля; длина волны трансформации поля; собственные электродинамические параметры; критические длины волн; коэффициент замедления волны; быстрая и медленная основная продольная волна; принцип поляризационной двойственности

INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF HEAT TREATMENT OF SHEET DIELECTRIC MATERIALS IN MICROWAVE DEVICES BASED ON RECTANGULAR WAVEGUIDE

V.A. Kolomeytsev, P.V. Kovryakov, O.V. Drogaytseva

Based on an analytical solution to the problem of electrodynamics using longitudinal X-polarization of the electromagnetic field, a study was carried out of the influence of the transformation of the electromagnetic (EM) field in the air gap of a rectangular waveguide (RW) with a dielectric plate in the E-plane on the distribution of electric field energy in the plate in the dominant wavelength range and established that the maximum of this energy is achieved at wavelength $\lambda_{tr.1}$ at which a transition occurs from a fast wave, the phase speed of which is greater than the speed of light – $v_f < c$ into a slow one – $v_f > c$. It is shown that the equality of the working length and $\lambda_{tr.1}$ is the main criterion for optimizing the design of a working chamber based on RW, in which the maximum permissible level of intensification of microwave heating of sheet material is achieved.

Keywords: rectangular waveguide; electric field energy; dominant wavelength range; longitudinal X-polarization of the field; field transformation wavelength; own electrodynamic parameters; critical wavelengths; wave deceleration coefficient; fast and slow main longitudinal wave; principle of polarization duality

ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТОГО ПОРОШКОВОГО Al_2O_3 ПОКРЫТИЯ СПОСОБОМ ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСНОГО СПЕКАНИЯ

И.В. Родионов, И.В. Перинская, Л.Е. Куц, П.Н. Устинов

Выполнены исследования способа лазерного спекания мелкодисперсного порошка Al_2O_3 в режиме импульсной генерации излучения. В качестве материала модифицируемых образцов использовалась нержавеющая хромоникелевая сталь 12Х18Н10Т. Экспериментальным путем определялось влияние технологических условий лазерного спекания на термически стимулированные перестройки в порошковой присадке и формирование характеристик функционального алюмооксидного слоя. Описан вероятный механизм образования лабиринтных структур с высокой пористостью и морфологической гетерогенностью. Установлено, что суммарная пористость порошковых покрытий составляет 60-70 % при среднем размере открытых пор 180-210 мкм. Доказано, что полученные пористые структуры обладают высокой микротвердостью (10-14 ГПа), которая измерялась на поперечных микрошлифах образцов. Выявлено, что основной вклад в процесс спекания вносят энергетические параметры лазерного излучения и число сканирований поверхности (технологических проходов). Полученные порошковые покрытия на основе биосовместимой алюмооксидной керамики могут применяться на медицинских металлических имплантатах внутрикостного и чрескостного назначения.

Ключевые слова: лазерное импульсное спекание, корундовый порошок, присадочный материал, нержавеющая сталь, технологические условия лазерной обработки, структурные превращения, пористое покрытие, микротвердость

FORMATION OF POROUS Al_2O_3 POWDER COATING BY LASER PULSE SINTERING

I.V. Rodionov, I.V. Perinskaya, L.E. Kuts, P.N. Ustinov

The research deals with the method of laser sintering of fine powder Al_2O_3 in the mode of pulsed radiation generation. The material used for the modified samples is stainless chromium-nickel steel 12Cr18Ni10Ti. The influence of technological conditions of laser sintering on thermally induced rearrangements in the powder additives and aluminum oxide layers characteristics is determined experimentally. A probable mechanism regarding formation of labyrinthine structures with high

porosity and morphological heterogeneity is described. It has been established that the total porosity of powder coatings is 60-70 % with an average open pore size of 180-210 microns. It has been proved that the resulting porous structures have high microhardness (10-14 GPa), which was measured using transverse microsections of the samples. It has been revealed that the sintering process is mainly enhanced by the energy parameters of laser radiation and the number of surface scans (technological passes). The obtained powder coatings based on biocompatible aluminum oxide ceramics can be used in medical metal implants applied for intraosseous and transosseous purposes.

Keywords: laser pulse sintering, corundum powder, filler material, stainless steel, technological conditions of laser processing, structural transformations, porous coating, microhardness

УВЕЛИЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛА ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Д.А. Давыдов, Д.В. Бунтаков

Одной из типовых причин выхода двигателя внутреннего сгорания (ДВС) из строя является заклинивание цилиндропоршневой группы, обусловленное межмолекулярной диффузией между поверхностями цилиндра и поршня. То есть возникает противоречивая задача. С одной стороны увеличение зазора в цилиндропоршневой группе значительно снижает КПД ДВС, с другой стороны – повышение чистоты обработки приводит к увеличению вероятности заклинивания. Проблема решается созданием регулярного рельефа. При этом, так как, работа группы проходит под воздействием высоких температур при постоянном механическом трении, что требует повышенной поверхностной твердости.

Ключевые слова: *поверхностная твердость металла, метод обработки, электроискровое легирование, поршень двигателя внутреннего сгорания*

INCREASING THE SURFACE HARDNESS OF METAL BY ELECTROSPARK ALLOYING

D.A. Davydov, D.V. Buntakov

One of the main causes of failures in internal combustion engines (ICE) is cylinderpiston group jamming caused by intermolecular diffusion between the cylinder and piston surfaces. This often leads to a set of challenges. On the one hand, increasing the clearance in the cylinder-piston group significantly reduces efficiency of the internal combustion engine; on the other hand, increasing the cleanliness of processing leads to an increase in the probability of jamming. The problem can be solved by creating a regular relief. Since the operation of the group takes place under the influence of high temperatures with constant mechanical friction, increased surface hardness is required.

Keywords: surface hardness of metal, processing method, electrospark alloying, internal combustion engine piston

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЗОНАТОРА СОТОВОЙ СТРУКТУРЫ

Д.В. Максудов

Представлена конструкция озонатора сотовой структуры. Разработана математическая модель протекающих в нем физических процессов и на ее основе построена имитационная модель в ПК Scilab учитывающая взаимное влияние таких параметров как температура, концентрация озона и мощность барьерного разряда. Представлены результаты численных экспериментов, проведенных используя указанную имитационную модель. Для верификации этих результатов проведены натурные экспериментальные исследования зависимости концентрации озона от времени для упомянутой конструкции озонатора.

Ключевые слова: озонатор, газоразрядные процессы, численные методы, ПК Scilab

MATHEMATICAL MODELING OF A HONEYCOMB OZONE GENERATOR

D.V. Maksudov

The paper presents the structure of a honeycomb ozone generator. A mathematical model of the physical processes occurring within the construction has been developed. It has been used as the basis for a simulation model built in Scilab PC which takes into account the interdependence of such parameters as temperature, ozone concentration and barrier discharge power. The results of numerical experiments based on the specified simulation model are presented. To verify these results, full-scale experimental studies relating dependence of ozone concentration on the timing parameters are carried out for the proposed design of ozone generator.

Keywords: ozonizer, gas-discharge processes, numerical methods, Scilab software package

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА УДЕЛЬНУЮ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

Е.Г. Зиновьева, Г.А. Кравченко, А.Г. Калинин,

Д.Г. Михадаров, Д.А. Ефремов

В работе рассмотрено влияние эффекта ионизации, вызванного наличием напряженности электрического поля, на удельную электропроводность

жидких теплоносителей. Показано, что высокотемпературные теплоносители не меняют значения удельной электропроводности после испытания, сохраняя свой первоначальный состав, что свидетельствует об устойчивости к воздействию электрического поля. Наоборот, удельная электропроводность низкотемпературных водорастворимых теплоносителей под воздействием электрического поля изменяется в пределах от 4 до 26 %. Устойчивость высокотемпературных теплоносителей к воздействию напряженности электрического поля обеспечивает меньшую склонность к разложению и пенообразованию, а также снижает риск появления процесса коррозии в радиаторе.

Ключевые слова: напряженность электрического поля, удельная электропроводность, силовые полупроводниковые модули, теплоноситель, тонкослойная хроматография

EFFECT OF THE ELECTRIC FIELD STRENGTH ON SPECIFIC ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF COOLANTS

E.G. Zinovjeva, G.A. Kravchenko, A.G. Kalinin, D.G. Mikhadarov, D.A. Efremov

The paper considers the influence of the ionization effect caused by the electric field strength on specific electrical conductivity of liquid coolants. It is shown that hightemperature coolants do not change the value of specific conductivity after the testing procedure, retaining their original composition, which indicates resistance to the electric field. Alternately, specific electrical conductivity of low-temperature water-soluble coolants under the influence of electric field changes ranges within 4 and 26 %. Resistance of high-temperature coolants to the electric field strength improves the decomposition and foaming capacity, as well as reduces the risk of the radiator corrosion.

Keywords: electric field strength, specific conductivity, power semiconductor modules, coolant, thin layer chromatography

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ВЫБОРА ДАТЧИКОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ УРОВНЕМЕРОВ

С.В. Макартичян, М.А. Богале, Л.А. Коновалова, А.В. Вершинин

В настоящее время одной из основных проблем проектирования информационно-измерительных систем является обоснованный выбор датчиков, поскольку на рынке представлено большое количество вариантов. Основная задача в том, как выбрать наиболее оптимальный вариант из большого количества. В статье приведена методика морфологического синтеза информационно-измерительных систем, на основе метода анализа иерархий, который позволяет из большого количества вариантов датчиков по нескольким критериям выбирать наиболее оптимальный вариант.

Распределение приоритетов для критериев и датчиков определяется с помощью парных сравнений между всеми парами вариантов. Синтез системы выполняется в два этапа: сначала определяются приоритеты критериев – параметров и характеристик, а затем с учетом приоритета критерия определяется вариант датчика. Эта методика позволяет учитывать особенности характеристик и параметры всех датчиков. В качестве примера приведен выбор оптимального варианта датчика контроля уровня в водоемах гидроэлектростанций (ГЭС). Необходимо отметить, что ГЭС являются источниками электроснабжения крупных электротехнологических предприятий алюминиевой промышленности.

Ключевые слова: методы и средства измерения уровня, эвристические методы проектирования, метод анализа иерархий, парные сравнения, матрица смежности, комплексные приоритеты

INTELLIGENT SUPPORT FOR THE SENSORS APPLIED IN INFORMATION-MEASURING SYSTEMS USING THE EXAMPLE OF LEVEL GAUGES

S.V. Makartichyan, M.A. Bogale, L.A. Konovalova, A.V. Vershinin

Currently, one of the main challenges in the design of information measurement systems is making an appropriate choice of sensors, since the market provides a variety of options. The main problem is how to find an optimal value among the high number of options. The paper presents a methodology for morphological synthesis of information measuring systems using the method of hierarchy analysis, which allows finding a perfect option from a variety of sensors based on several criteria. Distribution of prioritized criteria and sensors is determined using pairwise comparisons between all the pairs of options. A two-step approach is applied for the system synthesis: first, the priorities of the criteria, including parameters and characteristics are determined; then, the type of sensor is chosen with account for the prioritized criterion. This technique takes into account the characteristics and parameters of all the sensors. As an example, selection of an optimal version of a level control sensor used in reservoirs of hydroelectric power stations (HPP) is given. It should be noted that hydroelectric power stations are sources of power supply to large electrical technological enterprises associated with the aluminum industry.

Keywords: methods and means of level measurement, heuristic design methods, hierarchy analysis method, pairwise comparisons, adjacency matrix, complex priorities

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕМЕТРИИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ 10 (6) кВ

П.А. Кузнецов, И.О. Шкода, А.В. Ладин, И.Г. Кузнецов, В.В. Богданова

В статье представлен анализ современных решений в области телеметрии трансформаторных подстанций 10 (6) кВ. Дана оценка актуальности данной темы и текущего уровня ее научно-технической проработки. По результатам анализа сформулированы недостатки существующих систем телеметрии. Предложен оптимальный перечень контролируемых параметров, сформулированы общие требования к системам телеметрии подстанций 10 (6) кВ.

Ключевые слова: подстанция, трансформатор, телеметрия, электрооборудование, контролируемые параметры

ANALYSIS OF MODERN SOLUTIONS IN THE FIELD OF TELEMETRY TRANSFORMER SUBSTATIONS 10 (6) kV

P.A. Kuznetsov, I.O. Shkoda, A.V. Ladin, I.G. Kuznetsov, V.V. Bogdanova

The paper presents the analysis of modern solutions in the field of telemetry of transformer substations 10 (6) kV. The relevance of this topic and the current level of its scientific and technical development are assessed. According to the results of the analysis the disadvantages of existing telemetry systems are formulated. An optimal list of controlled parameters is proposed, and general requirements for telemetry systems of 10 (6) kV substations are formulated.

Keywords: substation, transformer, telemetry, electrical equipment, monitored parameters

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО БОРЬБЕ С ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

С.П. Максимов, П.А Кузнецов, С.Ф. Степанов

В статье освещены вопросы оценки эффективности организационно-технических мероприятий (ОТМ) по борьбе с гололедно-изморозевыми отложениями (ГИО) на ВЛ. Предложен показатель и формула расчета технической эффективности ОТМ по борьбе с ГИО. Проведен анализ временных составляющих и расчет технической эффективности мероприятий по плавке ГИО на фактическом примере. Определены пути улучшения показателей технической эффективности ОТМ по борьбе с ГИО.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, гололедно-изморозевые отложения, плавка гололеда, организационно-технические мероприятия по борьбе с гололедно-изморозевыми отложениями, эффективность плавки гололеда

EFFICIENCY OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL MEASURES APPLIED AGAINST ICY- RIME DEPOSITS ON OVERHEAD POWER LINES

S.P. Maksimov, P.A. Kuznetsov, S.F. Stepanov

The paper highlights the issues of effectiveness of organizational and technical measures used against ice and rime deposits on overhead power lines. The authors propose an indicator and formula to estimate the technical efficiency of these measures against rime- and glaze-ice accretion. The analysis of time and technical efficiency estimates is based on actual information. The paper considers the ways to improve the indices of technical effectiveness of the measures applied for ice and rime deposits.

Keywords: overhead power line, ice and rime deposition, ice-melting, administrative and technical measures for ice-melting, efficiency of ice-melting

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ПОЛОЖЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО БОЛЬШОЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЕ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С СИНХРОННЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

И.Ф. Байбиков, А.В. Стариков

В статье рассматривается следящий электропривод с синхронным исполнительным двигателем и векторным управлением. Для повышения быстродействия следящего электропривода при отработке управляющих воздействий предложено использовать нестандартное структурное построение и регулятор положения. Произведен параметрический синтез и получены формулы для адекватного расчета параметров регулятора положения. Для обеспечения технической реализуемости произведено упрощение регулятора посредством снижения порядка его передаточной функции. Методом компьютерного моделирования доказано высокое быстродействие предлагаемого электропривода.

Ключевые слова: следящий электропривод, синхронный двигатель, регулятор положения, векторное управление

SYNTHESIS OF THE POSITION CONTROLLER PROVIDING HIGH SPEED OPERATION OF THE SERVO DRIVE WITH A SYNCHRONOUS SERVO MOTOR

I.F. Baybikov A.V. Starikov

The paper discusses a servo electric drive with a synchronous motor and vector control. To increase the speed response of the servo electric drive when executing monitoring, it is proposed to use a nonstandard structural design and position controller. A parametric synthesis was carried out and formula were obtained for adequate calculation of the position controller parameters. To ensure technical feasibility, the controller was simplified by reducing the order of its transfer function. A highspeed response of the proposed electric drive has been proved using computer modeling.

Keywords: *servo electric drive, synchronous motor, position controller, vector control*

ЭМИССИЯ ГАРМОНИК ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ БЛОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА В ЦЕПИ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

В.В. Вахнина, А.А. Кувшинов, А.Н. Черненко, Р.Н. Пудовинников

Выполнено моделирование тестового воздействия геоиндуцированных токов, на блок «генератор (ТВФ-100-2) – трансформатор (ТДЦ-125000/220/10,5)», который осуществляет питание мощного узла потребления ($P_{нагр} = 83,125$ МВт, $Q_{нагр} = 29,75$ Мвар, $\cos \varphi = 0,95$) через двухцепную воздушную линию электропередачи протяженностью 160 км. Параметры тестового воздействия – амплитуда и длительность – заданы в соответствии с эталонным тестовым событием геомагнитного возмущения, представленным в стандарте надежности TPL-007-04 для высокоширотных регионов. Показано, что влияние геоиндуцированных токов на режим функционирования синхронного генератора начинается с момента насыщения магнитной системы блочного трансформатора вследствие обратной трансформации гармоник тока намагничивания в цепи статорных обмоток, существенно искажающих синусоидальность кривой мгновенных значений статорного тока. Определен коэффициент нелинейных искажений статорного тока, который достигает значения $THD = 55,59$ % через 10 секунд после начала тестового воздействия геоиндуцированного тока. Показано, что в нарушение синусоидальности статорного тока доминирующий вклад вносят 2-я и 4-я гармоники тока намагничивания блочного трансформатора.

Ключевые слова: синхронный генератор, блочный трансформатор, геоиндуцированный ток, ток намагничивания, высшие гармоники тока

EMISSION OF MAGNETIZING CURRENT HARMONICS OF A BLOCK TRANSFORMER IN THE STATOR WINDING CIRCUIT OF A SYNCHRONOUS GENERATOR UNDER GEOMAGNETIC DISTURBANCES

V.V. Vakhnina, A.A. Kuvshinov, A.N. Chernenko, R.N. Pudovinnikov

A test simulation of the impact of geinduced currents on the “generator (TVF-100-2) – transformer (TDC-125000/220/10.5)” block, which supplies power to a powerful consumption unit ($P_{load} = 83.125$ MW, $Q_{load} = 29.75$ Mvar, $\cos \varphi = 0.95$), was performed through a double-circuit overhead power line with a length of 160 km. The parameters of the test impact – amplitude and duration – are set similar to the parameters of geomagnetic disturbances presented in the TPL-007-

04 reliability standard for highlatitude regions. It is shown that the influence of geo-induced currents on the operating mode of a synchronous generator begins from the moment of saturation of the magnetic system of a block transformer due to the reverse transformation of magnetizing current harmonics in the circuit of stator windings, which significantly distort the sinusoidality of the curve of instantaneous values of the stator current. The coefficient of nonlinear distortion of the stator current has been determined, which reaches the value $THD = 55.59\%$ 10 seconds after the start of the test effect of the geinduced current. It is shown that the dominant contribution to the violation of the sinusoidality of the stator current is made by the 2nd and 4th harmonics of the magnetizing current of the block transformer.

Keywords: synchronous generator, block transformer, geo-induced current, magnetizing current, higher current harmonics

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СВЧ-УСТАНОВКИ КОНВЕЙЕРНОГО ТИПА ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ПАРАМЕТРОВ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

И.И. Артюхов, М.Д. Николаев

Для осуществления широкого спектра технологических процессов применяют СВЧ-установки конвейерного типа. Если эти установки получают электроэнергию от мощной промышленной сети, то применение типовых решений для построения магнетронных генераторов не вызывает проблем. Однако при подключении СВЧ-установки к источнику энергии ограниченной мощности, например, дизель-генератору, может происходить нарушение ее работоспособности. В статье анализируется влияние параметров питающей сети на работу СВЧ-установки, рассматриваются варианты решения проблемы.

Ключевые слова: СВЧ-установка, магнетрон, система электропитания

OPERATION OF MULTIGENERATOR CONVEYOR MICROWAVE INSTALLATION UNDER CONDITIONS OF THE SUPPLY NETWORK CHANGING PARAMETERS

I.I. Artyukhov, M.D. Nikolaev

To implement a wide range of technological processes, conveyor microwave installations are used. If these installations receive electricity from the powerful industrial network, then the use of standard solutions for the construction of magnetron generators does not cause problems. However, when the microwave installation is connected to a power source of limited capacity, for example, in the form of a diesel generator, its performance may be impaired. The article analyzes the influence of supply network parameters on the microwave installation operation. The article analyzes the influence of supply network parameters on the microwave installation operation, and considers variants of the problem solution.

Keywords: microwave installation, magnetron, power supply system