

Сравнительный анализ переходных процессов в асинхронном электродвигателе

ДЕНИСОВ В.А., ТРЕТЬЯКОВА М.Н., БОРОДИН О.А.

Приведены результаты исследования асинхронного двигателя в режимах прямого пуска и изменения нагрузки, полученные при математическом моделировании с использованием блоков нелинейных систем *Lookup Table* и функционального блока F_{cn} пакета программ MATLAB Simulink. Включение в модель этих элементов позволяет достаточно просто учитывать изменение параметров электрической машины, вызванное насыщением магнитной цепи и эффектом вытеснения тока в стержнях ротора в переходных режимах. Насыщение магнитной системы по пути главного магнитного потока и пути потоков рассеяния учитывается с помощью функциональных зависимостей, которые задаются в блоках табличным способом, что обеспечивает простоту модели и наглядность процесса моделирования. В отличие от модели, созданной на основе стандартного блока электродвигателя *Asynchronous Machine*, предлагаемый вариант дает возможность наблюдать изменения любых переменных асинхронной машины во время переходного процесса и создает хорошие предпосылки для разнообразных исследований электроприводов. С помощью разработанной модели выполнен сравнительный анализ динамических характеристик, в ходе которого выявлено, что переходные процессы в асинхронном двигателе при прямом пуске с учетом насыщения магнитной цепи и эффекта вытеснения тока в роторе протекают в 1,5 раза быстрее, чем в идеализированной машине. При этом первый максимум момента в 1,6 раза больше, чем в упрощенной модели двигателя. При набросе нагрузки различия в графиках изменений моментов и угловых скоростей являются несущественными. При пренебрежении эффектом вытеснения тока в стержнях ротора переходные процессы не совпадают только при пуске. Наиболее существенные отличия наблюдаются между переходными характеристиками разработанной схемы и модели, составленной из стандартных блоков MATLAB Simulink. Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности применения разработанной модели двигателя при исследовании динамических режимов, выборе пусковой и защитной аппаратуры асинхронных электроприводов.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, динамические характеристики, математическая модель.

The results of the study of the asynchronous motor in the modes of direct start-up and load changes, obtained by mathematical modeling using block of nonlinear systems *Lookup Table* and the functional block F_{cn} of software package MATLAB Simulink. The inclusion of above

mentioned elements in the model allows you to simply take into account the change in the parameters of the electrical machine, caused by the saturation of the magnetic circuit and the effect of current displacement in the rotor bars in transient modes. Accounting magnetic system saturation of main and scattering magnetic fluxes paths is performed by using functional dependencies that are specified in the blocks table, which ensures the simplicity of the model and clarity of the modeling process. Unlike the models created on the basis of conventional block of electric motor *Asynchronous Machine*, the proposed option makes it possible to observe changes any variables of the asynchronous machine during the transition process and creates good conditions for variety studies of electric drives. Using the developed model made a comparative analysis of the dynamic behavior, revealed that transient processes in the asynchronous motor during direct start-up with in view the saturation of magnetic circuit and effect of displacement current in the rotor flows is 1.5 times faster than in the idealized machine. Thus, the first maximum torque is 1.6 times greater than in a simplified model of the motor. Differences in graphs of changes torques and angular velocities in conjunction with the loads are not significant. In the case of neglecting effect of current displacement in the rotor bars transient processes do not match only at the start. The most significant differences are observed between the transient characteristics graphs of the developed model and the model based on conventional blocks of MATLAB Simulink. The obtained results allow making a conclusion about expediency of the developed motor model application in study of dynamical modes, in selection of a starting and protective equipment of asynchronous motors.

Keywords: asynchronous motor, dynamic characteristics, mathematical model.

Электротехника, 2018, №3, стр.8-12

Измерение вибраций, созданных импульсами тока в элементах электротехнических конструкций

ТРОИЦКИЙ О.А., СКВОРЦОВ О.Б., СТАШЕНКО В.И.

Рассмотрены эффекты вибрационного отклика проводника на действие импульсов тока при отсутствии или наличии статической нагрузки. При испытаниях использовались трехкомпонентные пьезоэлектрические акселерометры для контроля амплитудных и временных характеристик вибрации от действия отдельных импульсов тока. Основной характеристикой при оценке вибраций было ускорение поверхностных слоев металла. Одиночные импульсы тока не оказывали заметного теплового действия на образец. Приведены экспериментальные данные показывающие, что основной вклад в формирование механических колебательных процессов оказывает электродинамический

процесс, определяемый изменениями магнитного поля и скин-эффектом. Установлено, что увеличение статической нагрузки приводит к росту декремента затуханий колебательных процессов, вызванных действием импульсного тока. Разработана методика измерения вибраций, создаваемых импульсами тока. Предложенную методику оценки вибрации при действии импульсов тока можно рекомендовать для неразрушающего контроля дефектов в конструкциях, в том числе и при их статическом нагружении. Анализ таких результатов позволяет оценить ресурс элементов обмоток мощного энергетического оборудования, начиная от режимов, близких к нормальным эксплуатационным до близких к аварийным.

Ключевые слова: импульс тока, пинч-эффект, вибрация, статические и динамические нагрузки, неразрушающий контроль.

We studied the effects of the vibration response of the conductor to the action of the current pulses in the absence or presence of static loads. When testing we used a three-component piezoelectric accelerometer to control the amplitude and time characteristics of the vibration resulting from the actions of individual current pulses. The main characteristic in the assessment of vibrations is the acceleration of the surface layers of the metal. Single current pulses has not been a noticeable heating effect on the sample. The paper presents experimental data showing that the main contribution to the formation of the mechanical oscillatory processes having a dynamic process, determined by changes in the magnetic field and skin effect. In the experimental results on the dynamic effect of pinch-action of the current. It is established that the increase of the static load leads to an increase of the decrement of damping of oscillatory processes caused by the action of pulsed current. The technique of measuring vibrations generated by the current pulses. This method of assessment of vibration under the action of current pulses can be recommended for the nondestructive testing of defects in structures and their static loading. Analysis of the results allows to assess the resource elements of the windings powerful power equipment ranging from modes close to the normal operating close to the emergency.

Key words: current pulse, the pinch effect, vibration, static, dynamic load, non-destructive testing.

СМИРНОВ А.Ю., ДАРЬБЕНКОВ А.Б., ЗИМИН А.Ю., УСНУНЦ-КРИГЕР Т.Н.

Рассмотрены одноимённо-полюсные индукторные машины с одним или несколькими постоянными магнитами на роторе, создающими поток возбуждения, замыкающийся в аксиально-радиальном направлении. Для таких машин разрабатываются методики проектирования, которые требуют проверки фундаментальными методами, например, методом конечных элементов или сеточным методом. Однако для рассматриваемой конструкции он не может быть применён в виде двумерных моделей. В связи с этим изложен способ построения трёхмерных моделей униполярных индукторных машин. Построение осуществляется путем экструзии (выдавливания) областей сектора, очерчивающего зубцовое или полюсное деление в плоскости, перпендикулярной оси вращения, с нанесенными на него проекциями границ всех аксиально расположенных цилиндрических областей одинакового сечения внутри каждой области, образующей 3D-модель статора или ротора. Способ предназначен для последующей генерации сетки и расчёта методом конечных элементов относительно скалярных магнитных потенциалов, по которым определяются запасённая энергия и вращающий электромагнитный момент, по изменению энергии магнитного поля до и после поворота ротора на некоторый элементарный угол. Такой способ построения 3D-моделей рассмотрен также применительно к одноимённо-полюсным машинам с электромагнитным возбуждением со стороны статора. Кроме того, он применим для создания моделей, предназначенных для исследования полей рассеяния в области лобовых частей машин обычной, сводящейся к двумерной, геометрии.

Ключевые слова: индукторная машина, метод конечных элементов, сеточная модель, экструзия, электромагнитный момент.

Like-pole reluctance machines with one or several permanent magnets on a rotor are analysed, which create net excitation that close in axial-radial direction. Design practices are developed for them, that have to be checked via fundamental methods. Such method is finite element technique or grid method. However, it cannot be applied in the form of a two-dimensional model for the construction under analysis. Hence, a method is represented for constructing three-dimensional models of unipolar inductor machines. The construction is performed by extruding (pressing out) areas of the sector, that outline tooth or pole partition in a plane, that is perpendicular to the axis of rotation, coated with projections of boundaries of all axially placed cylindrical sections of the same cut set within each section, forming a 3D model of a stator or a rotor. The method is designed for subsequent mesh generation, and for calculation by means of finite elements

method related to magnetic scalar potentials, followed by determination of rotating electromagnetic torque on magnetic field energy gain. The method is designed for subsequent mesh generation, and for calculation by means of finite elements method related to magnetic scalar potentials, followed by determination of energy gain and rotating electromagnetic torque, defined by change of magnetic field energy before and after the rotor is rotated by some basic angle. The described method of creating 3D models is studied also in application to like-pole machines with electromagnetic excitation on the part of a stator. Besides, it is applicable to creating models, intended for examining leakage fields in the sphere of the face parts of machines by ordinary geometry reduced to two-dimensional one.

Key words: unipolar reluctance machine, finite element method, net model, extrusion, electromagnetic torque.

Электротехника, 2018, №3, стр.18-21

Метод идентификации неизмеряемых параметров распределительной электрической сети в системах автоматизации контроля и учета электроэнергии

ОМОРОВ Т.Т., ТАКЫРБАШЕВ Б.К.

Рассматривается нижний уровень энергосистемы – распределительная электрическая сеть (РЭС) напряжением 0,4 кВ, где производится отпуск электроэнергии как товарной продукции. Создание и внедрение современных автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии делает актуальной проблему мониторинга ненормативных потерь электроэнергии в РЭС и идентификации ее неизмеряемых (неконтролируемых) электрических параметров при наличии возмущающих факторов, таких как несанкционированный отбор электроэнергии и утечка токов в сети. Применение для этой цели существующих методов и алгоритмов в реальном времени представляет определенные сложности из-за стохастического характера отдельных параметров РЭС, например, активных сопротивлений межабонентских участков, которые изменяются в зависимости от внешних факторов (температуры, влажности и др). Предложен новый метод идентификации неизмеряемых токов, протекающих в межабонентских участках РЭС, в котором учитываются действия указанных возмущающих факторов. Метод может использоваться для создания специального программного обеспечения подсистемы, предназначенной для идентификации общих и ненормативных потерь электроэнергии, а также для локализации координат несанкционированного отбора электроэнергии и утечки токов в сети.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, несанкционированный отбор электроэнергии, ненормативные потери электроэнергии, метод идентификации неизмеряемых параметров.

The article considers the lower level of the power system – distributing electrical network (DEN) with the voltage of 0.4 kV, which produces electricity supply as a marketable product. The creation and introduction of modern automated systems of control and accounting of electricity makes an actual problem of monitoring of non-normative losses of electricity in the DEN and identification its unmeasured (uncontrollable) electric parameters in the presence of distributing factors, such as unsanctioned selection of electricity and leakage currents in the network. The application for this purpose of existing methods and algorithms in the real time presents certain difficulties because of stochastic character of separate parameters of DEN, for example, active resistances of interpersonal sections which is changed depending on external factors (temperature, humidity, etc). The paper is offered a new method of identification of unmeasured currents flowing to the interpersonal sections of DEN, in which takes into account an action of specified disturbing factors and is not required information about these resistances. Method can be used to create special software subsystems, intended for identification of common and non-normative electricity losses and also localize the coordinates of unsanctioned selection of electricity and leakage currents in the network.

Key words: distributing electrical network, unsanctioned selection of electricity, non-normative electricity losses, method of identification of unmeasured parameters.

Электротехника, 2018, №3, стр.22-26

Пульсирующие разрядные процессы в емкостных системах зажигания с однополярным импульсом

ГИЗАТУЛЛИН Ф.А., САЛИХОВ Р.М., БАРАБАНОВ А.Ю.

Исследуются разрядные процессы в емкостной системе зажигания с однополярным импульсом, обладающей преимуществами по сравнению с системами зажигания колебательного разряда. Отмечено, что известные представления о динамике развития однополярного разрядного импульса являются достаточно условными. Показано, что при малых значениях индуктивности разрядной цепи разряд в свече становится пульсирующим, на апериодическую составляющую тока накладывается выраженная колебательная составляющая. Описана экспериментальная установка и методика для исследования пульсирующих разрядов при изменении параметров разрядной цепи –

емкости накопительного конденсатора и индуктивностей в цепи стреляющей полупроводниковой свечи и в цепи высоковольтного диода. Представлены результаты осциллографических экспериментальных исследований, анализ результатов измерения энергии искровых разрядов в стреляющей полупроводниковой свече в зависимости от параметров разрядной цепи. Установлены закономерности развития пульсирующих разрядов; показано, что пульсирующие разряды образуются не только при малых индуктивностях разрядной цепи, но и при увеличении индуктивности в случае подключения в цепь высоковольтного диода дополнительной индуктивности, меньшей по отношению к основной индуктивности. Доказано, что по энергетической эффективности емкостная система зажигания пульсирующего разряда может быть более эффективной по сравнению с современными системами зажигания с однополярным импульсом.

Ключевые слова: система зажигания с однополярным импульсом, пульсирующие разрядные процессы, стреляющие полупроводниковые свечи, энергия разрядов.

Discharge processes in a capacitive ignition system with a unipolar pulse with advantages in comparison with ignition systems of an oscillating discharge are investigated. It is noted that the known ideas about the dynamics of the development of a unipolar discharge pulse are rather conditional. It is shown that for small values of the inductance of the discharge circuit, the discharge in the spark becomes pulsating, a pronounced vibrational component is superimposed on the aperiodic component of the current. An experimental setup and a technique for investigating pulsed discharges are described when changing the parameters of the discharge circuit—the storage capacitor capacitance and inductances in the chain of a shooting semiconductor plug and in a circuit of a high-voltage diode. The results of oscillographic experimental studies, analysis of the results of measuring the energy of spark discharges in a shooting semiconductor plug are presented depending on the parameters of the discharge circuit. The regularities of development of pulsating discharges are established; It is shown that pulsed discharges are formed not only with small inductances of the discharge circuit, but also with increasing inductance in the case of connecting a high-voltage diode in the circuit with an additional inductance lower in relation to the main inductance. It is proved that from the point of view of energy efficiency the capacitive ignition system of a pulsating discharge can be more effective than modern ignition systems with a unipolar pulse.

Key words: ignition system with single-pulse, pulsed discharge processes, shooting semiconductor plugs, energy discharges.

Электротехника, 2018, №3, стр.26-33

Имитационное моделирование ветродизельной электростанции

БАЙКОВ А.И., ДАРЬЕНКОВ А.Б., СОСНИНА Е.Н.

Рассмотрены методология разработки моделирующего комплекса по созданию имитационных компьютерных моделей ветро-дизельных электростанций (ВДЭС) и результаты такого моделирования. Описаны основные виды применяемых математических моделей: аналитической аппроксимации паспортных характеристик, воспроизведения переходных процессов в схемах замещения на основе интегрирования дифференциальных уравнений, гармонического анализа и разыгрывания значений случайных величин при статистических вычислительных экспериментах. Имитационные компьютерные модели позволяют проводить исследования и анализ статических и динамических режимов работы ВДЭС и могут быть использованы при принятии технических решений по проектированию энергоэффективных локальных систем электроснабжения с ВДЭС.

Ключевые слова: ветро-дизельная электростанция, имитационное компьютерное моделирование, ветряная турбина, дизель, синхронный генератор, силовой электронный преобразователь, энергетические показатели.

Here is described the results of development of wind-diesel power plant using mathematical modeling, providing visualization of the data under consideration when making technical decisions. Describes the main types of applied mathematical models: analytical approximation of passport characteristics, reproduction of transients in circuits based on the integration of differential equations, harmonic analysis and to cast the values of the random variables in statistical computational experiments. Given various forms of visualization of simulation results, providing a visual representation of the physical features of processes and performance indicators of variants of devices.

Key words: wind-diesel power plant, computer simulation, wind turbine, diesel, synchronous generator, power electronic converter, the energy level.

Электротехника, 2018, №3, стр.34-40

Моделирование электродинамического сепаратора на основе линейного индуктора

КОНЯЕВ А.Ю., БАГИН Д.Н.

Рассмотрен опытный образец электродинамического сепаратора на основе двухсторонней линейной индукционной машины для индукционной сортировки цветных металлов.

Разработана математическая модель для исследования электродинамического сепаратора на основе линейной индукционной машины. Моделирование взаимодействия между магнитным полем и проводящими частицами осложнено существованием различных электромагнитных (в частности, продольных и поперечных) и механических (гравитационных и трения) сил. Сепарация является результатом комбинированных действий различных сил на проводящие частицы. Важной частью математической модели являются уравнения для комбинированного электромагнитного и механического воздействия. Приведены результаты исследования опытного образца электродинамического сепаратора. Расчетные траектории и отклонения частиц сравниваются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: электродинамическая сепарация, линейная индукционная машина, сортировка металлов, электромагнитные силы, механические силы, математическое моделирование, экспериментальная проверка.

In this paper the pilot sample of electrodynamic separator with the two-sided linear induction machine for non-ferrous metals induction sorting is described. A mathematical model is presented for simulation of electrodynamic separator with the linear induction machine. The modeling of the interaction between the traveling magnetic field and conductive particles is complicated by the existence of several electromagnetical (in particular, traction and transversal) and mechanical (gravitational, frictional and etc.) forces. Separation is a result of the combined actions on conducting particles of several forces. The most important parts of the mathematical model of separator are the equations for the combined electromagnetical and mechanical interactions. The research results of the pilot sample of electrodynamic separator are described. The calculated resulting particle trajectories are compared to experimental data.

Key words: electrodynamics separation, linear induction machine, metals sorting, electromagnetic force, mechanical force, mathematical modeling, experimental verification.

Электротехника, 2018, №3, стр.40-45

Индукционная система для подогрева труб перед сваркой

БАЗАРОВ А.А., ДАНИЛУШКИН А.И., ЗИМИН Л.С.

Рассмотрен расчет параметров и режима работы индукционного нагревателя трубы большого диаметра для предотвращения возникновения термонапряжений при сварке. Выполнен анализ тепловых процессов при различной температуре окружающей среды и перемещении дуги вдоль свариваемого стыка. Для увеличения точности расчетов использована нелинейная модель тепловой задачи с учетом фазовых переходов. Предложена разъемная конструкция индуктора, обеспечивающая удобство монтажа и высокую надежность. Выбранная частота и мощность индуктора позволяют решить проблему согласования с источником питания без трансформатора. В конструкции индуктора применен ферритовый магнитопровод, что дало возможность использовать двухсекционную петлевую обмотку.

Ключевые слова: сварка труб, подогрев, индуктор, термонапряжения, магнитопровод.

The problem of calculating the parameters and modes of operation of the induction heater large diameter pipe to prevent thermal stresses during welding. The analysis of thermal processes at different ambient temperatures and moving along the arc welded joint. To increase the accuracy of calculations used nonlinear model of the heat problem with phase transitions. A sectional structure of the inductor, providing ease of installation and reliability. The selected frequency and power inductor can solve the problem of matching with the power supply without a transformer. The design of the inductor applied magnetic ferrite, which made it possible to use a two-section winding loop.

Key words: welding of pipe, heating, inductor, thermal stresses, magnetic.

Электротехника, 2018, №3, стр.45-48

Иницирование дугового разряда в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе
СИВКОВ А.А., ГЕРАСИМОВ Д.Ю.

Приведены результаты экспериментов по иницированию дугового разряда типа Z-пинч в коаксиальном магнитоплазменном ускорителе различными способами. Установлено, что с увеличением сопротивления между электродами возрастает коммутационное напряжение и уменьшается время зажигания дугового разряда. Электрофизические параметры дуги, такие как напряжение, разрядный ток, длительность импульса, перенесенный заряд и подведенная энергия не зависят от способа иницирования дугового разряда.

Ключевые слова: магнитоплазменные ускорители, дуговой разряд, инициирование разряда.

The paper presents the results of experimental studies connected with searching the ways how to initiate the Z-pinch arc discharge in a coaxial magneto plasma accelerator. It is experimentally found that an increase in the resistance between the electrodes gives rise to increasing the switching voltage and decreasing the time of the arc discharge ignition. The electrophysical parameters of the arc such as voltage, discharge current, pulse duration, transferred charge and input energy do not depend on the method of the arc discharge ignition.

Key words: magnetoplasma accelerators, arc discharge, initiation of discharge.

Электротехника, 2018, №3, стр.48-51

Оценка ресурса плёночных лучистых электронагревателей по результатам стендовых испытаний

БУТОРИН В.А., ТКАЧЁВ А.Н.

Предложено теоретическое выражение для расчета ресурса плёночных лучистых электронагревателей (ПЛЭН) на основании значений параметров, которые возможно установить с помощью существующих методов. Определены основные элементы изоляции ПЛЭН, определяющие их ресурс: токопроводящая лента, перегибы токопроводящей ленты, контакты токопроводящей ленты с питающими проводами. Для этих элементов получены значения показателей процесса их старения, а также установлены полиномиальные зависимости скорости изменения пробивного напряжения элементов изоляции ПЛЭН от основных действующих факторов. Для оценки параметров ресурса использован метод Монте-Карло. В математическом пакете MathCAD проведён расчёт и определение статистических характеристик распределения ресурса элементов ПЛЭН с учётом случайного характера воздействующих факторов, результаты которого представлены в виде гистограмм плотности распределения ресурса. Также рассчитаны соответствующие основные значения γ -процентного ресурса элементов и ПЛЭН в целом с учётом периода стабилизации. Полученные данные позволяют оперативно оценивать эффективность мер по совершенствованию конструкции и повышению качества изготовления ПЛЭН.

Ключевые слова: плёночный электронагреватель, ресурс, пробивное напряжение, изоляция, стендовые испытания.

The theoretical expression for finding the useful life of film radiant electric heaters (FREH) due to the parameters that can be established with the existing methods is received. The main FREH insulation elements to determine their useful life are determined: the current-conducting tape, the current-conducting tape bending and the current-conducting tape contact with power-supplying wires. For these elements the ageing parameters are also obtained, with the polynomial dependences of the rate of changing breakdown voltage of the FREH insulation elements on the main influencing factors being established. To estimate the useful life parameters for polynomials with linear interactions, the statistical modeling method (the Monte Carlo method) is applied. In MathCAD software the statistical characteristics of the useful life distribution of the FREH elements are determined, taking into account the random nature of the influencing factors. The results are presented in the form of histograms of the distribution density of the FREH useful life. The corresponding basic values of the gamma-percentile useful life of elements and the FREH as a whole, taking into account the stabilization period, are also found. Thus, on the basis of the multiple-factor experiment, the numerical values of the FREH useful life are obtained for the first time taking into account the shared influence of isolated influencing factors on the rate of their ageing. These data make it possible to evaluate the virtue of proposals aimed at improving the design and technologies for FREH manufacturing.

Key words: film electric heater, useful life, breakdown voltage, insulation, bench tests.

Электротехника, 2018, №3, стр.52-59

К определению оптимального состава ветродизельных энергокомплексов с учетом местных условий

НИКОЛАЕВ В.В., НИКОЛАЕВ В.Г., ХАРЧЕНКО В.В.

Дано описание методики определения оптимального состава и мощности базовых для ветродизельных комплексов (ВДК) дизельных генераторов (ДГ) и ветроэнергетических установок (ВЭУ) с учетом графиков нагрузок и вертикальной и временной изменчивости характеристик ветра и плотности воздуха в местах использования ВДК. За критерии оптимальности приняты себестоимость вырабатываемой электроэнергии, уровень замещения дизельного топлива благодаря использованию ВЭУ, сроки окупаемости, чистая

приведенная стоимость и внутренняя норма доходности проектов ВДК. Методика реализована в виде программного комплекса «ВОСТОК», с помощью которого проведены многопараметрические расчеты и получены данные для выбора оптимального состава ВДК для пос. Тикси. Оптимизация проведена для разных соотношений номинальных мощностей ДГ и ВЭУ. Рассчитаны возможные энергетический и экономический эффекты использования ВДК. Установлено, что для ветроклиматических условий и графиков потребления пос. Тикси они достигают максимальных значений при соотношении номинальных мощностей ДГ и ВЭУ порядка единицы, при этом замещение дорогостоящего дизельного топлива за счет работы ВЭУ в составе ВДК может достигать 40 %, а снижение себестоимости электроэнергии ВДК может составить до 25 %. Согласно расчетам наиболее энергетически и экономически эффективными базовыми ВЭУ для ВДК в Тикси являются ВЭУ марки V 850 компании Vestas (Дания) и G 850 компании Gamesa (Испания), обе номинальной мощности 850 кВт с высотой башни 55 м.

Ключевые слова: автономное энергоснабжение, ветродизельный энергокомплекс, ветроэлектрическая установка, дизельный электрогенератор, график нагрузки.

The article describes developed algorithm for optimization of the compound and capacity of diesel generators (DG) and wind turbines (WT) functioning in wind-diesel systems (WDS) considering grid loads data, wind and air density variability, depending on height and time period for each area. Cost of electric energy generated by the WDS, diesel fuel consumption substitution degree (by using wind turbines), the payback period, net present value, internal rate of return of WDS projects were chosen as optimization criterions. Authors developed the software «EAST», based on described algorithm, and estimated the optimal configuration of WDS for the Tiksi town (Yakutia), the results are given in paper. Optimization performed for different ratios of the nominal capacity of the diesel generators and wind turbines. Authors also calculated the energy and economic effect of using WDS, which reaches a maximum if ratio is around 1 (according to wind energy potential and grid loads data for Tiksi town). The substitution degree of diesel fuel consumption in that case reaches 35%, and generated energy cost reducing up to 25%. According to calculations, the most energy and cost-effective models of wind turbines for the WDS in Tiksi are VestasV-850 (Denmark) and GamesaG-58 (Spain), both rated power of 850 kW, with tower height of 55 m.

Key words: independent power supply, wind-diesel power, wind turbine, diesel generator, load graph.

Представление переходных процессов на гиперплоскости в примерах из электротехники

АРЦИШЕВСКИЙ Я.Л., КЛИМОВА Т.Г., РАСЩЕПЛЯЕВ А.И., САВВАТИН М.В., СЕРОВ Д.М.

Векторное представление переходных процессов на плоскости с двумя системами координат позволяет визуализировать все параметры колебаний переходных процессов: амплитуду, частоту, фазу и затухание. На двухсистемной комплексной плоскости начало вектора определяется затуханием и циклической частотой и устанавливается в масштабе осей плоскости комплексной частоты, длина вектора и его фаза определяется в масштабе комплексной амплитуды. Такое представление существенно улучшает визуализацию процессов и, следовательно, повышает информативность исследований. Применение гипервекторного представления переходных процессов иллюстрируется разными примерами. При анализе функционирования автоматического регулятора возбуждения (АРВ) в сертификационных испытаниях векторное представление переходных процессов наглядно показывает действие АРВ и позволяет количественно контролировать влияние каналов стабилизации на колебательные моды. Векторное представление доминирующих колебаний при различных схемно-режимных ситуациях выявляет наиболее экстремальные ситуации, необходимые для проверки настройки АРВ для конкретной станции.

Исследование векторов колебаний частоты напряжения, измеренные в разных точках системы, позволяет локализовать источник низкочастотных колебаний.

Ключевые слова: переходные процессы, векторное представление, плоскость с двумя системами координат, автоматические регуляторы возбуждения, низкочастотные колебания.

Vector representation of transition processes on the plane with two systems of coordinates allows to visualize all parameters of fluctuations of transition processes amplitude, frequency, phase and attenuation. On the two-system complex plane the beginning of a vector is defined by value of attenuation and cyclic frequency and is established on the scale of axes of the plane of complex frequency, length of a vector and its phase is defined on the scale of complex amplitude. Such representation significantly improves visualization of processes and, therefore, increases informational content of researches. Application of hyper vector representation of transition processes is illustrated by different examples. In the analysis of functioning of automatic exciter

controller (AEC) in certified tests vector representation of transition processes demonstrates action of AEC and allows to control quantitatively influence of channels of stabilization on oscillatory fashions. Vector representation of the dominating fluctuations at various circuit and regime situations reveals the most extreme situations necessary for check of the AEC for concrete station. And research of vectors of fluctuations of frequency of voltage, the systems measured in different points, allows to localize a source of low-frequency fluctuations.

Keywords: transition processes, vector representation, the plane with two systems of coordinates, automatic regulators of excitement, low-frequency fluctuations.

Электротехника, 2018, №3, стр.65-69

Расчет и анализ плотности удельных магнитных потерь на гистерезис при перемагничивании сталей на частных петлях магнитного гистерезиса
САНДОМИРСКИЙ С.Г.

Обоснована связь плотности W_h удельных магнитных потерь на перемагничивание сталей по частным петлям магнитного гистерезиса с их намагниченностью M_s технического насыщения, коэрцитивной силой H_{cs} , остаточной намагниченностью M_{rs} на предельной петле магнитного гистерезиса и максимальной напряженностью H_m намагничивающего поля частной петли магнитного гистерезиса. Разработана формула для расчета W_h сталей по их M_s , H_{cs} , M_{rs} и H_m . Проанализированы особенности влияния магнитных свойств сталей на зависимости $W_h(H_m)$. Установлено, что при увеличении H_m изменения M_{rs} меньше влияют на значение W_h . При этом увеличение M_{rs} всегда увеличивает W_h и, напротив, увеличение H_{cs} увеличивает W_h только при перемагничивании стали в сильных полях. При $H_m < H_{cs}$ зависимость $W_h(H_{cs})$ становится обратной. Это явление – физическая особенность перемагничивания ферромагнитных материалов в слабых магнитных полях. Его следствием является и изменение с обратной на прямую зависимости W_h среднеуглеродистых сталей от температуры T_0 отпуска при малых H_m . Например, для стали 30 при малых H_m зависимость $W_h(T_0)$ становится монотонной во всем возможном диапазоне изменения T_0 . Это является предпосылкой использования параметра W_h , измеренного в слабом намагничивающем поле, для контроля качества средне- и высокотемпературного отпуска среднеуглеродистых сталей.

Ключевые слова: ферромагнитные стали, магнитные свойства, намагничивание, магнитные потери, магнитный структурный анализ.

The dependence is established and justified of the density of magnetic hysteresis losses W_h of steels on the minor magnetic hysteresis loops during remagnetization on the magnetization M_s of the technical saturation, the coercive force H_{cs} , the remanent magnetization M_{rs} measured on the saturation hysteresis loop, and the maximal strength of the magnetizing field H_m measured on a minor hysteresis loop. A formula is elaborated that allows to calculate W_h of steels based on their M_s , H_{cs} , M_{rs} , and H_m . The special properties of the influence of the magnetic properties of steels on the dependence $W_h(H_m)$ are analyzed. It is established that as H_m increases, changes of M_{rs} influence the value of W_h to a lesser degree. Thereby, the increasing M_{rs} always increases W_h . To the contrary, the increasing H_{cs} increases W_h only for remagnetization of steels in strong fields. If $H_m < H_{cs}$, the dependence $W_h(H_{cs})$ is reversed. This phenomenon is a physical property of remagnetization of ferromagnetic materials in weak magnetic fields. Another consequence of this property is the change of dependence of W_h of the carbonized heat-treated steels on the tempering temperature T_o in small H_m from inverse to direct. Thus, for instance, for steel 30 at small H_m , the dependence $W_h(T_o)$ becomes monotonic for the whole feasible range of T_o . This is a prerequisite for use of the parameter W_h , measured in a small magnetizing field, for quality control of the carbonized heat-treated steels with a mid- and high-temperature of tempering.

Key words: ferromagnetic steels, magnetic properties, magnetization, specific hysteresis losses, magnetic structure analysis.

Электротехника, 2018, №3, стр.70-76

Моделирование трехмерных полей вихревых токов при индукционном нагреве технологического оборудования

ГЛЕБОВ А.О., КАРПОВ С.В., КАРПУШКИН С.В., МАЛЫГИН Е.Н.

Моделирование индукционного нагрева предусматривает описание связанных нестационарных электромагнитных и тепловых процессов. Конфигурация и режимы работы промышленного технологического оборудования существенно осложняют расчет внутренних тепловыделений. На примере ферромагнитных плит, предназначенных для комплектации гидравлических рамных прессов рассмотрено моделирование трехмерных полей вихревых токов. Представлена математическая модель электромагнитных и тепловых процессов в плите с учетом автоматической стабилизации температуры. Предложена методика определения эквивалентной магнитной проницаемости ферромагнитных материалов, позволяющая рассчитывать трехмерные поля вихревых токов с применением линейных дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: индукционный нагрев, ферромагнитные материалы, магнитная проницаемость, уравнения Максвелла, нагревательная плита, моделирование температурного поля.

Modeling of induction heating is based on the description of conjugate non-stationary electromagnetic and thermal processes. The configuration and functionality of real industrial process equipment significantly complicate the estimation of the inward heat power. The modeling of three-dimensional fields of eddy currents is considered on the example of ferromagnetic plates of hydraulic frame presses. A mathematical model of the electromagnetic and thermal processes in the plate has developed. The method of determining the equivalent permeability of ferromagnetic materials allows computing the three-dimensional eddy current field with linear differential equations.

Key words: induction heating, ferromagnetic materials, magnetic permeability, Maxwell equations, heating plate, the temperature field model.

Электротехника, 2018, №3, стр.77-81

К обеспечению безопасности при возникновении электрической дуги

МЕДВЕДЕВ В.Т., МАКАЛЬСКИЙ Л.М.

Рассмотрены возможности возникновения травмоопасных ситуаций в электроустановках при развитии дуги. Приведена оценка вероятности травмирования человека в результате действия электрической дуги. Выполнен анализ причин, влияющих на пробой промежутка между токоведущими частями и человеком. Показано, что в настоящее время основными средствами защиты от поражения человека электрической дугой являются средства индивидуальной защиты, изготавливаемые из огне- и термостойких материалов, отвечающих действующим санитарно-гигиеническим нормам. Показано, что максимально возможная тепловая энергия дуги не превышает 20 кал/см². Показано, что более чем в половине (58%) распредустройств имеется риск возникновения дуги интенсивностью до 20 кал/см², а в каждом четвертом случае (26%) её значение не превышает 5 кал/см². Вероятность возникновения дуги увеличивается в аварийных ситуациях из-за перенапряжений в сети, пробоя основной изоляции, приближения заземленных предметов к проводникам, находящимся под напряжением, появления персонала в зоне сильных электрических полей.

Ключевые слова: травмоопасные ситуации, вероятность травмирования, электрическая дуга, длительность горения дуги, энергия дуги, стримерные и лидерные разряды.

Discussed the occurrence of traumatic situations in electrical arc development. Assessing the likelihood of injury to the person as result of an electric arc. An analysis of reasons influencing breakout space between parts and powered by man. It is shown, that at present the main means of protection against human electrical arcing is personal protective equipment, made of fire-resistant materials meeting applicable sanitary-hygienic norms. It is shown that risk of arcing to the level of heat energy as possible does not exceed 20 cal/cm^2 . Shows that more than half (58%) switchgears have a risk of arc intensity up to 20 cal/cm^2 , and one fourth (26%) its value does not exceed 5 cal/cm^2 . The likelihood of the arc increases in emergency situations due to surges in network core, approaching isolation breakdown grounded objects to quides energized, staff in the zone of strong electric fields.

Key words: traumatic situations, probability of injury, electric arc, arc time, the energy of arc, streamer and leader discharges.