

ИЗМЕНЕНИЕ КПД ДУГ И УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССЕ ПЛАВКИ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ ОБЫЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ И CONSTEEL

А.Н. Макаров, Ю.М. Павлова, В.В. Окунева

Изложены результаты расчета КПД дуг сталеплавильных печей на различных стадиях расплавления шихты при изменении высоты слоя шлака. После прорезки колодца в шихте КПД дуг максимален. В процессе расплавления высота шихты и КПД дуги уменьшаются. Возрастание высоты слоя шлака в открытый период приводит к увеличению КПД дуг. Расчетные данные подтверждены экспериментальными исследованиями на дуговых сталеплавильных печах (ДСП). Осуществлен сравнительный анализ работы печей Consteel и обычной конструкции, а также анализ энергетических показателей печей. Отмечены преимущества и недостатки печей Consteel по сравнению с печами обычной конструкции.

Ключевые слова: электрическая дуга, печь, сталь, излучение, КПД, дуговая сталеплавильная печь, Consteel, теплообмен, удельный расход электроэнергии

CHANGES IN ARC EFFICIENCY AND SPECIFIC POWER CONSUMPTION WHEN MELTING IN ARC STEELMAKING FURNACES OF CONVENTIONAL DESIGN AND CONSTEEL

A.N. Makarov, Yu.M. Pavlova, V.V. Okuneva

The results of calculating efficiency of arcs in steel-making furnaces at various stages of charge melting with the changes in the height of a slag layer are presented. On cutting a well in the charge, the arc efficiency is at the maximum. In the course of the melting process, the height of the charge and the arc efficiency decrease. Increasing the height of a slag layer in the open period leads to increasing the arc efficiency. The estimated data are confirmed by experimental studies on electric arc furnaces (EAF). A comparative analysis of the operation of Con-steel furnaces and conventional furnaces has been performed, including the analysis of energy indicators of the furnaces. The emphasis has been made on the advantages and disadvantages of Consteel furnaces in comparison with the furnaces of conventional design.

Keywords: electric arc, furnace, steel, radiation, efficiency, steel arc furnace, Consteel, heat exchange, specific power consumption

АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НАВЕДЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

С.П. Максимов, П.А. Кузнецов

В работе представлены результаты сравнительного анализа традиционных автономных источников электропитания и источника электропитания наведенным напряжением воздушной линии электропередачи. Обозначены области применения источников электропитания наведенным напряжением, в частности для электропитания постов контроля системы телеметрии гололедно-ветровых нагрузок на воздушные линии электропередачи (СТГН). Приведены результаты расчета и моделирования наведенного напряжения с учетом влияния заземленных конструкций опор линий по разработанной авторами методике. Методика расчета проверена экспериментально на физической модели однофазной воздушной линии электропередачи. Произведен расчет для трехфазной одноцепной воздушной линии напряжением 110 кВ и определен режим работы преобразующе-стабилизирующего блока источника электропитания.

Ключевые слова: источник электропитания; воздушная линия электропередачи; наведенное напряжение; моделирование электромагнитного поля

AUTONOMOUS POWER SUPPLY BY INDUCED VOLTAGE OF AN OVERHEAD POWER LINE

S.P. Maksimov, P.A. Kuznetsov

The paper presents the results of a comparative analysis conducted for autonomous conventional power sources and power supply sources with induced voltages of overhead power transmission lines. The application domain for power sources of induced voltages are outlined, particularly, for power supply of control posts in the telemetry system of ice and wind loads on overhead power lines (STGN). The presented results to estimation and modeling of induced voltages with account for the influence of grounded structures of line supports are based on the methodology developed by the authors. The calculation methodology has been tested experimentally using the physical model of a single-phase overhead power transmission line. The calculation for a three-phase single-circuit 110 kV overhead line was performed, and the operating mode of the power supply transformer stabilizing unit was determined.

Keywords: telemetry system of ice and wind loads on overhead power lines (TSIW), power supply, induced voltage, an electro-magnetic field model

ЦИФРОВОЙ ТРЕНД ОТРАСЛЕВОГО ИНЖИНИРИНГА В ЦЕЛЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ

В.Е. Михайлов

Показана связь идеологии устойчивого развития общества и приоритетных направлений инновационных технологий, включая цифровые, реализация которых обеспечивает продвижение к решению глобальных задач, приобретающих статус национальных целей. Приведены данные об отраслевых наработках в области цифровых технологий и математического моделирования, а также определены задачи на перспективу, в частности продвижение от базы данных к базе знаний за счет использования цифровых двойников. Делается вывод о направленности цифрового тренда отраслевого инжиниринга на обеспечение устойчивого развития энергетики и энергомашиностроения.

Ключевые слова: цифровые технологии; цифровой тренд; интеллектуальные системы, моделирование; цифровые двойники, базы знаний

A DIGITAL TREND IN SECTORIAL ENGINEERING AIMED AT SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC POWER AND POWER-PLANT INDUSTRIES

V.Ye. Mikhailov

The paper shows the relationship between the ideology of sustainable development of society and prioritized areas of innovative technologies, including the digital technologies. Their implementation will ensure a progress towards the solution of global problems that acquire the status of national goals.

The author provides the data relating sectorial developments in the field of digital technologies and mathematical modeling, as well as defines the tasks for a future research, particularly, advancement from the database to the knowledge base through the use of digital twins. The main conclusion refers the trends in digital engineering aimed at ensuring sustainable development of electric power and power-plant industries.

Keywords: digital technologies; digital trend; intelligent systems, modeling; digital twins, knowledge bases

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО АДАПТИВНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

С.А. Данилов, А.И. Коваленко, А.А. Волошин, Е.А. Волошин, В. С. Сазанов

В существующих реалиях интеграция объектов распределенной генерации в распределительные сети приводит к появлению комплекса проблем, связанных с реализацией релейной защиты. Так, при интеграции распределенной генерации в энергосистему на уровне распределительной сети становится возможной многосторонняя подпитка точки КЗ, появляются новые аварийные режимы и электромеханические переходные процессы, которые могут привести к излишнему или ложному срабатыванию релейной защиты (РЗ). Таким образом, возникает задача разработки системы, способной автоматически адаптировать параметры срабатывания релейной защиты при изменении

режимов сети, а также при вводе новых объектов распределенной генерации в распределительную сеть. Данная система позволит уменьшить трудозатраты на анализ и расчет параметров срабатывания релейной защиты, а также уменьшить количество ошибок, связанных с человеческим фактором. В данной работе предлагаются математические и логические методы, реализованные как программы на ЭВМ, для расчета параметров срабатывания устройств релейной защиты. Результатами работы системы являются алгоритмы и программные модули, позволяющие произвести автоматический расчет параметров срабатывания устройств релейной защиты, реализующих функции трехступенчатых защит (токовая отсечка без выдержки времени, токовая отсечка с выдержкой времени и максимальная токовая защита), распределительной сети радиального типа. Под параметрами срабатывания понимаются уставки срабатывания по току и по времени.

Ключевые слова: релейная защита; CIM; автоматический расчет уставок; микросервисы; база данных

A SYSTEM OF AUTOMATIC ADAPTIVE CHANGING OF RELAY PROTECTION OPERATION PARAMETERS IN DISTRIBUTION NETWORKS

S.A. Danilov, A.I. Kovalenko, A.A. Voloshin, E.A. Voloshin, V.S. Sazanov

Currently, integration of distributed generation objects into distribution networks leads to a range of problems associated with relay protection. Therefore, when integrating distributed generation into the power system at the level of a distribution network, a multi-recharge of the short-circuit point becomes possible, novel emergency modes and electro-mechanical transients appear, which can lead to excessive or false triggering of relay protection. Thus, there is a problem associated with developing a system that can automatically adapt the parameters of relay protection operation when changing the network modes, as well as when introducing new distributed generation objects into a distribution network. This system will allow for a reduction in the labor costs required for the analysis and calculation of operation parameters of relay protection, and also reduce the number of errors connected with the human factor. In this paper, we propose mathematical and logical methods, implemented as computer programs, for calculating the response parameters of relay protection devices. The results of the system operation are algorithms and software modules that allow automatic calculation of response parameters of relay protection devices that implement the functions of a three-stage protection (instantaneous overcurrent protection, time delayed overcurrent protection, and maximum current protection), and a radial type distribution network. The current and time operation settings refer to the actuation data.

Keywords: relay protection, CIM, automatic setting calculation, micro-services, data base

РАСЧЁТ КОЭФФИЦИЕНТА СВЯЗИ И ВЗАИМНОЙ ИНДУКТИВНОСТИ МАГНИТНОСВЯЗАННЫХ ОБМОТОК

П.А. Кошелев, Ю.И. Блинов, К.Ю. Блинов

При анализе и моделировании электротехнических устройств, содержащих элементы с индуктивными связями, используются коэффициенты взаимной индуктивности M , которые зависят от коэффициента связи K_s между обмотками. Встречающееся в литературе допущение: $K_s = 1$ может внести заметную погрешность в расчеты, особенно при значениях K_s , существенно отличающихся от 1. Решение этой проблемы сводится к вычислению K_s и M для конкретной конструкции трансформатора и требует привлечения математических методов и программ.

В работе предлагается методика, основанная на сравнении переходных характеристик Г-образной и П-образной (естественной) схем замещения элемента с индуктивными связями и фиксации точки их совпадения. Полученные результаты позволяют повысить эффективность проектирования электромагнитного изделия и точность реализации проекта электротехнического и электротехнологического оборудования.

Ключевые слова: взаимная индуктивность, коэффициент связи, переходная характеристика

CALCULATION OF THE COUPLING AND MUTUAL INDUCTANCE COEFFICIENT FOR MAGNETICALLY COUPLED WINDINGS

P.A. Koshelev, K.Yu. Blinov, Yu.I. Blinov

Mutual inductance coefficients M are used for the analysis and modeling of electrical devices containing inductance coupling elements, which depend on the coupling coefficient K_s between the windings.

The assumption found in the literature that $K_s = 1$, can lead to noticeable errors in the calculations, especially when the K_s values are significantly different from 1.

The problem can be solved by calculating K_s and M for a specific transformer design, which requires the use of mathematical methods and programs.

This paper proposes a technique based on comparing the transient characteristics of L-shaped and P-shaped (natural) schemes of element replacement with inductive connections and fixation of their coincidence point.

The obtained results allow upgrading the efficiency of electromagnetic product design and accuracy in implementation of electrical and electrotechnical equipment design.

Keyword: mutual inductance, coupling coefficient, transient characteristic

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ

R.S. Litvinenko, A.E. Auhadeev, A.N. Khusnutdinov, I.S. Antipanova, L.N. Kisneeva

В статье предлагается подход к формированию интегральных показателей надежности альтернативных вариантов разрабатываемой технической системы. Подход базируется на использовании метода анализа иерархий, разработанного Т. Саати и широко применяемого при решении различных многокритериальных задач. Интегральный показатель надежности вариантов технической системы представляет собой единый показатель, синтезирующий отдельные единичные и комплексные показатели надежности, заданные в техническом задании. Использование для определения уровня надежности интегрального показателя позволяет получить формализованный результат, выражаемый через соответствующее значение вектора глобальных приоритетов и дающий возможность количественной оценки превосходства в плане надежности одного альтернативного варианта технической системы над другим.

Ключевые слова: надежность, система, показатель, анализ, метод, иерархии, уровень, декомпозиция, этап

APPROACH TO DEFINING AN INTEGRATED RELIABILITY INDEX FOR ENGINEERING SYSTEMS AT THE DESIGN STAGE

R.S. Litvinenko, A.E. Auhadeev, A.N. Khusnutdinov, I.S. Antipanova, L.N. Kisneeva

The paper suggests an approach to formation of integrated reliability measures for the alternatives of the developed engineering system. This approach is based on the use of the Analytic Hierarchy Process (AHP) developed by Thomas L. Saaty and widely used in addressing various multicriteria problems. The integrated reliability measure for the options of the engineering system is a consolidated characterization that synthesizes individual single and complex reliability measures defined in the specification. The use of the integrated measure to determine the level of reliability makes it possible to obtain a formalized result that is expressed through the corresponding value of the vector of global priorities and facilitates quantification of superiority in terms of reliability of one alternative of the engineering system over another.

Keywords: dependability, system, measure, analysis, method, hierarchy, level, decomposition, stage

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МАГНИТОПРОВОДА ИЗ АМОРФНОЙ СТАЛИ

В.Е. Вавилов, А.Х. Минияров, А.М. Веселов, Д.Ю. Пермин, Е.А. Пронин

Основной целью данной статьи является исследование влияния различных механических нагрузок на электромагнитные показатели магнитопровода из аморфной стали. В статье рассмотрены перспективы применения аморфной стали в энергетике, основным достоинством которой являются низкие удельные потери при высокой частоте перенамагничивания. Из-за более сложной структуры аморфная сталь может иметь высокую чувствительность к механическим нагрузкам. Для получения экспериментальных данных были изготовлены 4 одинаковых образца в виде колец из аморфной стали, 3 из которых испытали воздействие вибрации или сжатие с разными силами. Снятие электромагнитных показателей образцов производилось с помощью двух намотанных катушек, подключенных к специальному прибору. По полученным данным построены аппроксимирующие графики с использованием метода наименьших квадратов. По полученным результатам произведено сравнение и проанализировано влияние механического воздействия. Сделан вывод о том, что некоторые электромагнитные показатели аморфной стали, такие как магнитная проницаемость, имеют высокую чувствительность к механическому воздействию.

Ключевые слова: магнитопровод; индукция; насыщение; аморфная сталь; напряженность магнитного поля; вибрация; сжатие; механическое воздействие

RESEARCH INTO THE INFLUENCE OF MECHANICAL LOADS ON ELECTROMAGNETIC INDICATORS OF THE MAGNETIC CIRCUIT MADE OF AMORPHOUS STEEL

V.E. Vavilov, A.Kh. Miniyarov, A.M. Veselov, D.Yu. Permin, E.A. Pronin

The main objective of the research is to study the effect of various mechanical loads on electromagnetic indicators of the magnetic circuit fabricated from the amorphous steel. The authors discuss the prospects for the use of amorphous steel in power engineering, the main advantage of which is low specific losses at a high re-magnetization frequency. Due to its more complex structure, amorphous steel can be highly sensitive to mechanical stress. To obtain experimental data, four identical samples were made in the form of rings from amorphous steel, three of which were subjected to vibration or compression by various forces. Taking the readings of electromagnetic indicators of the samples was carried out using two wound coils connected to a special device. Based on the data obtained, approximating graphs were constructed using the least square technique. Based on the obtained results, a comparison was made and the effect of mechanical stress was analyzed. It is concluded that some electromagnetic characteristics of amorphous steel, such as magnetic permeability, are highly sensitive to mechanical stress.

Keywords: magnetic circuit; induction; saturation; amorphous steel; magnetic field strength; vibration; compression; mechanical impact

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ТОКА ИНДУКТОРА НА ПРОЦЕСС ЦЕМЕНТАЦИИ ТИТАНА В КОНТЕЙНЕРЕ С УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДОЙ

А.В. Войко, А.А. Фомин

В данном исследовании приведены результаты моделирования процесса химико-термической обработки (ХТО) титановых образцов-дисков, располагаемых в контейнере с углеродсодержащей средой. Основными параметрами рассматриваемого процесса выбраны ток индуктора и геометрия системы «индуктор – контейнер – образец», а именно количество витков, высота и внутренний диаметр индуктора при неизменных геометрических параметрах контейнера для ХТО. Рабочая температура внешней поверхности контейнера изменялась в диапазоне от 1100 до 1350°C, которая достигалась

при токе индуктора от 3,4 до 5,0 кА и частоте колебаний 88 ± 2 кГц. Полученные картины распределения температурных полей позволили получить представление об эффективности нагрева индукторов различной конструкции.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, цементация в графите, индукционный нагрев, численное моделирование, температурное поле, кинетика нагрева

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS AND INDUCTOR CURRENT ON TITANIUM CARBURIZATION IN A CONTAINER WITH A CARBON-CONTAINING MEDIUM

A.V. Voyko, A.A. Fomin

The research presents the simulation results of chemical thermal treatment (CTT) of disk-shaped titanium samples located in a container with a carbon-containing medium. The main parameters of the considered process are the inductor current and geometry of the «inductor – container – sample» system, namely, the number of turns, the height and internal diameter of the inductor with unchanged geo-metric parameters of the container for the CTT. The operating temperature of the external surface of the container ranged from 1100 to 1350°C, which was achieved at an inductor current from 3.4 to 5.0 kA, and the oscillation frequency of 88 ± 2 kHz. The obtained patterns of the temperature field distribution allowed for gain an insight into the heating efficiency of inductors of various designs.

Keywords: chemical thermal treatment, carburization in graphite, induction heating, numerical simulation, temperature field, heating kinetics